JO INGENIERÍA SPA

S.C.M. ATACAMA KOZAM

INGENIERÍA CONCEPTUAL AVANZADA DEPOSITO DE RELAVES FILTRADOS EN QUEBRADA EL GATO

N° 3070-GE-INF-006 B

INFORME DE PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA

Preparado por

JO Ingeniería.

Aprobado por

Jefe de Disciplina Carlos Cacciuttolo

Jefe de Proyecto Agustín Holgado

Rev.	Por	Emitido para	Fecha	Fecha de Revisión	Aprobado
A	SA	Revisión Interna	Dic-2016		
B	RQ	Revisión Cliente	Feb-2017		
0					
Comentarios:					

INGENIERÍA CONCEPTUAL AVANZADA DEPOSITO DE RELAVES FILTRADOS EN QUEBRADA EL GATO

INFORME DE PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 6

2 OBJETIVO Y ALCANCE 6

3 REFERENCIA 6

4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 8

4.1 INSTALACIONES 8

4.2 PLANO DE UBICACIÓN 10

5 CARACTERIZACIÓN SUELO DE FUNDACIÓN 11

5.1 PRIMERA CAMPAÑA GEOTÉCNICA 11

5.1.1 Sondajes de Exploración 11

5.1.1.1 Habilitación de pozos 17

5.1.1.2 Ensayos de permeabilidad 19

5.1.2 Calicatas 21

5.1.2.1 Análisis visual de calicatas 22

5.1.2.2 Clasificación de suelos y granulometría 27

5.1.2.3 Parámetros índices 29

5.1.2.4 Ensayos de permeabilidad 31

5.2 SEGUNDA CAMPAÑA GEOTÉCNICA 33

5.2.1 Sondajes de Exploración 33

5.2.1.1 Ensayo de Penetración Estándar (SPT) 34

5.2.1.2 Ensayo Permeabilidad Lefranc 35

5.2.2 Pruebas de Penetración Dinámica con Registro Continuo 36

5.2.3 Exploración Geofísica 40

5.2.3.1 Perfiles Sísmicos 41

5.2.3.2 Perfiles Electromagnéticos 45

5.2.3.3 Análisis Resultados Geofísicos 48

6 HIDROGEOLOGÍA LOCAL 50

6.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 50

6.2 PROPIEDADES HIDRAULICAS 53

6.3 CONCLUSIONES HIDROGEOLOGÍA.....53

ANEXOS

- Anexo 1 Descripción Sondaje S-B
- Anexo 2 Descripción Sondaje S-D
- Anexo 3 Descripción de Calicatas
- Anexo 4 Granulometría
- Anexo 5 Humedad, Peso específico y Densidad.
- Anexo 6 Calculos de Permeabilidad
- Anexo 7 Informe de prospecciones por DPI Ltda. [Ref. 6]

INDICE DE TABLAS

Tabla 5-1 Coordenadas en Datum WGS 84 sondajes S-D y S-B.....11

Tabla 5-2 Antecedentes Generales Pruebas Lefranc Sondaje S-B y S-D. 20

Tabla 5-3 Coordenadas UTM (Datum WGS 84) calicatas proyectadas 21

Tabla 5-4 Profundidad de muestras realizadas en la calicata y tamices utilizados en el análisis granulométrico.....27

Tabla 5-5 Resumen del análisis granulométrico realizado y clasificación de suelos 28

Tabla 5-6 Resultados de la medición de humedad y peso específico.....29

Tabla 5-7 Densidad media en la zona somera de cada calicata (DCH, densidad compacta humeda; DMCS, densidad máxima compacta seca) 29

Tabla 5-8 Permeabilidad calculada a partir de ensayos de inyección puntual.....32

Tabla 5-9 Coordenadas en Datum WGS 84 sondajes P-1 33

Tabla 5-10 Resumen Ensayos SPT 35

Tabla 5-11 Resumen Ensayos SPT 35

Tabla 5-12 Correlación Velocidad de Ondas Sísmicas vs Unidades Geólogicas 41

Tabla 5-13 Resistividad normal y correlaciones geológicas 45

INDICE DE FIGURAS

Figura 4-1 Instalaciones S.C.M. Atacama Kozan.....8

Figura 4-2 Disposición General Deposito de Relaves Filtrados 9

Figura 4-3 Ubicación Regional Tranque de Relaves El Gato. 10

Figura 5-1 Disposición de los sondajes S-B y S-D en el terreno. 12

Figura 5-2 Cambio en la calidad de recuperacion del testigo de sondaje a partir del metro 51.7. 13

Figura 5-3 Unidad de origen aluvional reciente con alto contenido de arena, limos y arcillas.....15

Figura 5-4 Diferencia en el grado de compactación: a) grava semi compacta y b) grava con matriz cementada intercalada con grava semiconsolidada. 16

Figura 5-5 Perfil de Habilitación Sondaje S-B 17

Figura 5-6 Perfil de Habilitación Sondaje S-D 18

Figura 5-7 Características de la prueba de inyección Lefranc carga variable 19

Figura 5-8 Distribución espacial emplazamiento de calicatas 21

Figura 5-9 Calicata C6 imágenes a) y b, y calicata C7 imágenes c) y d), destacan similitudes en la naturaleza de su facies de origen fluvio aluviales y aluvionales. 22

Figura 5-10 Calicata C1 imágenes a) y b), calicata C3 imágenes c) y d), y calicata C4 imágenes e) y f) 24

Figura 5-11 Calicata 2 26

Figura 5-12 Ensayo de densidad cono de arena en a) calicata C6 y b) calicata C1. 30

Figura 5-13 Correlación curvas de Breddin (1963), para estimación de permeabilidad 31

Figura 5-14 Ensayo de infiltración puntual realizado en a) calicata C1 y b) calicata C3 32

Figura 5-15 Disposición del sondaje P-1 en el terreno. 34

Figura 5-16 Disposición de ensayos CPT en el terreno. 36

A continuación se presenta una figura que resume los ensayos de campo realizados en los sobre el muro de arenas, ejemplificados en la Figura 5-16. 37

Figura 5-17 Ensayos CPT Atacama Kozan 37

Figura 5-18 Distribucion espacial de perfiles geofísicos 40

Figura 5-19 Interpretación Perfil Electromagnético, rangos de resistividad mostrados en colores. 46

Figura 5-20 Lineamiento regionales entorno de Quebrada El Gato 49

Figura 6-1 Mapa hidrogeológico local (modificado de Ref.4) 52

Figura 6-2 Perfil A- A´ Hidrogeología Local 53

Figura 6-3 Mapa de permeabilidades y coeficiente de almacenamiento del área de estudio .... **¡Error! Marcador no definido.**

1 INTRODUCCIÓN

La **COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA ATACAMA KOZAN** (***AK***) está planificando desarrollar un nuevo depósito de relaves para operar a continuación (o alternadamente) del actual tranque de relaves que se ubica en la quebrada denominada El Gato, este último a una distancia de 16 km hacia el Norte de la actual planta concentradora.

Para este efecto, AK ha solicitado a JO Ingeniería (***JO***) desarrollar una ingeniería para sustentar el expediente técnico del nuevo depósito de relaves a presentar al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA), por la vía de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), que se justifica como una ampliación del depósito de relaves en Quebrada El Gato, para la capacidad actual de la planta concentradora, y por el método de relaves filtrados que es ambientalmente más favorable.

Como actividad de los "estudios básico" del proyecto, previamente ***JO*** preparó especificaciones técnicas para desarrollar prospecciones en el sitio del nuevo deposito de relaves [Ref. 5], trabajos que fueron desarrollados en terreno por la empresa especializada DPI Ltda. [Ref. 6] (***DPI***) y supervisados por ***JO***, los ensayos fueron desarrolladas entre los días 4 de octubre y 16 de noviembre de 2016.

Cabe mencionar que también se efectuó en terreno una campaña de prospección geotécnica anticipada, que también se describe y comenta en este informe.

El presente documento presenta una descripción de los trabajos realizados y una evaluación de los resultados obtenidos.

2 OBJETIVO Y ALCANCE

Realizar una caracterización de las propiedades geotécnicas del material de suelo de fundación del futuro depósito de relaves, a partir de ensayos geotécnicos realizados en sondajes y calicatas, como aporte a los estudios básicos del estudio para la DIA del proyecto de relave filtrado a realizarse en la Quebrada El Gato.

3 REFERENCIA

[Ref.1] Informe Final (Nº 2095-GE-IC-001_0). Proyecto "Informe de Ingeniería de Perfil para selección de sitio para nuevo depósito de relaves" , preparado por **JOI** para **AK**. Junio 2014.

[Ref.2] Descripción del Proyecto. Declaración de Impacto Ambiental Proyecto "Aumento de Capacidad del Tranque de Relaves El Gato de la SCM Atacama Kozan". Preparado por SCA y GA. Septiembre 2011.

[Ref.3] Estudio de Tranque de relave Quebrada El Gato. Declaración de impacto ambiental (DIA), , desarrollada por la empresa E.C.ROWE ASOC. Para SCM AK. Junio 2014.

[Ref.4] Informe de caracterización Geológica-Geotécnica del sitio" (N° 3070-GE-INF-008_Rev. 0 Proyecto "Ingeniería Conceptual Avanzada depósito de relave filtrado El Gato –, preparado por JOI para AK. Septiembre 2016.

[Ref.5] Especificación técnica de prospecciones, sondajes, calicatas y perfiles geofísicos del sitio del deposito (N° 3070-GO-ETE-001 Rev. 0) preparado por **JOI** para **AK**. Septiembre 2016.

[Ref.6] Estudios Geotécnicos Tranque de Relaves Filtrados Quebrada de Paipote, Copiapó, III Región de Atacama, preparado por DPI Ingenieros Ltda. Para **AK** Enero 2017.

4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Instalaciones

S.C.M. Atacama Kozan cuenta con 2 sitios donde se emplazan sus instalaciones; sector Planta y Yacimiento Atacama Kozan, y sector Tranque de Relaves El Gato (Figura 4-1). Es en las instalaciones pertenecientes al Tranque de Relaves donde se proyecta la construcción de un nuevo depósito de relaves filtrados (Figura 4-2).

Figura 4-1 Instalaciones S.C.M. Atacama Kozan.

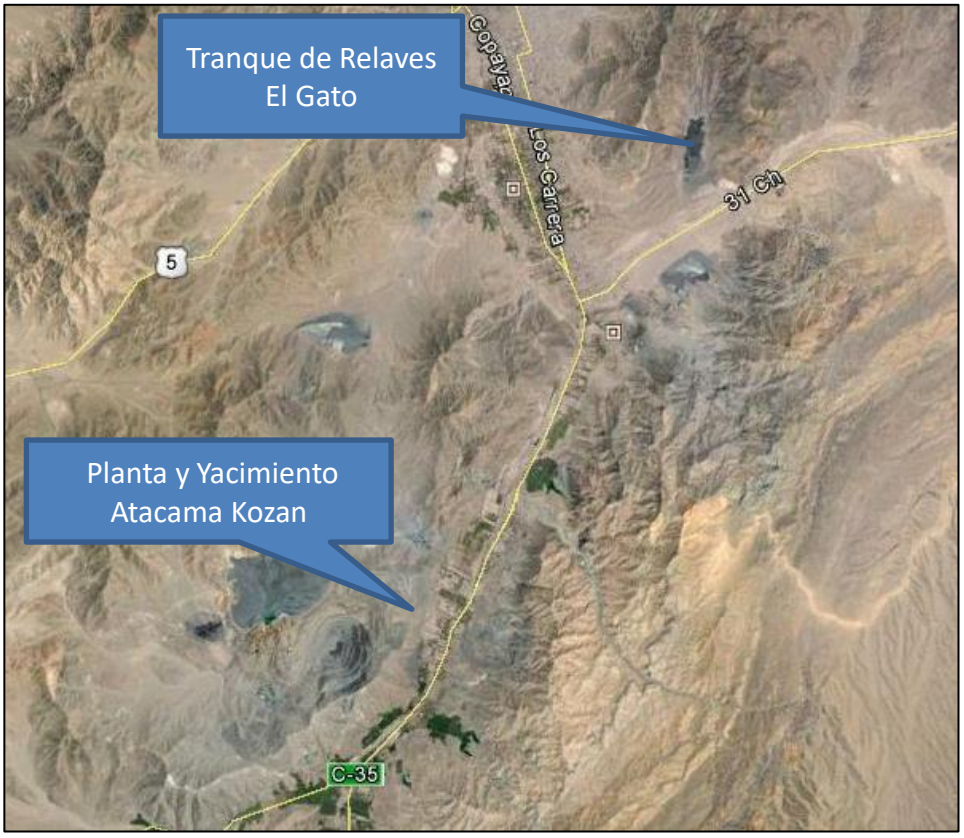
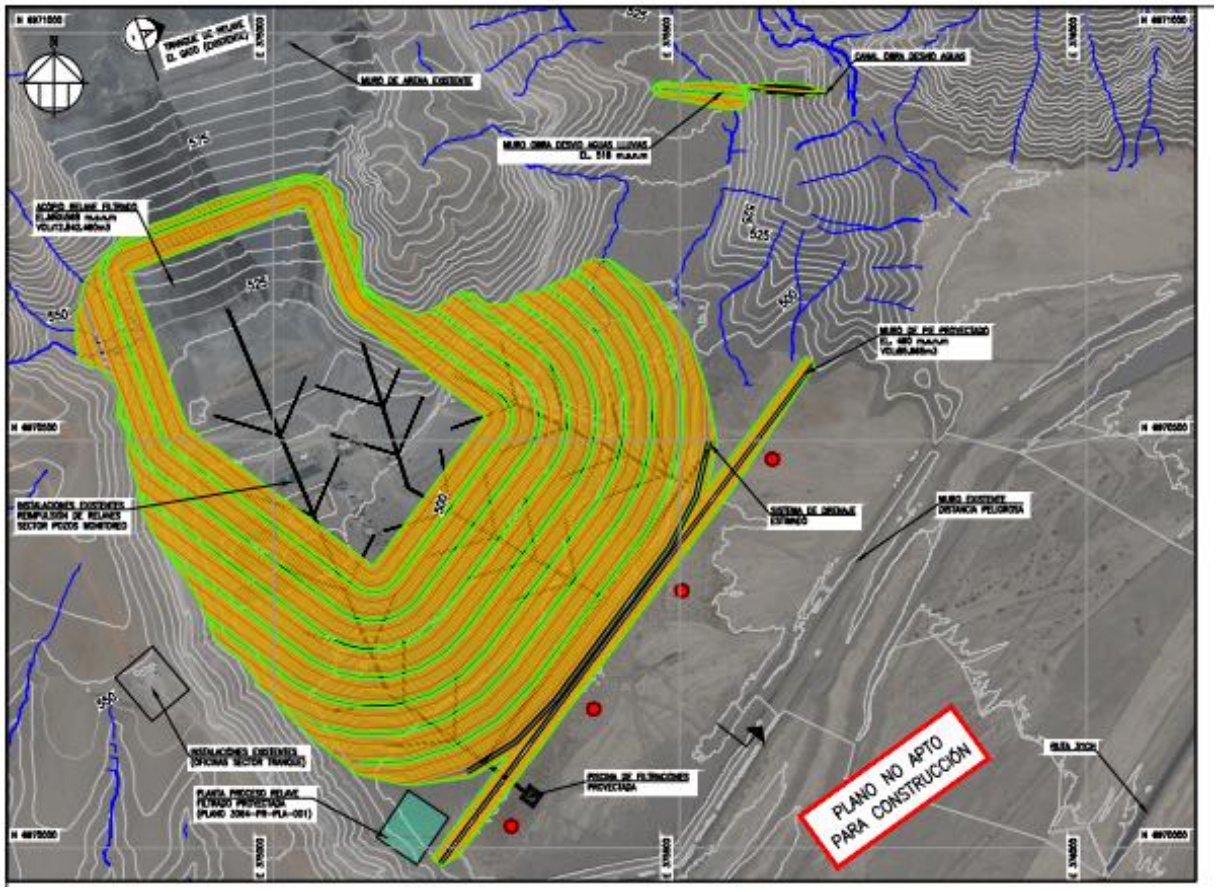


Figura 4-2 Disposición General Deposito de Relaves Filtrados



4.2 Plano de Ubicación

El proyecto se emplaza en la Quebrada El Gato, localizada en la provincia de Copiapó, III Región de Chile al Norte de la intersección de Quebrada Paipote y el cauce natural del río Copiapó (Figura 4- 3).

Figura 4-3 Ubicación Regional Tranque de Relaves El Gato.



Como vía de acceso para llegar al Tranque se debe ingresar por la bifurcación del camino internacional, Ruta 31, avanzando 3,5 Kms en dirección hacia Inca de Oro (Ruta 31-CH).

5 CARACTERIZACIÓN SUELO DE FUNDACIÓN

Con el fin de aportar antecedentes al presente estudio de ingenierí para el nuevo depósito de relaves filtrado en sector bajo de la quebrada El Gato, se realizó entre los meses de octubre y diciembre 2016, dos campañas de prospecciones geotécnicas. La primera campaña consistió en la construcción de 2 sondajes, denominados S-B y S-D, y 6 calicatas propuestas en las especificaciones técnicas elaboradas para estos trabajos [Ref. 5]3070-GE-INF-006 B. La segunda campaña consistió en la realización de un nuevo sondaje geotécnico, pruebas de penetración dinámica en el muro del tranque ya existente y una exploración geofísica mediante refracción sísmica y TEM (Transient or time-domain electromagnetics).

5.1 Primera Campaña Geotécnica

La Primera Campaña Geotécnica fue realizada por la empresa HQ Sondajes, contratista habitual de ***AK*** y supervisada por profesionales de ***JO***. Las calicatas fueron realizadas por personal de ***AK***, según indicaciones de personal de ***JO*** quienes además realizaron determinaciones geotécnicas en dichas calicatas.

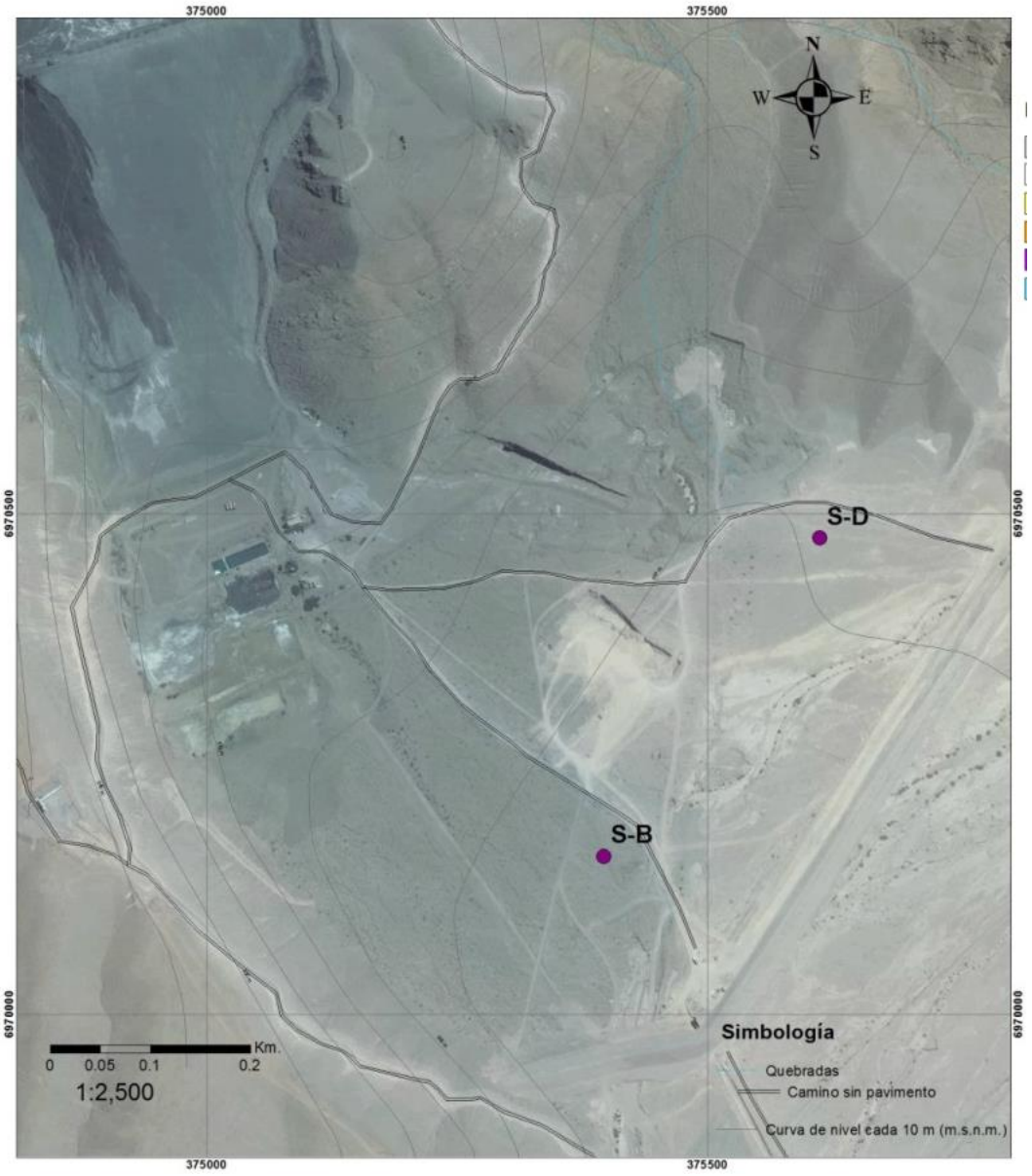
5.1.1 Sondajes de Exploración

Los sondajes diamantinos fueron perforados por la empresa HQ Sondajes en un diámetro de perforación **HQ (0.0956 m).** La perforación fue llevada a cabo en jornadas dobles de trabajo, con turnos de noche y de día. La supervisión de la perforación por parte de geólogo de ***JO*** se efectuó sólo la jornada de día. A continuación se presenta una tabla con las coordenadas de los dos sondajes realizados y una figura con la distribución espacial de estos en el área de estudio.

Tabla 5-1 Coordenadas en Datum WGS 84 sondajes S-D y S-B

Nombre	Este	Norte
S-D	375.612	6.970.476
S-B	375.396	6.970.158

Figura 5-1 Disposición de los sondajes S-B y S-D en el terreno.



Sondaje S-B

Este fue el primer sondaje perforado el cual alcanzó una profundidad de 95,2 metros. En este sondaje fueron reconocidas 7 unidades estratigráficas no consolidadas y el basamento rocoso a partir del metro 84,55.

Es posible agrupar las 7 unidades identificadas en dos grandes unidades:

A. La primera abarcando desde el metro 0 hasta el metro 51,7, donde se reconocen 6 estratos diferenciados por leves cambios en el contenido de la matriz, tamaño de clastos y grado de redondeamiento.

B. La segunda gran unidad se desarrolla desde el metro 53.2, hasta el 84.55 donde no fue posible diferenciar grandes cambios en la naturaleza de los clastos y la matriz, sin embargo, la gran diferencia se encuentra en el grado de consolidación de la capa, ya que existe una mejor recuperación en el testigo del sondaje (Figura 5-2).

Figura 5-2 Cambio en la calidad de recuperacion del testigo de sondaje a partir del metro 51.7.



A las unidades descritas se les atribuyen edades Cuaternarias para el tramo superior y Mioceno-Plioceno para el tramo inferior, respectivamente.

El basamento rocoso es del tipo diorita porfídica, y su índice de calidad de roca RQD arrojó una mala calidad.

La información obtenida del sondaje es en base a una recuperación promedio de 52.4% del testigo, por lo que existe un grado de incertidumbre en la información obtenida.

Finalizada la perforación se midió nivel freático al metro 81,53

Sondaje S-D

Este sondaje fue cronológicamente el segundo perforado dentro de la campaña y alcanzó una profundidad total de 78.1 m. A partir del sondaje recuperado fue posible identificar 9 niveles estratigráficos.

Las 9 capas identificadas fue posible reagruparlas en 2 grandes unidades. Esto fue realizado a partir del cambio en el grado de consolidación y de cementación en la matriz de las capas. La capa superior se encuentra entre el metro 0 y el metro 26,2 donde se diferencias 3 estratos. El primer estrato se encuentra entre el metro 0 y metro 11,2, originado por el evento aluvional de marzo de 2015. Su composición se encuentra principalmente dada por arena, limos, arcillas >70%, y en menor cantidad clastos, también es posible diferenciar una gradación normal o aumento en el tamaño de los clastos (> 5 cm) hacia la base de esta capa. Luego del primer estrato se encuentra 2 niveles de gravas con distintos cambios en el contenido de matriz, tamaño de clastos y grado de consolidación en la matriz (secuencia asociada al mismo primer nivel descrito en sondaje S-B).

Figura 5-3 Unidad de origen aluvional reciente con alto contenido de arena, limos y arcillas.



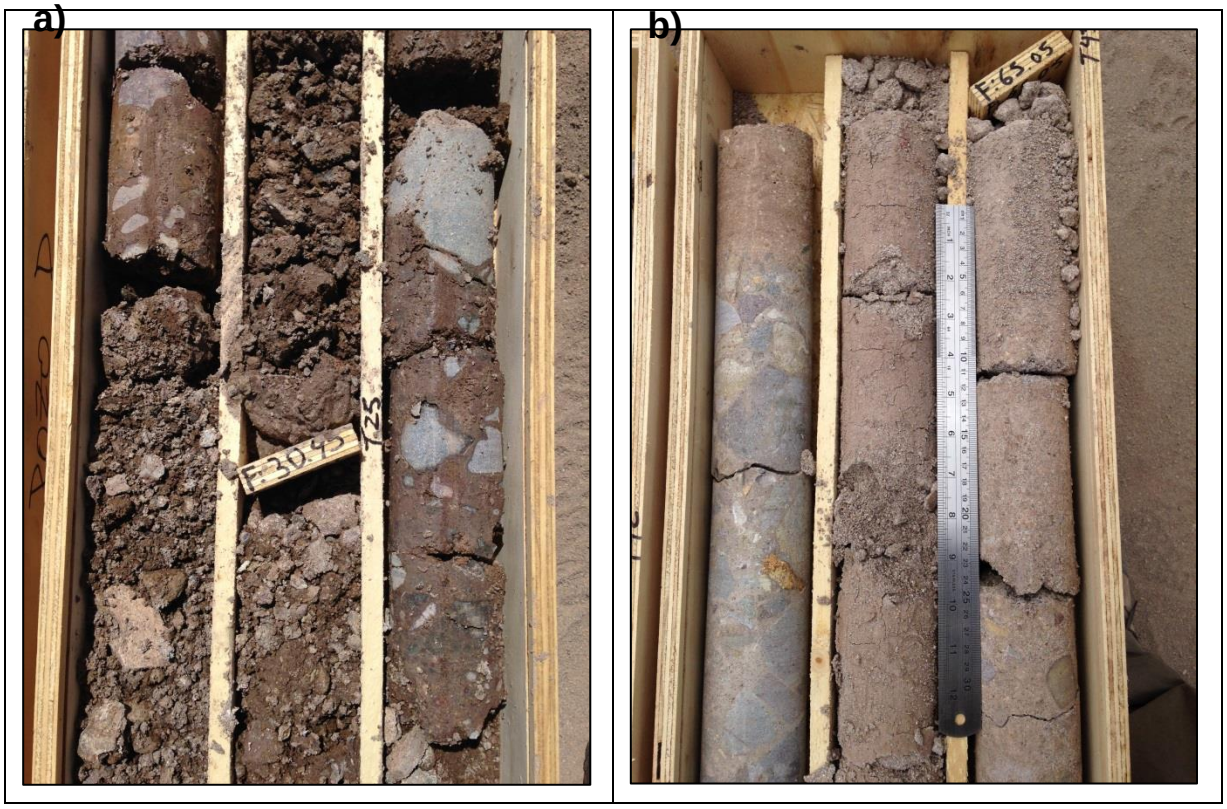
La segunda gran unidad se encuentra entre los metros 26,2 y 68,1, identificándose en ella un total de 5 estratos. En la parte superior diferenciamos una capa semicompacta de grava con bajo contenido de matriz (<15%) que llega hasta el metro 38.2. Infrayaciendo a esta capa encontramos una secuencia de gravas con mayor grado de compactación que la anterior mencionada, y pocas variaciones en el contenido de matriz y tamaño de clastos. A partir del metro 38.2 hasta el metro 68.1 se encuentra una grava denominada semi consolidada

intercalada con una grava con matriz cementada, donde los tramos a esta última sub unidad se encuentra entre los metros 46,95-56,2 y 58,95-63,2.

La roca madre fue identificada como tonalita de buena calidad geomecánica alcanzando un valor de RQD de 79%, dicho porcentaje indica que la calidad de roca es buena. Finalmente a estas dos grandes unidades se les atribuyen edades Cuaternario para la superior y Mio-Plioceno para la unidad inferior.

Finalizada la perforación no se identificó nivel piezométrico en este sondaje.

Figura 5-4 Diferencia en el grado de compactación: a) grava semi compacta y b) grava con matriz cementada intercalada con grava semiconsolidada.

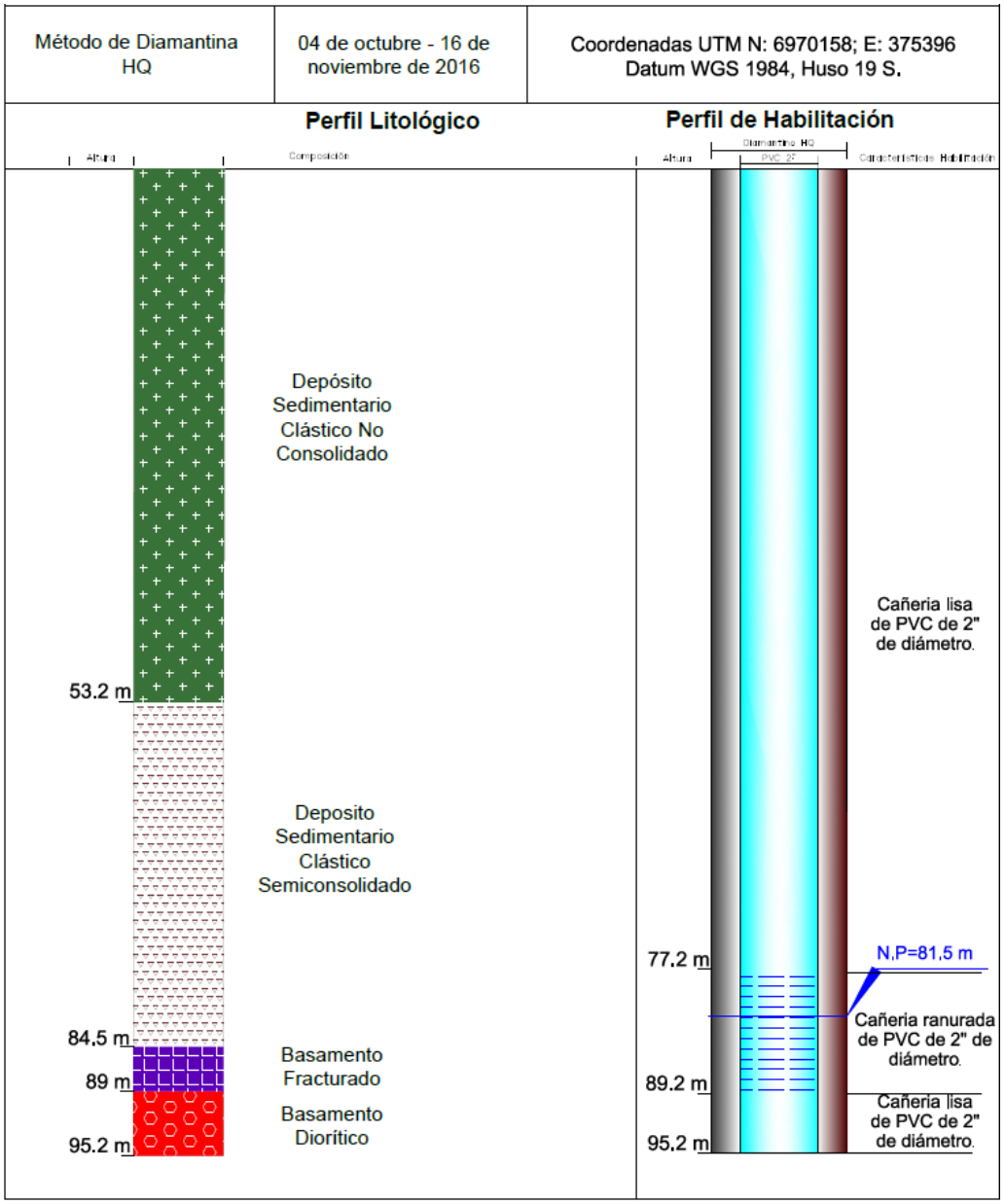


El detalle de la descripción de cada sondaje se encuentra en el Anexo 1 y 2.

5.1.1.1 Habilitación de pozos

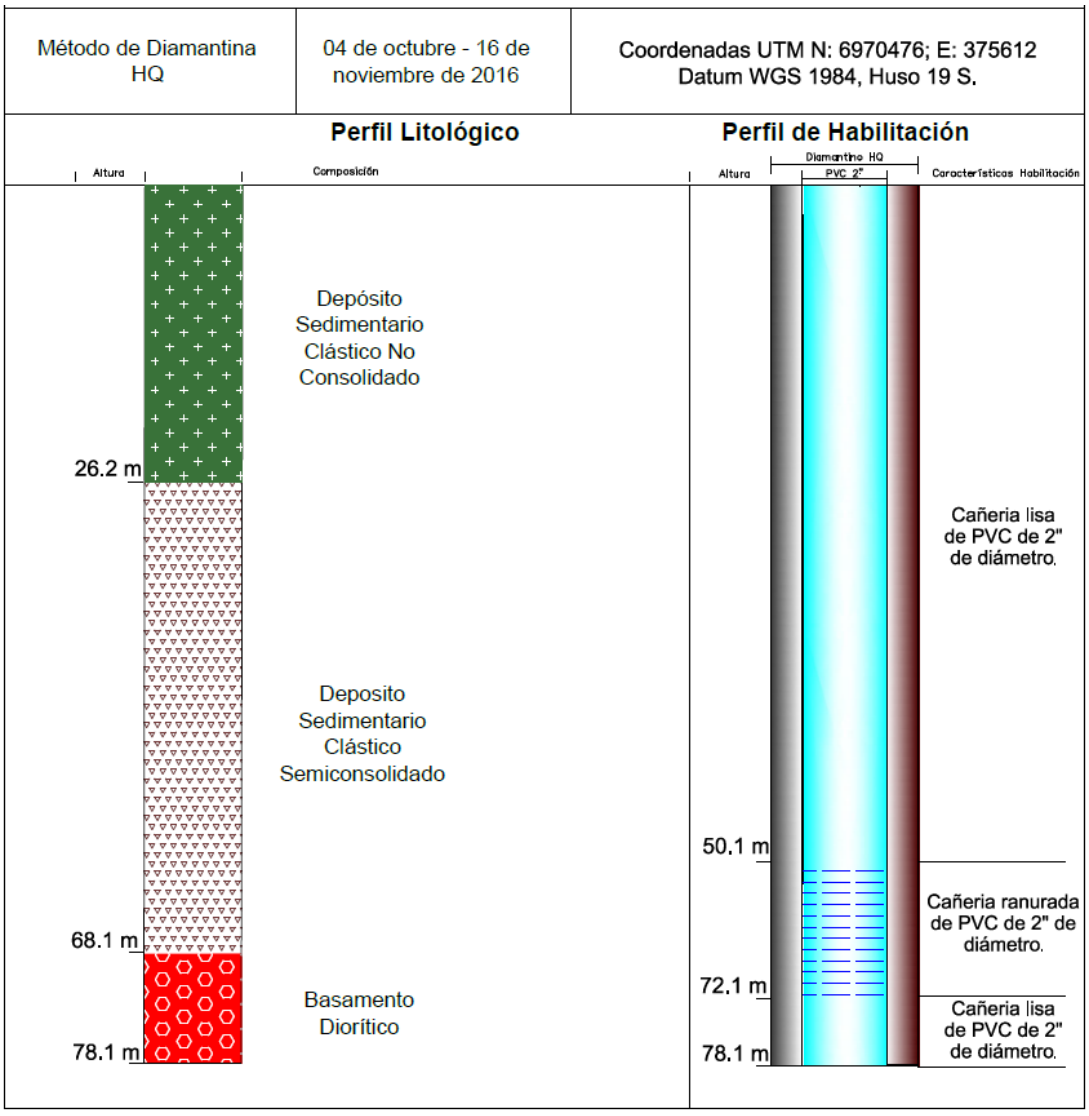
Los piezómetros perforados fueron habilitados con tubería de PVC de 6 metros de largo y 0.0508 m de diámetro. Para el piezómetro S-B, el cual tenía nivel freático, se optó por una tubería ciega en el fondo de 6 metros, sobre esta 12 metros de criba PVC, la cual abarca el total de la zona más permeable del acuífero y el nivel freático. Finalmente y hasta la superficie se habilitó con 78 metros de tubería ciega de las mismas características que la anterior mencionada.

Figura 5-5 Perfil de Habilitación Sondaje S-B



El piezómetro S-D también fue habilitado con tubería PVC de 6 metros de largo y 0.0508 m de diámetro. En el fondo se consideró 6 metros de tubería ciega, sobre esta 12 metros de tubería con criba y sobre estas fueron colocados 60 metros de tubería ciega. El fin de habilitar este sondaje con criba, a pesar de no detectar nivel freático, fue otorgar la posibilidad de realizar algún tipo de prueba de inyección u otra a fin de que en este sector y/o monitorear la existencia de niveles en el futuro.

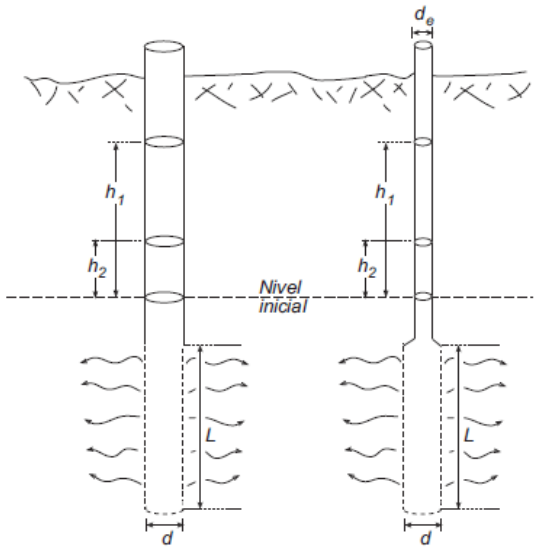
Figura 5-6 Perfil de Habilitación Sondaje S-D



5.1.1.2 Ensayos de permeabilidad

Una de las alternativas utilizadas en geotecnia para el cálculo de permeabilidad son las pruebas de inyección puntual, en específico los ensayos Lefranc. Para el presente se accedió por realizar pruebas a nivel variable, es decir se introduce o se extrae un volumen de agua lo que provoca un descenso o un ascenso en los niveles instantáneos de agua. A partir de estos se miden los descensos en el tiempo.

Figura 5-7 Características de la prueba de inyección Lefranc carga variable



$$K = \frac{d_e^2 \ln(2L/d)}{8\,L\,t}\, ln\frac{h_1}{h_2} \qquad (4)$$

donde: K = conductividad hidráulica
h_1 , h_2 = altura del agua al principio y al final del ensayo
t = tiempo transcurrido entre la observación de los niveles h_1 y h_2
L = longitud de la zona filtrante
d = diámetro de la zona filtrante
d_e = diámetro de la entubación (puede ser igual a d)

En este caso el diámetro de la zona filtrante es igual que el de la entubación del piezómetro, al inyectar un volumen de agua se hace subir el nivel a una altura h_0 y posteriormente se miden los niveles h_1 y h_2 entre las que ha transcurrido un tiempo t.

El sondaje S-B solo pudo ser sometido a este ensayo al metro inferior, es decir al metro 95 de la perforación el cual coincidió con el basamento. En el sondaje S-D fue posible realizar ensayos a distintas profundidades, en metros 12,25, 26,2, 49,25 y 78,3 coincidiendo con la unidad superior Cuaternaria, unidad Mio-Pliocena superior semicompacta, unidad Miocena de grava con matriz cementada y unidad basamento tonalítico impermeable respectivamente. Estos últimos dos fueron los que arrojaron valores más bajos de permeabilidad.

Tabla 5-2 Antecedentes Generales Pruebas Lefranc Sondaje S-B y S-D.

Datos		S-B	S-D	S-D	S-D	S-D
Prof. Realización Prueba		95	12.25	26.2	49.25	78.3
d_e (m)		0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
L (m)		0.5	0.1	0.23	0.22	1.2
d (m)		0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
K (m/d)	Prueba 1	0.131	0.148	0.023	0.0003	0.007
	Prueba 2	0.094	0.095	0.015	2.89E-05	0.005
	Prueba 3	0.01	0.062	0.013	1.44E-05	0.003
	Prueba 4	0.011				0.002

Cabe mencionar que los ensayos de inyección puntual tipo Lefranc, entregan datos meramente indicativos en cuanto a la permeabilidad, en el caso del pozo S-B se recomienda realizar una prueba de bombeo a bajo caudal para obtener el valor real de la permeabilidad y transmisividad de la zona saturada de este punto.

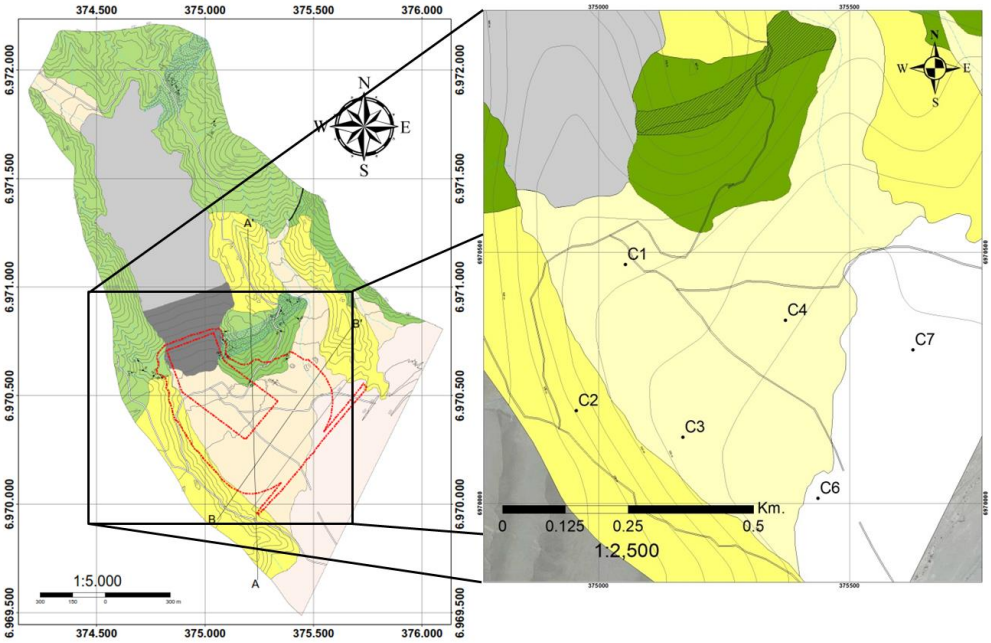
5.1.2 Calicatas

Personal de ***AK*** realizó, mediante equipo mecánico adecuado, 6 excavaciones, cada una con 3 escalones y profundidades máximas entre 3,8 y 4,5 metros (1 a 1,5 m de altura cada escalón). Estas calicatas fueron distribuidas de manera tal de abarcar el total del área de emplazamiento de proyecto del depósito de relaves filtrado y zonas de operación del mismo. A grandes rasgos la calicata C2 se emplaza en un depósito aluvial coluvial semiconsolidado de edad Mio-Plioceno, las calicatas C1, C3 y C4 se emplazan en el depósito aluvial no consolidado Cuaternario antiguo, de sedimentos provenientes principalmente de la Quebrada El Gato, y las calicatas C6 y C7 se realizaron en la unidad depósitos fluviales recientes, donde se pudo identificar principalmente sedimentos atribuidos al evento aluvión de marzo de 2015.

Tabla 5-3 Coordenadas UTM (Datum WGS 84) calicatas proyectadas

CALICATA (NOTA 5)	COORDENADAS UTM	
	NORTE	ESTE
C1	6.970.476	375.054
C2	6.970.185	374.956
C3	6.970.132	375.169
C4	6.970.365	375.373
C5	6.970.030	375.175
C6	6.970.010	375.438
C7	6.970.306	375.627

Figura 5-8 Distribución espacial emplazamiento de calicatas



5.1.2.1 *Análisis visual de calicatas*

1) Depósitos aluviales activos calicatas C6 y C7

Estas calicatas poseen una profundidad total entre 3,8 y 4 metros. En el primer metro se identificó principalmente arenas, limos y arcillas en cantidades superior al 70 %, con poco contenido de matriz y clastos dispuestos de manera heterogénea (1,5 a 5 cm, poco abundantes). A partir de los metros 1,5 y 2 respectivamente, fue posible identificar un aumento en el tamaño de los granos llegando a capas con clastos de hasta 15 cm de diámetro, esta gradación se vuelve a presentar hacia el metro final de la calicata. Dentro de estas variantes fluviales de grano más fino es posible identificar estructuras de lineamiento y estratificación cruzada, que indican la gran variación de energía en los flujos circulantes. Estas calicatas sólo atraviesan el material originado por el aluvión de marzo de 2015, lo cual fue corroborado por trabajadores de ***AK***, quien verificó un aumento en la cota de suelo en dicho sector posterior al evento.

Figura 5-9 Calicata C6 imágenes a) y b, y calicata C7 imágenes c) y d), destacan similitudes en la naturaleza de su facies de origen fluvio aluviales y aluvionales.

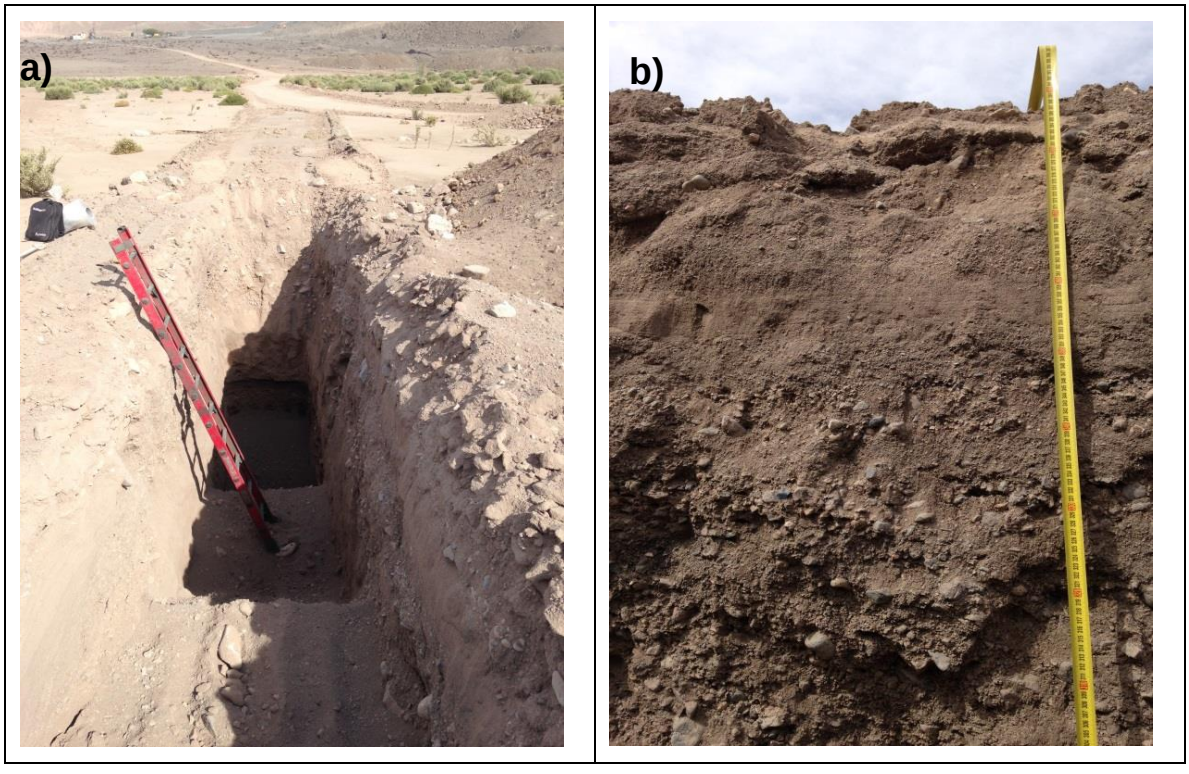
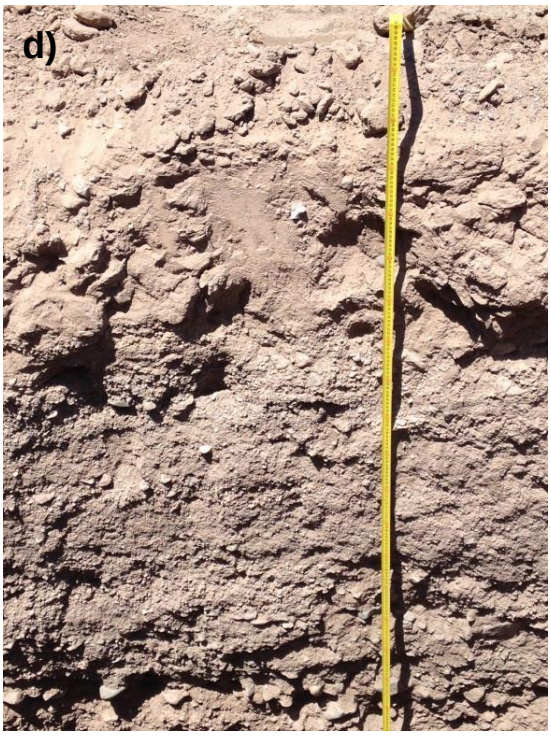


Figura 5-11 Calicata C6 imágenes a) y b, y calicata C7 imágenes c) y d), destacan similitudes en la naturaleza de su facies de origen fluvio aluviales y aluvionales (continuación).





2) Depósitos aluviales inactivos calicatas C1, C3 y C4

Las calicatas C1, C3 y C4 fueron excavadas hasta una profundidad de 4,0, 3,7 y 4,1 metros respectivamente. Estos estratos tienen un origen fluvial, aluvial y coluvial, con poco trabajo erosivo, es decir, predominio de clastos subangulosos a angulosos. También se aprecia imbricaciones de los clastos que indican paleoflujos y aportes sedimentarios desde la Quebrada El Gato, principalmente (NW-SE). Cabe mencionar que en general los estratos se presentan con poca cantidad de sedimentos finos < 10%, los cuales evidencian estructuras de lineamiento. También se identifican intercaladas pequeñas cuñas y paleocanales donde predomina el material fino, estas sugieren unas facies eólicas y fluviales. Estas pequeñas variaciones se presentan en forma intermitente sin alterar mayormente las cualidades geomecánicas del suelo.

Figura 5-10 Calicata C1 imágenes a) y b), calicata C3 imágenes c) y d), y calicata C4 imágenes e) y f).

a)



b)



c)



d)



Figura 5-12 Calicata 1 imágenes a) y b), calicata C3 imágenes c) y d), y calicata C4 imágenes e) y f) (continuación) .

e)



f)



3) Depósitos aluviales y coluviales aterrazados calicata C2

Esta prospección se realizó en una calicata única sin escalones con una profundidad máxima de 2,4 metros. Se caracteriza por ser una capa con gran tamaño de clastos de origen fluviales y aluviales de matriz semi-compacta con evidencia de nitratos, arcillas y limos principalmente < 15%. Posee gran cantidad de clastos de gran diámetro >10 cm. Principalmente predominan estructuras de lineamiento en capas donde el contenido de matriz se ve disminuido.

Figura 5-11 Calicata 2



El detalle de la descripción de cada calicata se encuentra en el Anexo 3, de la presente.

5.1.2.2 Clasificación de suelos y granulometría

A partir de análisis granulométricos fue posible clasificar e identificar la abundancia de los clastos, bajo distintos diámetros dados por las mallas de los tamices utilizados. Estos análisis se realizaron a distintas profundidades (Tabla 5-4)

Tabla 5-4 Profundidad de muestras realizadas en la calicata y tamices utilizados en el análisis granulométrico.

Calicata	Profundidad de muestra
1	1.4
	2.8
2	1.4
	2.4
3	2
	3.7
4	2
	3.5
6	1.5
	2.8
7	1.5
	3.7

Tamiz ASTM	Tamiz [mm]
3"	75
2"	50
3/4	19
3/8	9.5
4	4.75
8	2.36
10	2.00
16	1.18
30	0.6
40	0.425
50	0.3
100	0.15
200	0.075
>200	<0.075

A partir de estos datos se pudo identificar que, en general, existen dos claras tendencias; una tendencia fina y otras de granulometrías variables. La tendencia fina es característica de las muestras obtenidas de las calicatas C6 y C7, donde predominan las arenas gruesas, arenas finas, limos y arcillas, capas que presentan también un mayor grado de uniformidad en su distribución granulométrico. En las demás calicatas abundan el tamaño de clasto tipo grava y existe una muy baja uniformidad en la distribución granulométrica de los clastos.

Las muestras de suelo obtenidas, además, fueron clasificadas mediante las normas internacionales USGS y AASHTO, donde no fue considerado el límite líquido y el límite plástico debido a la poca recuperación del material menor a la malla ASTM 100. Los suelos fueron clasificados según la USGS como suelo grueso, grava bien gradada (GW) y según la AASHTO se clasificaron como A-1-a. Solo se observó una diferencia en la clasificación otorgada al metro inferior de la calicata C7 donde predomina considerablemente el bajo tamaño de los granos clasificándose este suelo como Suelo grueso, grava mal gradada (GW-GC) y A-2-4 para la clasificación USGS y AASHTO respectivamente.

Tabla 5-5 Resumen del análisis granulométrico realizado y clasificación de suelos

Calicata	Profundidad Toma Muestra	%que pasa				Coeficiente		Clasificacion de suelo	
		Grava (T#4)	Arena Gruesa (T#10)	Arena Fina (T#40)	Arcilla/Limo (T#200)	Uniformidad (Cu)	Curvatura (Cc)	USGS	AASHTO
1	1.4	68.44%	11.16%	16.05%	4.35%	16.309	1.951	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	2.8	69.80%	16.40%	11.00%	2.80%	37.251	1.580	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
2	1.4	66.72%	21.46%	9.33%	2.49%	42.880	0.886	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	2.4	74.85%	19.63%	4.45%	1.07%	22.379	1.221	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
3	2	70.35%	11.77%	13.76%	4.11%	131.442	2.199	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	3.7	62.22%	12.06%	17.85%	7.88%	132.153	0.400	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
4	2	77.38%	6.71%	10.14%	5.77%	159.146	14.901	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	3.5	69.42%	17.28%	9.02%	4.28%	92.130	1.790	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
6	1.5	53.55%	38.30%	6.76%	1.39%	9.485	1.025	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	2.8	77.92%	9.22%	9.09%	3.77%	73.717	5.895	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
7	1.5	86.78%	8.87%	3.37%	0.98%	46.932	1.864	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	3.7	2.79%	78.40%	15.51%	3.31%	4.484	1.329	Suelo Grueso, Gava mal gradada (GW-GC)	A-2-4

El total de datos granulométricos se presentan en el Anexo 4.

5.1.2.3 *Parámetros índices*

De manera simultánea a los análisis granulométricos y utilizando las mismas muestras, fue posible realizar ensayos para obtener algunos parámetros índice, tal como humedad y peso específico. Además, en la zona más somera de cada calicata, se realizó ensayos de densidad del terreno in-situ, mediante el método de cono de arena.

La humedad en general se encuentra por debajo del 1%, siendo coherente con las bajas precipitaciones y la baja retención que existe en los materiales de grano grueso, sin embargo la calicata C7 presento humedades sobre el 1% debido también a la abundancia de material fino que tiene mayor grado de retención de agua. Misma relación ocurrió con el peso específico donde los valores más bajos, <2, se presentan en el material de la calicata C7.

Tabla 5-6 Resultados de la medición de humedad y peso específico

Calicata	Muestra por metro	Humedad	Peso específico g/cm_3
1	1.4	0.80%	2.55
	2.8	0.71%	3.07
2	1.4	0.62%	2.51
	2.4	0.77%	2.89
3	2	0.57%	2.68
	3.7	0.81%	2.82
4	2	0.31%	2.42
	3.5	0.61%	2.97
6	1.5	0.87%	2.44
	2.8	0.91%	2.02
7	1.5	1.60%	1.94
	3.7	3.87%	1.93

Como se mencionó anteriormente la densidad fue calculada utilizando el método cono de arena, en la zona más somera de cada calicata. En la tabla 5-7 se presentan las densidades calculadas y en la figura 5-14 se presentan imágenes del trabajo en terreno. Los cálculos se encuentran en el Anexo 5.

Tabla 5-7 Densidad media en la zona somera de cada calicata (DCH, densidad compacta humeda; DMCS, densidad máxima compacta seca)

	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 6	Calicata 7
D.C.H.	1.394	1.693	2.524	2.686	2.045	2.017
% w	1.004	1.020	1.004	1.005	1.012	1.013
D.M.C.S.	1.388	1.660	2.514	2.672	2.022	1.991

Figura 5-12 Ensayo de densidad cono de arena en a) calicata C6 y b) calicata C1.

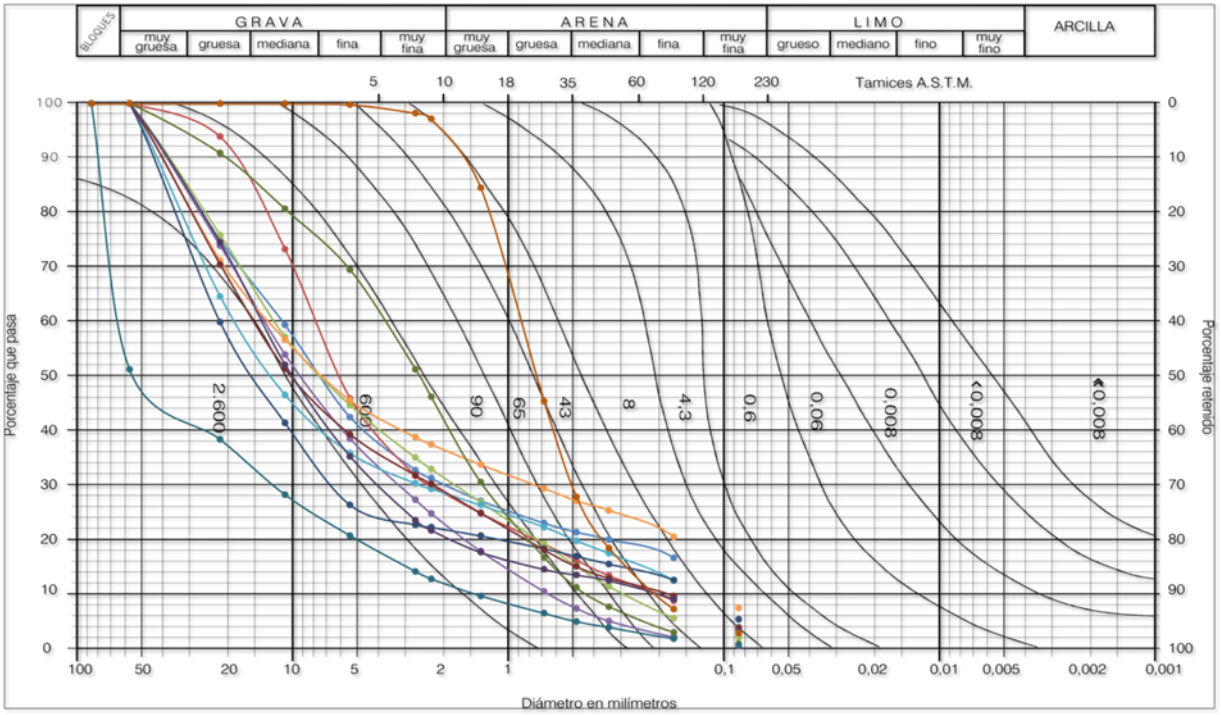




5.1.2.4 Ensayos de permeabilidad

Según los datos que fueron factibles de obtener desde la campaña en terreno, se determinó la permeabilidad de los materiales realizando correlaciones asociando las granulometrías obtenidas a la curvas de Breddin (1963); se obtuvieron valores de permeabilidad para cada calicata a distintas profundidades. Los valores obtenidos se encuentran entre los 38,6 y 199 m/día, existiendo algunos puntos en donde la estimación alcanzó hasta valores de más de 600 m/d según esta misma correlación.

Figura 5-13 Correlación curvas de Breddin (1963), para estimación de permeabilidad



Otra de las alternativas utilizadas popularmente en geotecnia para el cálculo de permeabilidad son las pruebas de inyección puntual, en específico los ensayos Lefranc. El método de cálculo aplicado para los ensayos Lefranc ya fueron descritas en capítulos anteriores.

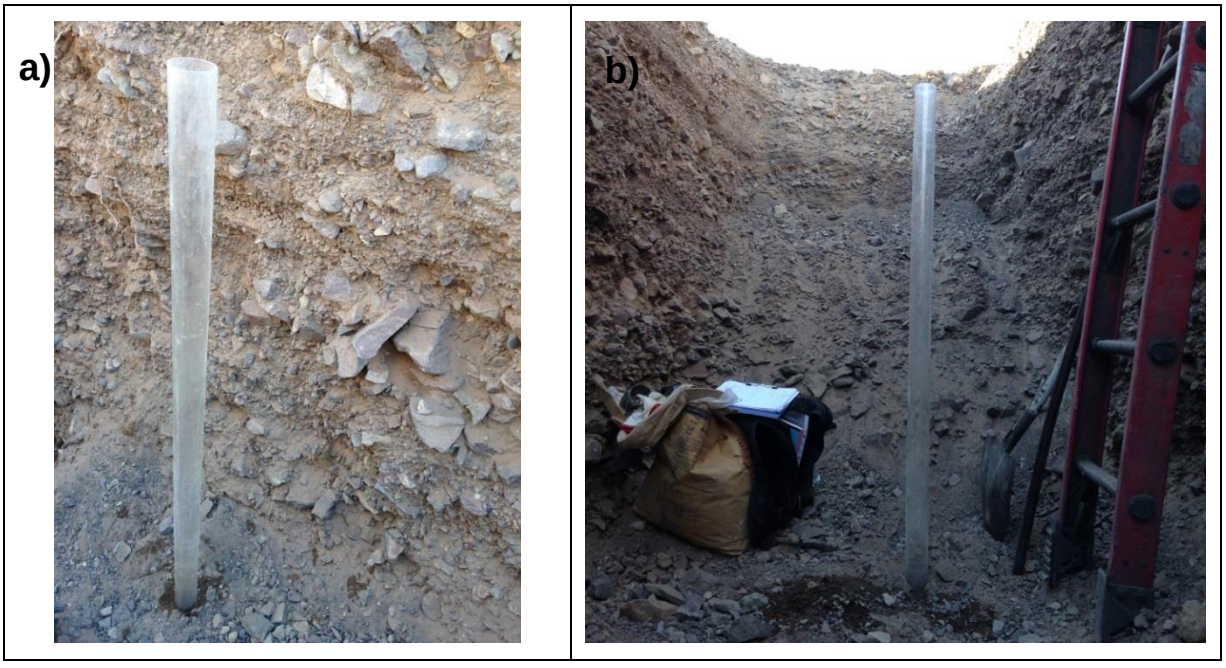
En este caso el diámetro de la zona filtrante es igual que el de la entubación del piezómetro, al inyectar un volumen de agua se hace subir el nivel a una altura h_0 y posteriormente se miden los niveles h_1 y h_2 entre las que ha transcurrido un tiempo t.

Los valores calculados por los ensayos Lefranc indican en las calicatas C6 y C7 valores muy bajos de permeabilidad con 0.5 m/d, las demás calicatas muestran valores por sobre 1 m/d de permeabilidad. Para estos casos los valores se encuentran muy por debajo de la correlación que se realiza a partir de curvas de Breddin.

Tabla 5-8 Permeabilidad calculada a partir de ensayos de inyección puntual

Datos		Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 6	Calicata 7
Prof. Realización Prueba		2.7	2.55	2.6	2.7	2.7	2.8
d_e (m)		0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
L (m)		0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.12
d (m)		0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
K (m/d)	Prueba 1	3.011	1.588	1.240	1.179	0.564	0.565
	Prueba 2	1.041	1.588	1.240	1.128	0.274	0.192
	Prueba 3	1.041	1.588	1.240	1.128	0.240	0.174

Figura 5-14 Ensayo de infiltración puntual realizado en a) calicata C1 y b) calicata C3



Cabe mencionar que los ensayos de inyección puntual tipo Lefranc, entregan datos meramente indicativos en cuanto a la permeabilidad, sin embargo son de mayor fiabilidad que la correlación realizada por Breddin. Se recomienda un valor medio de permeabilidad de ambos ensayos (Anexo 6)

5.2 Segunda Campaña Geotécnica

La totalidad de las actividades realizadas en la Segunda Campaña Geotécnica fueron realizada por la empresa ***DPI***, supervisadas por profesionales de ***JO***. La información que se presentará a continuación es un resumen del informe "Estudios Geotécnicos Tranque de Relaves Filtrados Quebrada Paipote, Copiapó, III Región de Atacama", elaborado por DPI [Ref. 6]. El informe de DPI Ltda. con todos sus anexos, a su vez se adjunta en el Anexo 7 del presente informe.

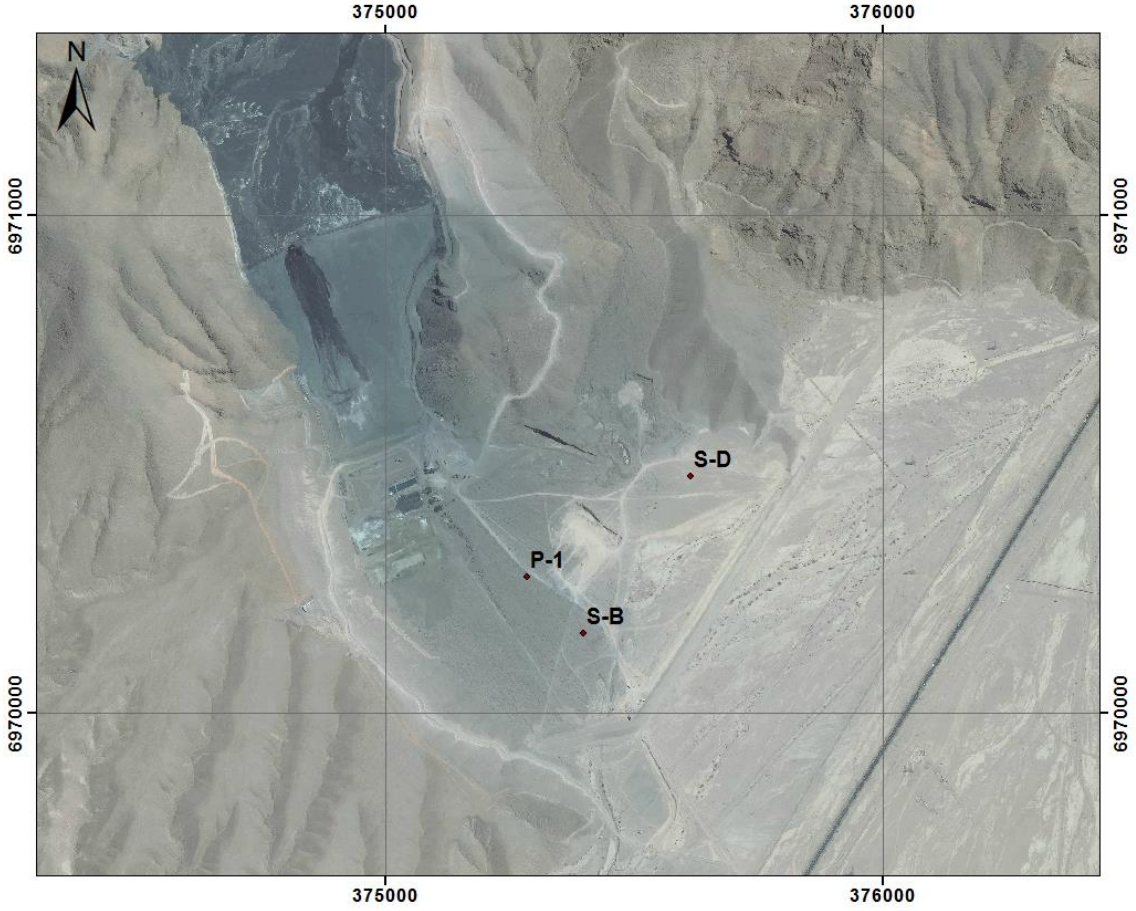
5.2.1 Sondajes de Exploración

DPI ejecutó un sondaje geotécnico vertical denominado P-1, ubicado según indicaciones de Atacama Kozan. La perforación fue realizada entre los días 1 y 14 de Diciembre, se utilizó una sonda modelo Long Year 38 montada sobre camión, y que cuenta con sistema wireline y brocas diamantinas en diámetro HQ3 (0.0956 m) con muestreo continuo.

Tabla 5-9 Coordenadas en Datum WGS 84 sondajes P-1

Nombre	Este	Norte
P-1	375.284	6.970.273

Figura 5-15 Disposición del sondaje P-1 en el terreno.



5.2.1.1 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Ensayo SPT consiste en la introducción en el fondo de una sonda de perforación de una cuchara estándar para tomar muestra o unidos a un tren de varillas. La introducción se realiza mediante el golpeteo en la cabeza del tren de varillas con una masa de 63,5kg, cayendo desde una altura de 76 cm. El golpeteo se contabiliza en tres tramos de 15 cm de avance cada uno, denominándose valor N_f a la suma de los valores segundo y tercero. Si por algún motivo el número de golpes necesarios para hincar cualquier intervalo de 15 cm es superior a 50, entonces el resultado del ensayo deja de ser la suma que se indica anteriormente para convertirse en RECHAZO, teniéndose que anotar la longitud hincada en el tramo en el cuál se han alcanzado los 50 golpes. El ensayo se da por finalizado cuando se alcanza este valor.

En el sondaje P-1 se realizó un total de 5 ensayos SPT a diferentes profundidades. En todos ellos se obtuvo RECHAZO, debido a la compactación del terreno aluvial y la existencia de abundante bolones en el mismo. A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 5-10 Resumen Ensayos SPT

Ensayo SPT N°	Tramo (desde –hasta)	$N_f = N_2 + N_3$
1	7.6 – 7.72	Rechazo (>50 golpes / 12 cm)
2	14.85 – 14.95	Rechazo (>50 golpes / 10 cm)
3	20.6 – 20.69	Rechazo (>50 golpes / 9 cm)
4	25 – 25.09	Rechazo (>50 golpes / 9 cm)
5	39.55 – 39.61	Rechazo (>50 golpes / 6 cm)

5.2.1.2 Ensayo Permeabilidad Lefranc

El ensayo de permeabilidad tipo Lefranc consiste en medir la permeabilidad de suelos granulares, a partir de rellenar de agua la perforación y medir el caudal necesario para mantener el nivel constante o medir el descenso del nivel de agua. A continuación se presentan los resultados obtenidos para ambas pruebas.

Tabla 5-11 Resumen Ensayos SPT

Sondaje	Ensayo N°	Profundidad Ensayo (m)	Coeficiente de permeabilidad (cm/s)	
			Prueba nivel constante	Prueba de descenso
P-1	1	54.00 – 55.00	2.0×10^{-3}	2.0×10^{-5}

5.2.2 Pruebas de Penetración Dinámica con Registro Continuo

El ensayo de cono de penetración dinámico, CPT, consiste en introducir en el suelo a energía constante, un conjunto de barras terminadas en un cono normalizado, el que se hinca gracias a la energía del martinete de 63,5 kg que cae desde una altura normalizada de 75 cm, y de esta forma, estimar la resistencia del suelo a la penetración.

La elección de este ensayo geotécnico, sobre los otros existentes tienen su fundamento principal en el tipo de material sobre el cual se realizara el ensayo. El CPT tienen una serie de ventajas con respecto a los otros métodos, entre los cuales destacan:

- Aplicable directamente a arenas, limos, arcillas y material organico
- Presenta una muy buena repetitividad
- Alta sensibilidad para determinar cambios en el perfil estratigráfico
- Presenta correlaciones empíricas para determinar las propiedades del suelo
- Posee interpretaciones teóricas para determinar las propiedades del suelo

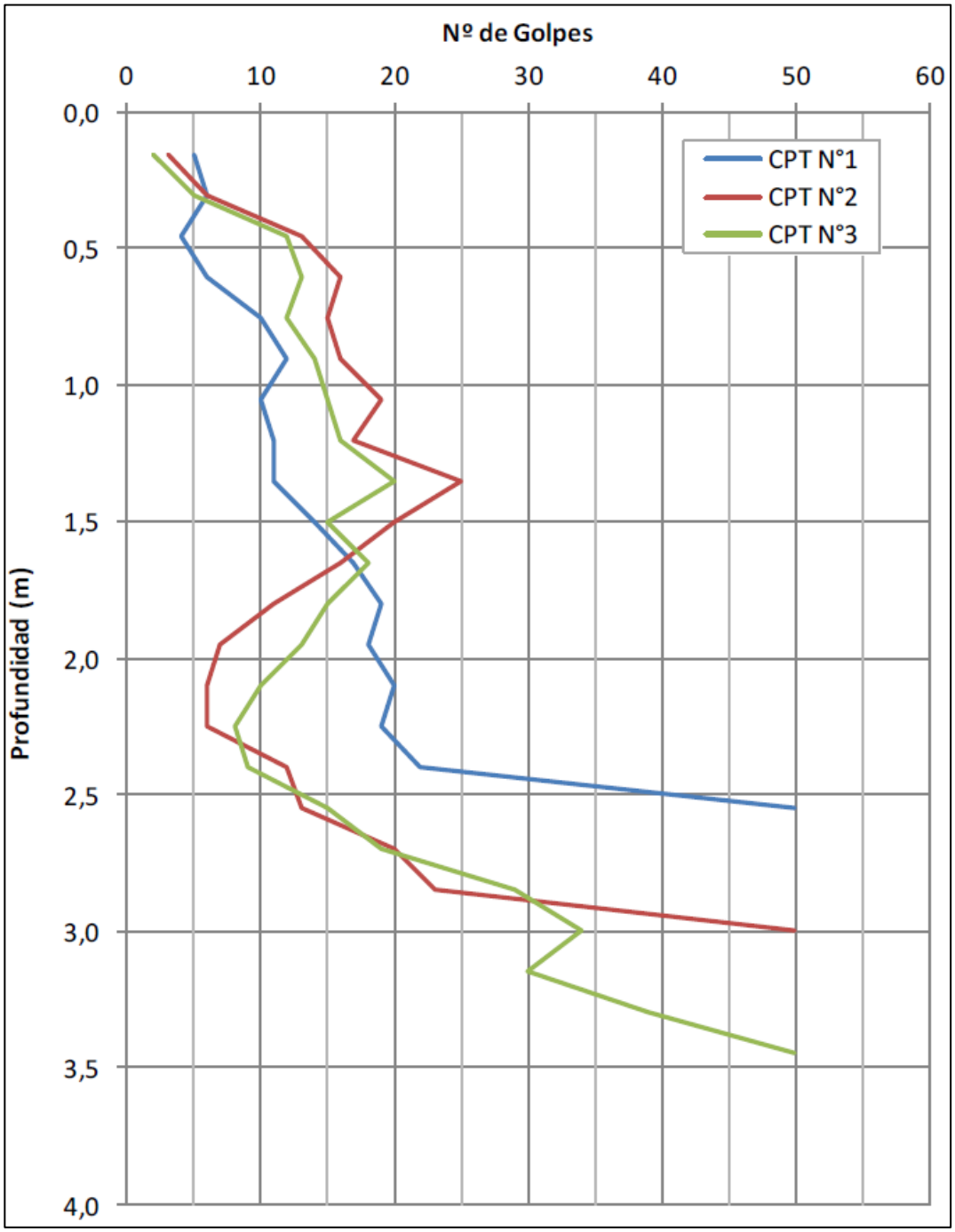
Se realizaron 3 ensayos de penetración dinámica con registro continuo (CPT), en el muro de arenas del deposito existente. Para la ejecucion se utilizó un equipamiento mecánico estándar, los procedimientos de ensayos siguieron las recomendaciones de la Norma ASTM D5778. En la siguiente imagen se presenta una distribución espacial de los ensayos, que se ejecutaron sobre el muro de arenas del tranque de relaves El Gato.

Figura 5-16 Disposición de ensayos CPT en el terreno.



A continuación se presenta una figura que resume los ensayos de campo realizados en los sobre el muro de arenas, ejemplificados en la Figura 5-17.

Figura 5-18 Ensayos CPT Atacama Kozan



Con la información recopilada, se presenta un análisis para cada uno de los puntos ensayados, para tener una mejor representación se realiza el análisis considerando intervalos de un metro para todos los puntos muestreados:

- CPT Nº1:
  Intervalo 0 a 1m:
  Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 25 a 30%, valor acorde a las propiedades geotecnicas que debe tener el deposito, pero levemente inferior al resto de los puntos. Lo anterior se debe principalmente a que la zona, se encuentra en un punto de difícil acceso para realizar las labores de compactación. Este punto presenta una presión vertical efectiva por sobrecarga del orden de: 175 a 200 KN/m^2. Con lo anterior podríamos inferir que el angulo de friccion interna (Ø) esta en el orden de 33º

  Intervalo 1 a 2m
  Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 30 a 40%, valor acorde a las propiedades geotecnicas que debe tener el deposito, pero levemente inferior al resto de los puntos. Lo anterior se debe principalmente a que la zona, se encuentra en un punto de difícil acceso para realizar las labores de compactación. Este punto presenta una presión vertical efectiva por sobrecarga del orden de: 250 KN/m^2. Con lo anterior podríamos inferir que el angulo de friccion interna (Ø) esta en el orden de 34º

  Intervalo 2 a 3m
  Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 50 a 80%, esta alta variación se debe a la consolidación del material que se encuentra sobre esta superficie. Los rechazos que empieza a presentar el ensayo, se puede traducir en que al estar en una zona muy cercana a los bordes del muro estamos en presencia de roca o un efecto de consolidación que presenta valores de compacidad relativa sobre el 95%

- CPT Nº2:
  Intervalo 0 a 1m:
  Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 30 a 40%, valor acorde a las propiedades geotecnicas que debe tener el deposito. Este valor es mayor al anterior debido principalmente a la ubicación del punto, el cual facilita la compactacion. Este punto presenta una presión vertical efectiva por sobrecarga del orden de: 250 a 260 KN/m^2. Con lo anterior podríamos inferir que el angulo de friccion interna (Ø) esta en el orden de 34º

  Intervalo 1 a 2m
  Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 30 a 40%, similar al intervalo anterior y acorde a las propiedades geotecnicas que debe tener el deposito, este punto presenta una presión vertical efectiva por sobrecarga del orden de: 250 a 260 KN/m^2. Con lo anterior podríamos inferir que el angulo de friccion interna (Ø) esta en el orden de 34º

Intervalo 2 a 3m
Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 30 a 40%, similar al intervalo anterior y acorde a las propiedades geotecnicas que debe tener el deposito, este punto presenta una presión vertical efectiva por sobrecarga del orden de: 250 a 260 KN/m^2. Con lo anterior podríamos inferir que el angulo de friccion interna (Ø) esta en el orden de 34º

Intervalo 3 a 4m
Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 50 a 80%, esta alta variación se debe a la consolidación del material que se encuentra sobre esta superficie. Los rechazos que empieza a presentar el ensayo, se pueden traducir en un efecto de consolidación que presenta valores de compacidad relativa sobre el 95%

- CPT Nº3

Intervalo 0 a 1m:
Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 30 a 35%, valor acorde a las propiedades geotecnicas que debe tener el deposito. Este valor es similar al anterior debido principalmente a la ubicación del punto, el cual facilita la compactacion. Este punto presenta una presión vertical efectiva por sobrecarga del orden de: 230 a 250 KN/m^2. Con lo anterior podríamos inferir que el angulo de friccion interna (Ø) esta en el orden de 33º

Intervalo 1 a 2m
Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de 35%, valor acorde a las propiedades geotecnicas que debe tener el deposito. Este valor es levemente superior al anterior debido principalmente a la ubicación del punto, el cual facilita la compactacion. Este punto presenta una presión vertical efectiva por sobrecarga del orden de: 260 a 275 KN/m^2. Con lo anterior podríamos inferir que el angulo de friccion interna (Ø) esta en el orden de 34º

Intervalo 2 a 3m
Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 50 a 55%, valor acorde a las propiedades geotecnicas que debe tener el deposito. Este valor es levemente superior al anterior debido principalmente al efecto de consolidación de la superficie de arena sobre el la zona de muestrero. Este punto presenta una presión vertical efectiva por sobrecarga superior a 300 KN/m^2.

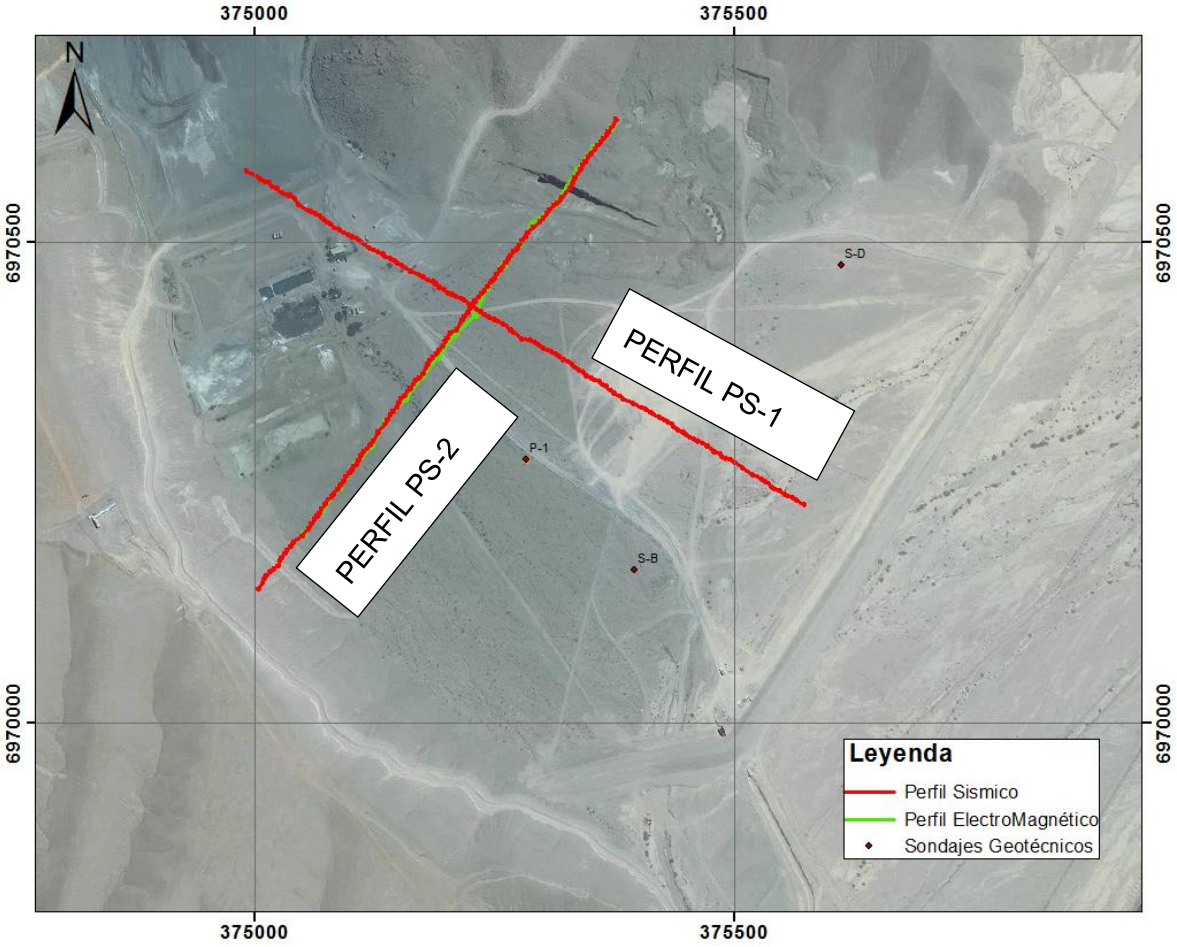
Intervalo 3 a 4m
Las arenas presentan una compacidad relativa aproximada de un 60 a 95%. Los rechazos que empieza a presentar el ensayo, se pueden traducir en un efecto de consolidación que presenta valores de compacidad relativa sobre el 95%

Se puede concluir que el muro del deposito de relaves cumple con las características geotecnicas de diseño y no presentaría incovenientes para poder utilizar la parte baja de este, en el nuevo proyecto de relaves filtrados.

5.2.3 Exploración Geofísica

Se realizaron 2 perfiles, transversal y longitudinal, el método de (1) “refracción sísmica”, en la modalidad de propagaciones de ondas compresionales y ondas de Corte, y (2) “escaneo electromagnético AMT” con mediciones discretas cada 30 m en la misma posición del perfil sísmico longitudinal y, que complementan la información obtenida durante la perforación del sondaje diamantino. A continuación se presenta una vista en planta de los perfiles geofísicos realizados:

Figura 5-19 Distribucion espacial de perfiles geofísicos



5.2.3.1 Perfiles Sísmicos

La técnica utilizada consistió en generar ondas elásticas compresivas o longitudinales, mediante explosiones o golpes, en la superficie y medir el tiempo que demora la energía en propagarse desde la fuente u origen a cada uno de una serie de detectores o geófonos, ubicados a lo largo de una línea o perfil. Conocido el arreglo geométrico fuente-detectores y el tiempo de viaje de las ondas compresionales, es posible construir los Diagramas "Camino-Tiempo", que constituyen la base de la interpretación posterior.

A partir del comportamiento geomecánico de las velocidades sísmicas compresionales en el subsuelo, se realiza una correlación con unidades geológicas interpretadas:

Tabla 5-12 Correlación Velocidad de Ondas Sísmicas vs Unidades Geólogicas

Velocidad Sísmica Compresional	Unidad Geológica	Características
340 – 600	Capas Superficiales, Suelos	Sedimentos sueltos
500 – 1.400	Sedimentos y /o roca descompuesta	Baja compactación y fácil remoción con maquinaria
1.200 – 1.800	Sedimentos compactos y/o rocas muy fracturadas	Removible con maquinaria
1.600 – 2.400	Rocas fracturadas	Difícil remoción
2.200 – 3.500	Rocas de regular a buena calidad geomecánica	Muy difícil remoción
3.500 o mayor	Rocas sanas de buena calidad geomecánica	No removible

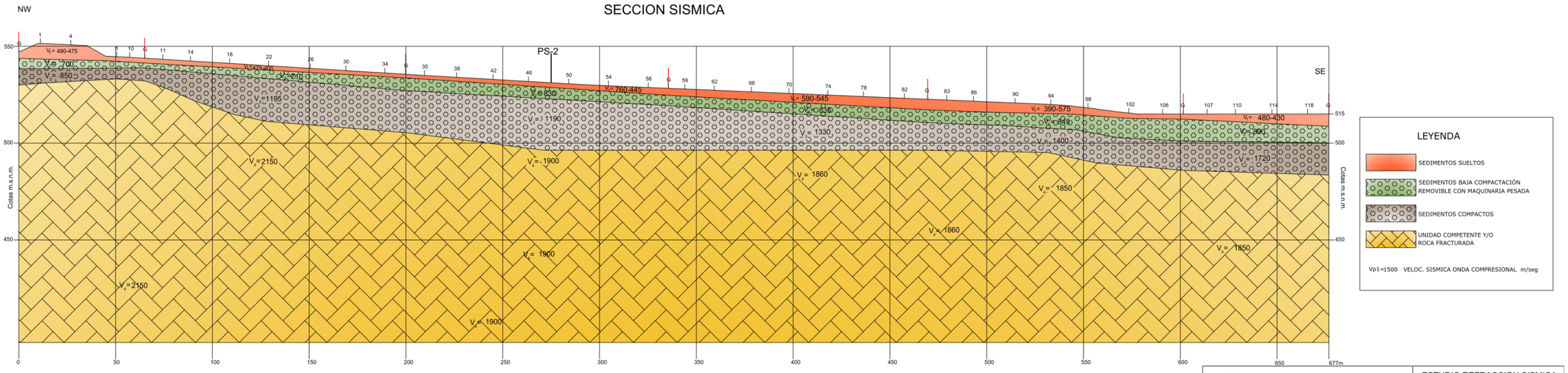
El perfil PS-1 fue trazado en dirección NW-SE con una longitud de 677 m, y fue discretizado en seis tramos diferentes en función de su longitud. En general se identificaron 4 estratos descritos a continuación:

- Capa superior con espesor variable entre 2 y 5 m de velocidades sísmicas para las ondas compresionales de 440 y 600 m/s. Se trata de sobrecarga suelta formada principalmente por rellenos superficiales.
- Capa de espesor variable entre 4 y 9,5 m de velocidades sísmicas de 700 y 890 m/s para las ondas compresionales. Se estima adecuado correlacionarla con sedimentos de baja compactación removibles con maquinaria pesada.
- Capa de espesor variable entre 6 y 26 m, su mayor potencia se ubica al centro del perfil. Tiene velocidades sísmicas para las ondas compresionales de 850 y 1.720 m/s que puede ser correlacionada con sedimentos compactos.
- Unidad sísmica basal con velocidades sísmicas de 1.850 a 2.150 m/s para las ondas compresionales. Esta unidad puede corresponder a sedimentos compactos y/o roca muy fracturada.

A continuación se presenta una interpretación del perfil geofísico PS-1

PERFIL PS-1

SECCION SISMICA



DPI INGENIEROS — DESARROLLO PROYECTOS INGENIERIA LTDA

ESTUDIO REFRACCION SISMICA
SECCION SISMICA
PERFIL PS-1

S.C. MINERA ATACAMA KOZAN

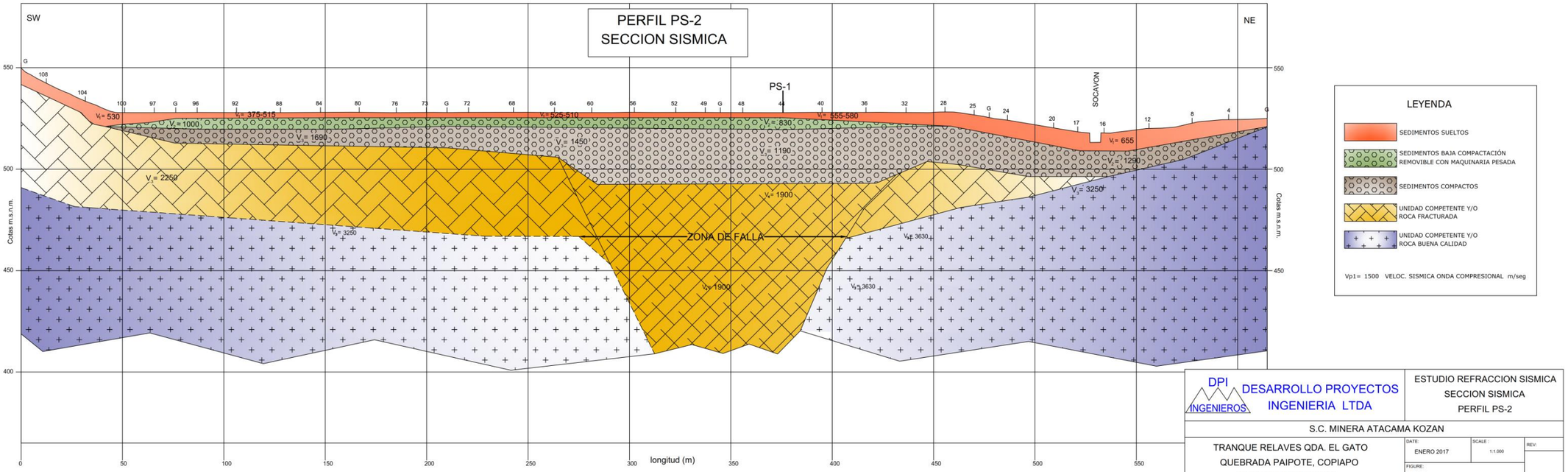
TRANQUE RELAVES QDA. EL GATO
QUEBRADA PAIPOTE, COPIAPO
REGION DE ATACAMA

DATE: ENERO 2017 | SCALE: 1:1.000 | REV: | FIGURE:

El perfil PS-2 fue trazado en dirección NE-SW con una longitud de 625 m, y fue discretizado en cinco tramos diferentes en función de su longitud. En general se identificaron 5 estratos descritos a continuación:

- Capa superior con espesor variable entre 2 y 5 m de velocidades sísmicas para las ondas compresionales de 380 y 660 m/s. Se trata de sobrecarga suelta formada principalmente por rellenos superficiales.
- Capa de espesor variable entre 4 y 7,5 m de velocidades sísmicas de 830 y 1.090 m/s para las ondas compresionales. Se estima adecuado correlacionarla con sedimentos de baja compactación removibles con maquinaria pesada.
- Capa de espesor variable entre 13 y 26 m, su mayor potencia se ubica al centro del perfil. Tiene velocidades sísmicas para las ondas compresionales de 1.190 y 1.690 m/s que puede ser correlacionada con sedimentos compactos. En su parte central muestra una depresión que coincide con la ubicación de una falla que fue detectada por los registros electromagnéticos, como se verá más adelante.
- Unidad sísmica con velocidades sísmicas de 1.850 a 2.250 m/s para las ondas compresionales. Esta unidad puede corresponder a sedimentos compactos y/o roca muy fracturada.
- Basamento rocoso sano con velocidades sísmicas de 3.250 y 3.630 m/s para las ondas compresionales. Esta unidad puede corresponder a roca sana la cual se encuentra interrumpida en la zona central del perfil confirmando la presencia de una falla importante.

A continuación se presenta la interpretación sísmica para el Perfil PS-2.



DPI INGENIEROS — DESARROLLO PROYECTOS INGENIERIA LTDA

ESTUDIO REFRACCION SISMICA
SECCION SISMICA
PERFIL PS-2

S.C. MINERA ATACAMA KOZAN

TRANQUE RELAVES QDA. EL GATO
QUEBRADA PAIPOTE, COPIAPO
REGION DE ATACAMA

DATE: ENERO 2017 | SCALE : 1:1.000 | REV:

FIGURE:

5.2.3.2 Perfiles Electromagnéticos

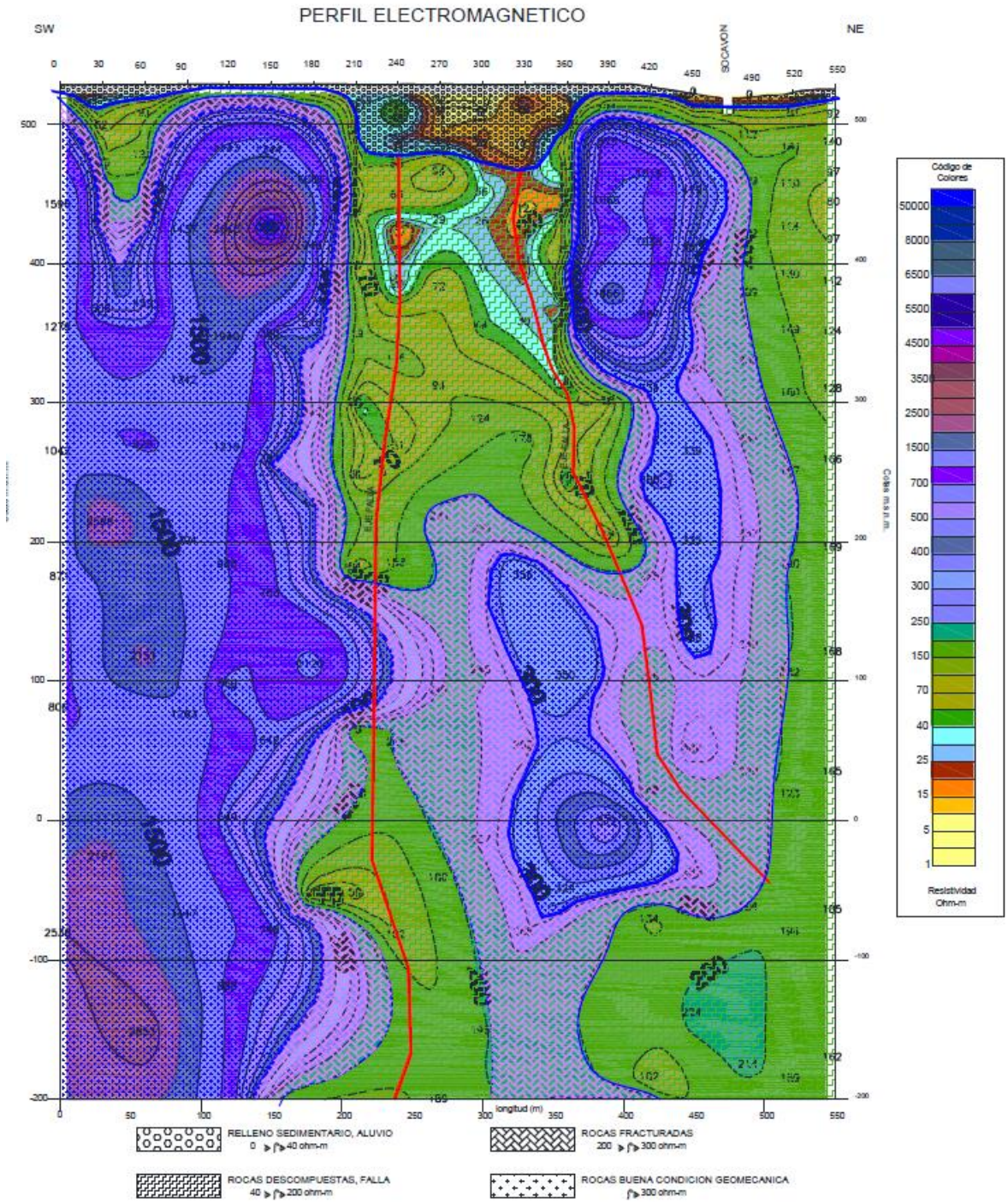
El método electromagnético utilizado es “Audio-magnetotelurico” (AMT STRAATAGEM), el cual usa campos electromagnéticos naturales para investigar la resistividad del suelo. Para la interpretación de los resultados obtenidos se utilizó la siguiente tabla de correlación.

Tabla 5-13 Resistividad normal y correlaciones geológicas

Tipo de Material Geológico	Resistividad (Ω m)	Contenido de Agua	Observaciones
Depósitos sedimentarios, arcillas, silts, arenas gravas y bolones	5 - 50	Máximo en el rango de 20 a 40 Ω m	Arcillas en el rango 5 – 15 Ω m
Depósitos Sedimentarios, arcillas, silts, arenas, gravas, y bolones. Bajo contenido de agua.	50 - 150.	Mínimo en el rango 80 a 200 ohm-m	
Alteración significativa de roca y meteorización.	50 - 100.	Infiltración de aguas de cordillera incrementa el rango 50-80 ohm-m	Roca con pobre condición geomecánica.
Rocas con alteración y/o fracturas en un 30% o más de su masa.	100 - 200.	Infiltración mínima de agua.	Roca con baja condición geomecánica a regular.
Rocas con fracturamiento medio.	150 - 300.	Sin infiltración de agua.	Roca con regular condición geomecánica
Rocas sólidas, fracturadas en 20% a 30% de su masa.	300 o mayor.	Sin infiltración de agua.	Roca fundamental con regular a buena condición geomecánica.
Rocas sólidas, cristalizadas con fracturas en 20% o menor	500 o mayor,	Sin infiltración de agua.	Roca fundamental con muy buenas condiciones geomecánicas
Rocas con cavidades importantes en su volumen	1.000 o mayor		Labores mineras, grandes cavidades, etc.

Se realizó un perfil electromagnético en la misma línea que el perfil sísmico PS-2, instalando 19 estaciones, separadas cada 19 m. A partir de lo anterior, se obtuvo el siguiente perfil electromagnético PE-1.

Figura 5-20 Interpretación Perfil Electromagnético, rangos de resistividad mostrados en colores.



A partir del perfil obtenido, se tiene que:

- Se detectan 4 tipos de materiales correspondientes a: (a) rellenos sedimentarios, (b) rocas descompuestas, (c) rocas fracturadas y (d) rocas de buena condición geomecánica.

- Se manifiesta una falla en la parte central del perfil en una longitud horizontal de 90 m. La expresión superficial de esta estructura se encuentra entre las estacas 210 m a 350 m. Se observan resistividades del orden de 5 a 20 ohm-m en los primeros 60m de profundidad que se pueden correlacionar con depósitos aluviales, gravas y bolones en matriz de arenas, a mayor profundidad las resistividades son del orden de 70 ohm-m que pueden ser correlacionadas con rocas descompuestas, con un espesor máximo de 260 m.

- Hacia ambos extremos del perfil se observan mayores valores de resistividad. En el Extremo SW se detectan valores del orden de 25 ohm-m los primeros 17 m de profundidad, correlacionables con depósitos aluviales. Subyacente a esta capa se observan resistividades del orden de 60 a 120 ohm-m que corresponden a rocas descompuestas de un espesor máximo de 70 m de profundidad. Posteriormente se detecta resistividades del orden de 400 ohm-m que corresponden a rocas de baja fracturación con un espesor máximo de 50 m y finalmente se detecta roca de buena calidad geomecánica con resistividades mayores que 1000 ohm-m.

- En el Extremo NE se detectan valores del orden de 25 ohm-m los primeros 8 m de profundidad, correlacionables con depósitos aluviales. Subyacente a esta capa se observan resistividades del orden de 60 a 120 ohm-m que corresponden a rocas descompuestas de un espesor máximo de 13 m de profundidad. Posteriormente se detecta resistividades del orden de 50 ohm-m que corresponden a rocas menos fracturadas con un espesor del orden de 5 m y finalmente se detecta roca de buena calidad geomecánica con resistividades del orden de 1000 ohm-m o mayor.

De lo anterior se deduce que los espesores superficiales de sobrecarga debieran esperarse en el rango de los 60 m en la zona central del perfil, y entre 8 a 17 m en los extremos.

El sondaje P-1 perforado durante la presente campaña de terreno se ubica a unos 140 m hacia el SE del perfil, coincidiendo relativamente con esta zona de falla detectada, por lo que sería recomendable perforar otro sondaje sobre la zona de falla del perfil PE-1. En el sondaje se detectaron 70 m de depósitos aluviales, coherente con lo obtenido en el perfil electromagnético.

Con respecto a la zona de falla identificada entre las estacas 210 y 350, puede observarse que existe una zona de contacto vertical, entre rocas descompuestas y rocas sanas, bien definido en el punto 210 que se prolonga más allá de los 700 m de profundidad.

En el punto 350 también se observa un contacto vertical entre rocas de distinta calidad geotécnica, sin embargo se interrumpe a los 330 m de profundidad.

Finalmente se destaca que en el extremo NE del perfil nuevamente se insinúa una nueva estructura del tipo falla la cual no quedó identificada completamente. La presencia de esta estructura ha quedado de manifiesta en los ensayos de permeabilidad realizados en el

sondaje. La alta permeabilidad que presenta esta estructura en profundidad hace que cualquier solución que circule en superficie filtre hacia profundidades mayores de 1000 m.

5.2.3.3 Análisis Resultados Geofísicos

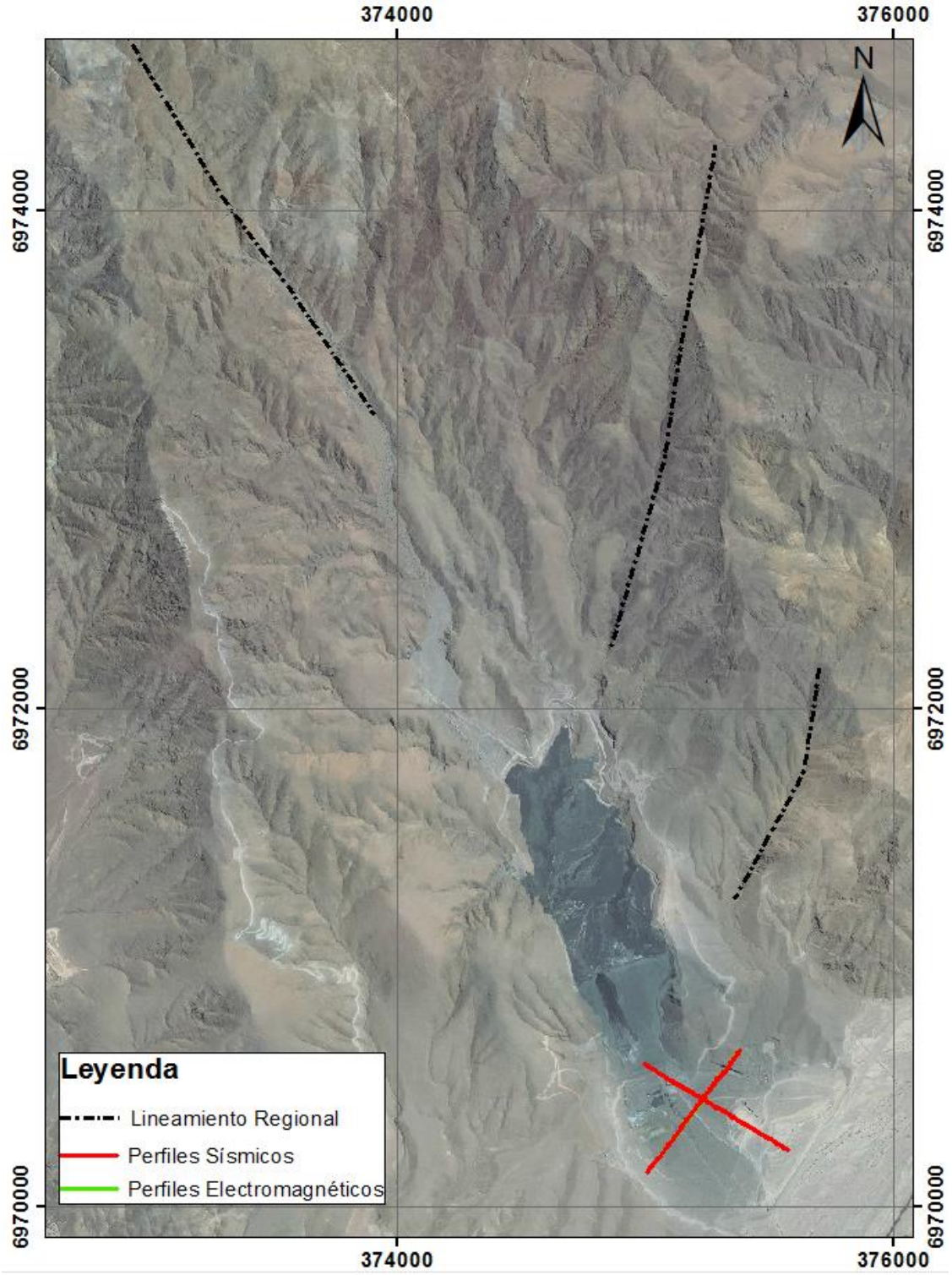
En cuanto a los resultados litológicos del subsuelo obtenidos de los perfiles geofísicos, estos coinciden con la litología descrita en los sondajes S-B y S-D. A grandes rasgos la zona de estudio presenta la siguiente distribución litológica en profundidad:

- Depósito sedimentario reciente, de origen aluvial, sin consolidación.
- Depósito sedimentario antiguo, de origen fluvialuvial, semiconsolidado a consolidado.
- Roca fracturada y/o meteorizada.
- Roca sana.

Un antecedente importante interpretado a partir de la geofísica es la existencia de una zona de falla regional en el centro de los perfiles PS-2 y PE -1, y en el totalidad del perfil PS-1. Esta falla no presenta una orientación similar a las estructuras definidas en el mapeo geológico de superficie, las cuales presentan una orientación SW/NE.

Al realizar un análisis de imágenes satelitales a un área más extensa, se notó que al NW de la cabecera de la Quebrada El Gato existe un lineamiento de gran extensión (Figura 5-20), que presenta el mismo sentido que el eje de la quebrada. Este lineamiento podría ser interpretado, a priori, como una falla regional, la cual coincidiría con la orientación de la falla interpretada en el estudio geofísico.

Figura 5-21 Lineamiento regionales entorno de Quebrada El Gato



6 HIDROGEOLOGÍA LOCAL

A partir de los datos entregados por el reconocimiento mediante prospección por sondaje de perforación y las pruebas in-situ de permeabilidad fue posible identificar y caracterizar unidades hidrogeológicas complementarias a las descritas en el informe 3070-GE-INF-008 Caracterización Geológica-Geotécnica [Ref-4]. Además, se realizó un mapa de permeabilidades y coeficiente de almacenamiento, a partir de los resultados de los ensayos realizados en sondajes y calicatas.

6.1 Unidades Hidrogeológicas

A partir de un mapeo es posible agrupar en 4 tipos de acuíferos las unidades geológicas del área de estudio, utilizando la clasificación de Aguirre et al. (1999):

- *1. Acuíferos de importancia hidrogeológica media a baja en depósitos no consolidados:*

Corresponden a depósitos aluviales de la Quebrada Paipote y depósitos aluviales inactivos de la Quebrada El Gato de edad Cuaternaria. Son depósitos no consolidados, porosos y permeables. La recarga a estos es escasa y se produce por precipitaciones anómalas y esporádicas. La Quebrada Paipote posee conexión directa con el acuífero del río Copiapó, siendo éste uno de los afluentes más importantes. Para esta unidad hidrogeológica se le asignan valores de permeabilidad de 0,15 m/d aunque este valor se presenta como el valor mínimo que se le puede otorgar a esta unidad, ya que en la superficie este valor puede aumentar considerablemente.

- *2. Acuíferos locales de media a baja importancia hidrogeológica en roca fisurada:*

Esta unidad se definió a partir del alto grado de fracturamiento de dos zonas en el área de estudio. La permeabilidad sería mayoritariamente de tipo secundaria, jugando un rol importante las fracturas tipo fallas y diaclasas asociadas.

- *3. Acuíferos locales de baja importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados a semiconsolidados:*

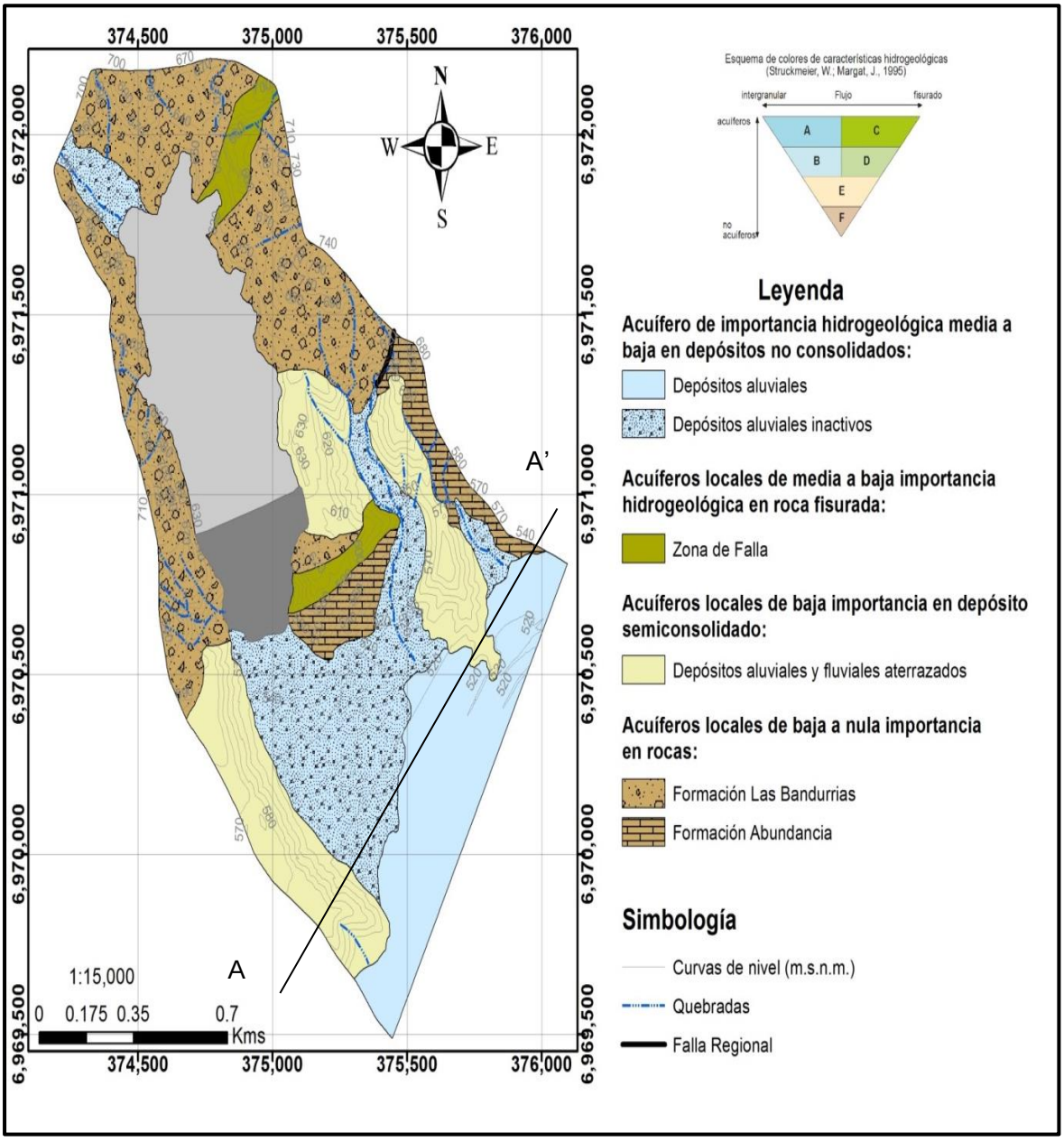
Este acuífero lo componen depósitos aluviales y fluviales aterrazados existentes al norte y sur de la confluencia entre la Quebrada El Gato y Quebrada Paipote esta unidad se le asigna una edad informal Mio-Pliocena. Se ha asignado una baja importancia a este depósito debido a su compactación moderada a alta que conlleva una baja porosidad y permeabilidad del mismo. Los valores de permeabilidad asignados a esta unidad se encuentran entre 0,02 m/día.

- *4. Acuífugo locales de baja a nula importancia hidrogeológica en rocas:*

Se han agrupado en esta definición a las rocas de la Formación Bandurrias y Formación Abundancia e intrusivos de origen plutónico como los identificados en los sondajes S-B y

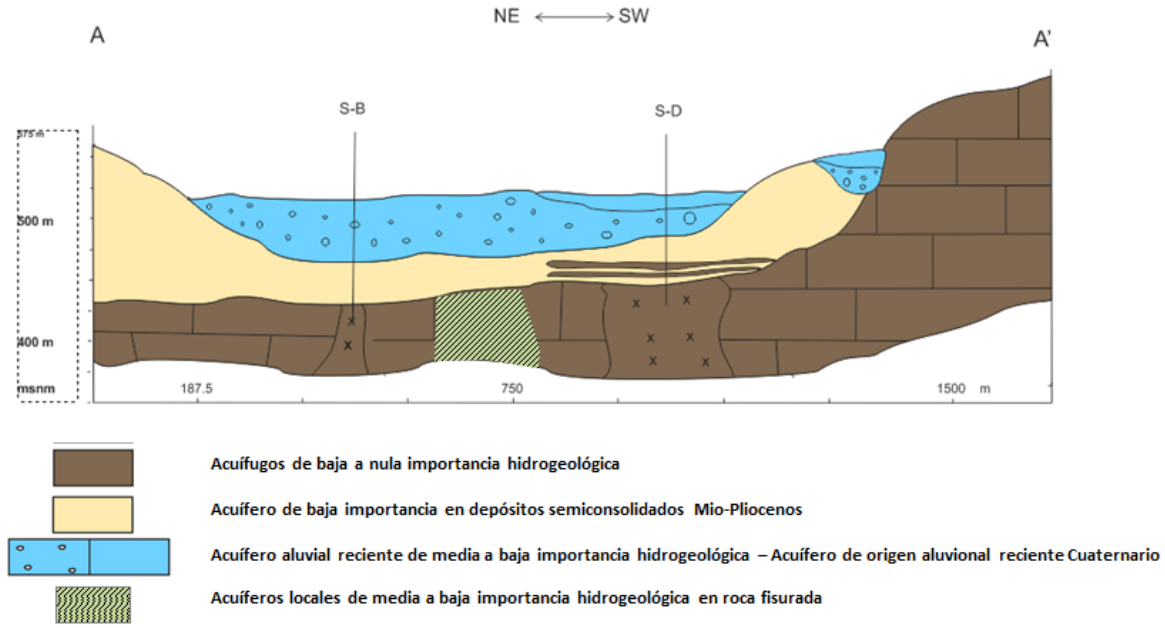
S-D pórfido dióritico y tonalita respectivamente las cuales son prácticamente impermeables. Según los datos entregados de las pruebas de inyección se le asigna a estas capas un valor de permeabilidad de entre 0,01 y 1,4E-5 m/día, siendo los mayores valores los entregados en el punto S-B, donde a pesar de haberse perforado 10 metros sobre la roca basal, aun ésta se encontraba con un grado de fracturamiento que permite el tránsito de agua.

Figura 6-1 Mapa hidrogeológico local (modificado de Ref.4)



A partir de los sondajes realizados se puede concluir que el área de estudio está constituida por un acuífero de gran espesor, con potencias que van desde los 78 hasta los 81 m de zona no saturada y poco más de 3 metros de zona saturada. Esta última no se identifica en toda el área, solo en la zona cercana al sondeo S-B. Más antecedentes como gradiente hidráulico, piezometría, geometría de basamento, entre otros, se pueden complementar a partir de los ensayos geofísicos y otros sondajes de exploración.

Figura 6-2 Perfil A- A´ Hidrogeología Local

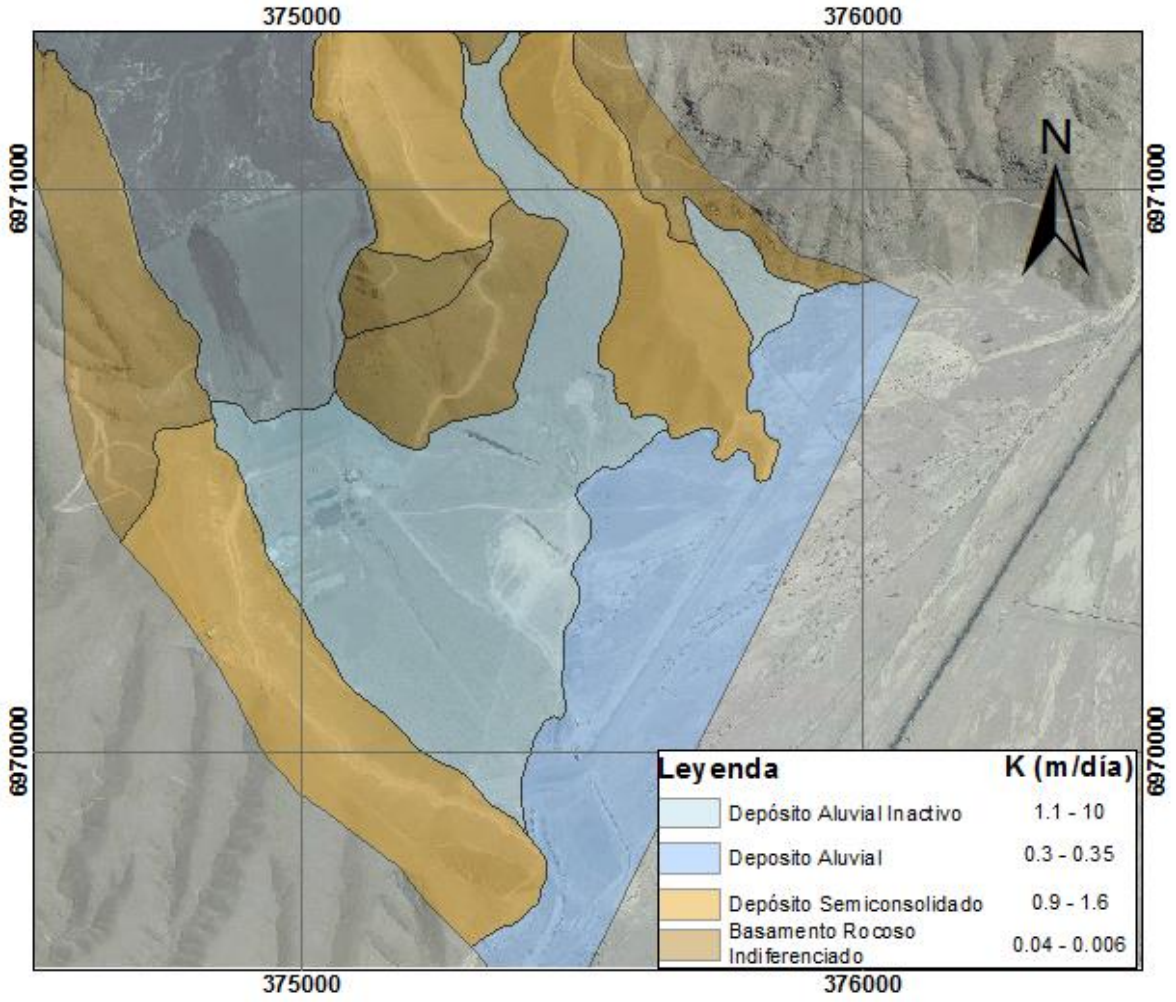


6.2 Propiedades Hidraulicas

A partir de los trabajos geotécnicos realizados en calicatas y sondajes de exploración, además del conocimiento de este consultor, se ha definido un mapa de rangos de permeabilidades y coeficiente de almacenamiento para las diferentes unidades hidrogeológicas en superficie. Para el caso de la zona de roca fracturada no fue posible llegar a un rango de permeabilidades debido a que ésta depende del nivel de fracturas que tenga la roca, lo que varia considerablemente tanto espacialmente como en pronfundidad.

A modo de resumen se adjunta la siguiente tabla con la estimación de las permebalidad y los coeficientes de almacenamiento. Cabe mencionar que para el caso de los materiales aluviales se consideran permebailidades altas (0,3 a 10 m/d) típicas de litologías no consolidades conformadas por materiales granulares de gravas y arenas con algun contenido de arcillas. Por otra parte para el caso de los materiales semiconsolidades se consideran permebildades medias en torno a 1 m/d. En lo que respecta al coeficiente de almacenamiento este se ve claramente influenciado por el índice de vacio del material, por lo que existe una correlacion directa entre el grado de consolidación y la capacidad de almacenar agua, de esta manera materiales menos consolidades (aluviales 2 - 7 % y materiales semiconsolidados 0.5 – 2 %).

Figura 6-3 Mapa de permeabilidades área de estudio



Unidad	Permeabilidad (m/d)	Coef. de almacenamiento (%)
Depósito Aluvial Inactivo	1,1 - 10	2 – 7
Depósito Aluvial	0,3 – 0,35	2 – 7
Depósito Semiconsolidado	0,9 – 1,6	0,5 - 2
Basamento Rocoso Indiferenciado	0,04 – 0,006	0,1 – 0,0005

6.3 Conclusiones Hidrogeología

- Las unidades hidrogeológicas definidas de alto interés, son: aluviales no consolidados y aluviales semi consolidados, cuyas permeabilidades se mantienen en torno a 1 m/dia. Ese nivel de permeabilidad es relativamente baja considerando las escaza recarga natural y la mnima humedad contenida en los relaves proyectados´, previamente filtrados.
- Fenomenos de infiltración estarán gobernados por flujos preferentes hacia los materiales no consolidados evaluándose una muy baja capacidad de succion del suelo, predominando el fenómeno de evaporación en las superficies expuestas de los relaves recién depositados.
- Los relaves proyectados no generan infiltraciones relevantes a la quebrada de Paipote, debido a que la humedad de los relaves depositados es inferior al 17% en peso. Agregar a esto la baja porosidad eficaz del relave, alcanzando valores de retención especifica del orden de 10%.
- Con respecto a las características litológicas de las principales unidades hidrogeológicas, estas corresponden a estratos predominantes de arenas y gravas con contenido variable de arcillas.
- Los ensayos de inyección (Lefranc) indican permeabilidades muy bajas en los materiales consolidados y rocas de los materiales que subyacen sobre los materiales aluviales. Las potencias medias de los materiales acuiferos se estiman en torno a 25 m

ANEXOS

ANEXO 1 Descripción Sondaje S-B

Tramo perforado (m)		Avance	Recuperación	% Recuperación	N° Caja	Observación
0	2.2	2.2	0.3	13.6		Suelo aluvial y coluvial superficial
2.2	3.8	1.6	0.3	18.8		
3.8	5.2	1.4	0.4	28.6		
5.2	6.2	1	0.15	15.0	1	Grava con clastos subredondeados de composición volcanoclastica (arenizcas, andesitas, principalmente). Clastos de tamaño guijarro hasta bloque > 10 cm. Capa mal seleccionada. No se distingue bien el porcentaje de matriz, pero se considera un abundante contenido de clastos o matriz clasto soportado. Capa color gris- pardo
6.2	7.65	1.45	0.25	17.2		
7.65	8.55	0.9	0.2	22.2		
8.55	9.05	0.5	0.35	70.0		
9.05	9.75	0.7	0.45	64.3		
9.75	10.4	0.65	0.55	84.6		
10.4	11.2	0.8	0.2	25.0		
11.2	11.6	0.4	0.15	37.5	2	
11.6	12.6	1	0.95	95.0		
12.6	13.4	0.8	0.8	100.0		
13.4	14.2	0.8	0.35	43.8		
14.2	14.75	0.55	0.5	90.9		
14.75	15.2	0.45	0.45	100.0	3	
15.2	16	0.8	0.6	75.0		
16	17.2	1.2	0.6	50.0		
17.2	17.9	0.7	0.4	57.1		Grava con clastos subredondeados a subangulosos de origen volcanoclastico (andesitas, arenizcas, principalmente), de tamaño guijarro a bloque (de 5 hasta >10 cm de diámetro). Mal seleccionada. Contenido de arcilla y limo < al 5% y arena > 10%, matriz soportada. Capa color gris rojizo. En el tramo 24.7 y 26.55 disminuye la recuperación en la matriz y esta se asimila mas al estrato 1, con matriz clasto soportado.
17.9	18.4	0.5	0.45	90.0	4	
18.4	19.1	0.7	0.55	78.6		
19.1	19.75	0.65	0.6	92.3		
19.75	23.2	3.45	3	87.0	5	
23.2	24.7	1.5	0.55	36.7		
24.7	25.35	0.65	0.45	69.2		
25.35	26.55	1.2	0.3	25.0		
26.55	27.55	1	0.4	40.0		
27.55	28.2	0.65	0.35	53.8	6	
28.2	28.65	0.45	0.1	22.2		
28.65	29.3	0.65	0.55	84.6		
29.3	29.85	0.55	0.4	72.7		
29.85	30.5	0.65	0.4	61.5		
30.5	31.2	0.7	0.55	78.6		
31.2	32.2	1	1	100.0	7	Grava matriz soportada con clastos subredondeados a angulosos de origen volcanoclastico (andesitas, arenizcas, principalmente), de tamaño guijarro (< 5 cm de diámetro). Moderadamente seleccionada. Contenido de arcilla, limo y arena > 10%.
32.2	32.6	0.4	0.2	50.0		
32.6	33.3	0.7	0.3	42.9		
33.3	33.7	0.4	0.2	50.0		
33.7	34.3	0.6	0.45	75.0		
34.3	34.7	0.4	0.4	100.0		
34.7	35.7	1	0.2	20.0	8	
35.7	36.7	1	1	100.0		
36.7	37.4	0.7	0.7	100.0		
37.4	38.2	0.8	0.8	100.0		
38.2	40.75	2.55	0.55	21.6		Similar capa 2 Grava con clastos subredondeados a angulosos de origen volcanoclastico, de tamaño guijarro a bloque (de 5 hasta >10 cm de diámetro). Mal seleccionada. Contenido de arcilla y limo < al 5% y arena > 10%, matriz soportada.
40.75	41.9	1.15	0.7	60.9		
41.9	42.6	0.7	0.2	28.6	9	
42.6	43.4	0.8	0.25	31.3		
43.4	43.65	0.25	0.25	100.0		Grava con matriz limo arcillosa > 20%. Clasto soportado
43.65	44.7	1.05	0.35	33.3		Similar capa 2 Grava con clastos subredondeados a angulosos de origen volcanoclastico, de tamaño guijarro a bloque (de 5 hasta >10 cm de diámetro). Mal seleccionada. Contenido de arcilla, limo y arena > 25 %, matriz soportada. Color pardo rojizo.
44.7	45.15	0.45	0.15	33.3		
45.15	45.55	0.4	0.15	37.5		
45.55	46.65	1.1	0.65	59.1		
46.65	47.2	0.55	0.4	72.7		
47.2	47.5	0.3	0.5	166.7		
47.5	47.7	0.2	0	0.0	10	
47.7	48.75	1.05	0.35	33.3		
48.75	49.95	1.2	0.6	50.0		
49.95	50.7	0.75	0	0.0		
50.7	51.7	1	0.25	25.0		

Tramo perforado (m)		Avance	Recuperación	% Recuperación	N° Caja	Observación
51.7	53.2	1.5	0.85	56.7	11	Similar capa 6 Grava con clastos subredondeados a angulosos de origen volcanoclastico, de tamaño guijarro a bloque (de 5 hasta > 15 cm de diámetro). Mal seleccionada. Contenido de arcilla, limo y arena > 15 %, matriz soportada. Color pardo rojizo. Se puede apreciar una mejor recuperación en el testigo del sondaje, por lo que se infiere una mejor calidad aparente de la roca. En en tramo 72.2 hasta 77.2 es posible apreciar una disminución en la cantidad de material menor a arena fina, posterior a este tramo vuelve la tendencia dada en este estrato.
53.2	55.3	2.1	0.35	16.7		
55.3	55.95	0.65	0.35	53.8		
55.95	56.95	1	0.15	15.0		
56.95	58.1	1.15	0.3	26.1		
58.1	59.2	1.1	0.15	13.6		
59.2	60.35	1.15	0.8	69.6		
60.35	62.85	2.5	0	0.0		
62.85	63.3	0.45	0.3	66.7		
63.3	63.8	0.5	0.5	100.0	12	
63.8	64.1	0.3	0.25	83.3		
64.1	65.3	1.2	0.15	12.5		
65.3	66.1	0.8	0.1	12.5		
66.1	66.5	0.4	0	0.0		
66.5	66.7	0.2	0.1	50.0		
66.7	69.2	2.5	0.2	8.0		
69.2	71.2	2	0.3	15.0		
71.2	72.2	1	0.35	35.0		
72.2	73.45	1.25	0.2	16.0		
73.45	74.2	0.75	0.2	26.7		
74.2	74.95	0.75	0.15	20.0		
74.95	75.6	0.65	0.2	30.8		
75.6	77.2	1.6	0.45	28.1	13	
77.2	78.45	1.25	0.65	52.0		
78.45	79.15	0.7	0.45	64.3		
79.15	80.2	1.05	0.45	42.9		
80.2	81.7	1.5	0.5	33.3		
81.7	83.2	1.5	0.55	36.7	14	
83.2	83.95	0.75	0.65	86.7		
83.95	84.55	0.6	0.5	83.3		
84.55	86.2	1.65	0.7	42.4		Basamento intrusivo porfido diorita, fracturada. RQD 40.3% Calidad de roca mala
86.2	87.6	1.4	1.4	100.0	15	
87.6	89.2	1.6	1.25	78.1		
89.2	92.2	3	3	100.0		Basamento intrusivo porfido diorita, medianamente fracturada, considerada como impermeable o muy poco permeable. RQD 37.6% calidad de roca mala
92.2	95.2	3	1.8	60.0		

IMÁGENES INSTALACIÓN EN FAENA SONDAJE S-B



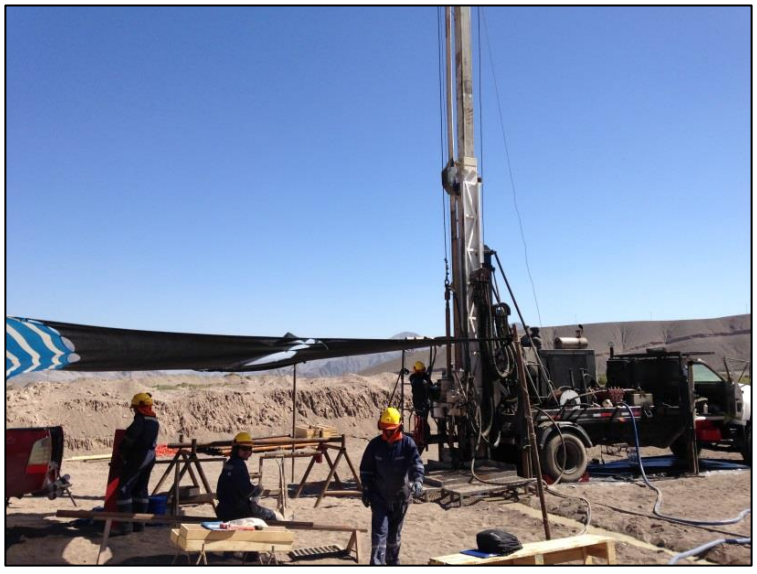


ANEXO 2 Descripción Sondaje S-D

Tramo perforado (m)		Avance	Recuperación	% Recuperación	N° Caja	Observación
0	2.2	2.2	0.2	9		
2.2	3.5	1.3	0.7	54		
3.5	5.05	1.55	1.2	77	1	Capa de origen aluvional contemporáneo alto contenido de arena limo y arcilla > 70%. Color pardo rojizo, muy bien seleccionada. Hacia los metros 7.55 al 11.2 aumenta el tamaño de los clastos hasta 5 cm de diámetro subredondeados a redondeados. Matriz clasto soportada
5.05	7.55	2.5	0.2	8		
7.55	8.2	0.65	0.1	15		
8.2	11.2	3	0.95	32		
11.2	12.25	1.05	0.2	19		
12.25	12.75	0.5	0.05	10		
12.75	12.9	0.15	0.15	100	2	Grava mal seleccionada de origen aluvial tamaño bloque > 10 cm, subredondeados, con matriz arenosa< 10% poco contenido de limos y arcilla. Metro 12.25 ensayo de permeabilidad lefranc.
12.9	13.3	0.4	0.3	75		
13.3	14.1	0.8	0.6	75		
14.1	14.65	0.55	0.3	55		
14.65	16.6	1.95	1.2	62		
16.6	17.2	0.6	0.5	83	3	
17.2	18.5	1.3	1.3	100		
18.5	19.25	0.75	0.75	100		
19.25	20.2	0.95	0.95	100	4	Grava mal seleccionada con matriz < 20% de tamaño arena fina limo y arcilla, estos últimos con un porcentaje < al 10%. Matriz color pardo rojiza. Clastos subangulares a subredondeados tamaño > 10%. Haca los metros 24.25 al 24.8 existe un aumento en el tamaño de grano llegando a tener bloques de hasta 30 cm de diámetro. Al metro 26.2 ensayo de permeabilidad lefranc.
20.2	21.9	1.7	1.7	100		
21.9	23	1.1	1.1	100		
23	24.25	1.25	1.25	100	5	
24.25	24.8	0.55	0.55	100		
24.8	26.2	1.4	1.4	100	6	
26.2	26.55	0.35	0.35	100		
26.55	29.2	2.65	2.65	100	7	
29.2	30.45	1.25	1.25	100	8	Grava semicompacta de origen aluvial clastos subangulares a subredondeados, origen aloctono. Tamaño de clastos de 3 a 10 cm de diámetro. Matriz < 15 % de composición arena fina, limo y arcilla.
30.45	32.2	1.75	1.25	71		
32.2	33.85	1.65	1.65	100	9	
33.85	35.2	1.35	1.35	100		
35.2	35.7	0.5	0.4	80	10	
35.7	36.9	1.2	1.2	100		
36.9	37.65	0.75	0.75	100		
37.65	38.2	0.55	0.55	100	11	
38.2	39.25	1.05	1.05	100		
39.25	41.2	1.95	1.95	100	12	
41.2	43.9	2.7	2.7	100	13	
43.9	46.95	3.05	3.05	100	14	
46.95	48.45	1.5	1.5	100	15	Grava semiconsolidada con clastos subredondeados, de tamaño < 20 cm. Matriz < 10 % compuesta por arenas finas, limo y arcilla. Intercalada a esta capa se encuentra entre los metros 46.95-56.2 y 58.95-63.2 se encuentran unidades de grava con matriz cementada con clastos subredondeados < a 10 cm de diámetro. Al metro 49.25 ensayo de permeabilidad lefranc.
48.45	50.2	1.75	1.75	100		
50.2	53.2	3	3	100	16	
53.2	56.2	3	3	100	17	
56.2	58.95	2.75	2.75	100	18	
58.95	62	3.05	3.05	100	19	
62	65.05	3.05	3.05	100	20	
65.05	68.1	3.05	3.05	100	22	
68.1	71.15	3.05	3.05	100	23	
71.15	74.2	3.05	3.05	100	24	Basamento intrusivo tonalita y una calidad de roca buena con un RQD de 79%. Metro final se realizo un ensayo de permeabilidad lefranc.
74.2	77.2	3	3	100	25	
77.2	78.3	1.1	1.1	100		

IMÁGENES INSTALACIÓN EN FAENA SONDAJE S-D







ANEXO 2 Descripción Calicatas

Calicata 2				
Desde	Hasta	Estrato	Estructura	Estratigrafia
2.4	2.17	A		Capa suelo natural, color pardo rojizo. Matriz limo arcilla < 10%, moderadamente seleccionada. Clastos subredondeados a subangulosos entre 3 a 10 cm diámetro de origen aloctono (no perteneciente a la geología de la zona).
2.17	1.42	B	lineamiento	Secuencia fluvial de arenas y guijarros tamaño 2 a 5 cm. Matriz nitratos, arenas finas, limos y arcillas <5 %. Clastos subangulosos, matriz moderadamente seleccionada.
1.42	1.2	C		capa similar a la A, con mayor abundancia en el contenido de nitratos de la matriz. Mayor grado de compación. Clastos de entre 3 a 10 cm.
1.2	0.85	D	lineamiento	Capa similar a la B, con intercalacion de capas finas y gruesas de 2 a 3 cm de dámetro
0.85	0.7	E		Estrato con caracteristicas similares a la capa C
0.7	0	F	gradación normal	Capa B, con mayor cantidad de clastos de gran tamaño entre 5 a 15 cm de diametro

Calicata 3				
Desde	Hasta	Estrato	Estructura	Estratigrafia
3.7	3.5	A		Capa de origen fluvial aluvial reciente, matriz > 10% compuesta de arena fina, limos y arcilla. Clastos volcanoclasticos autoctonos de 3 a 20 cm. Muy mal seleccionada matriz color gris.
3.5	3.1	B	paleocanal cuña lineamiento	Intercalacion de arenas de 0.5 a 1.5 cm bien seleccionada con guijarros de 1.5 a 2 cm clasto soportado. Cada capa de 4 a 5 cm de potencia. Matriz limo arcillosa < a 5%. Encontramos paleocanales y cuñas de material fino arenas y limos.
3.1	2.1	C		Capa clasto soportado de tamaño 4 a 20 cm diametro, matriz limoarcillosa < 5%
2.1	1.95	D	lineamiento	Intercalacion tipo B con menor grado de espesor entre las capas
1.95	0.7	F	gradacion normal	estrato de origen aluvional matriz con alto contenido limoarcilloso >10%, color pardo rojizo, mal seleccionada, matriz soportada con clastos de 3 a 20 cm de diametro
0.7	0	G		Secuencia tipo estrato B con mayor grado de consolidación, matriz limoarcillosa >5%, clasto soportado, con un aumento en el tamaño de los clastos de 10 a 20 cm.

Calicata 4				
Desde	Hasta	Estrato	Estructura	Estratigrafia
4.1	3.8	A		Suelo natural de origen aluvial clasto soportado, mal seleccionado color gris. Matriz arenosa <5%, bajo grado de compactación. Clastos subangulosos
3.8	2.4	B	lineamiento	Secuencia de capas clasto soportadas de 1 a 2 cm diametro matriz < 5%, intercalada con gravas con clastos de 2 a 5 cm con matriz > 10%. Capas de 10 a 20 cm de potencia con algunos clastos tipo bloque (20cm) dispuesto heterogeneamente en la capa
2.4	2	C		estrato aluvial con abundante matriz limo arcillosa >10%, capa matriz soportada. Clastos de 10 a 40 cm de diametro muy compacta
2	1.6	D	paleocanal	capa similar al estrato B con paleocanales de origen fluvial y alto contenido de material limo arcilla
1.6	1.4	E		capa tipo estrato C
1.4	0	F	paleocanal	Capa similar al estrato B, con un grado de aumento en el espesor de las capas y mayor tamaño en los clastos >5 cm. Esta capa resulta ser mas compacta que la capa B

Calicata 6				
Desde	Hasta	Estrato	Estructura	Estratigrafia
3.8	3.2	A		Estrato de origen aluvional reciente, con abundante matriz limoarcillosa >30%, clastos subredondeados. Matriz soportada. Suelo antural reciente. Clastos de 2 a 5 cm
3.2	3	B	lineamiento	Capa granosportada, clastos subredondeados de 2 a 5 cm matriz limoarcillosa <5 % poco consolidada
3	2.5	C	gradacion normal	capa similar a la anterior con mayor contenido en la matriz >15 %
2.5	2	D		Capa granocreciente de gravas de mas de 10 cm de diametro, con alto contenido de matriz limoarcillosa >15%
2	1.8	E		Capa compacta de arenas, limos y arcillas con pequeños granos de 2 cm distribuidos de manera heterogenea.
1.8	1	F		capa de grava mal seleccionada, abundante matriz limoarcillosa
1	0.8	G		Capa similar a la capa E
0.8	0	H		Capa similar a la capa F

Calicata 7				
Desde	Hasta	Estrato	Estructura	Estratigrafia
4	3.5	A		Suelo natural de origen aluvional reciente, alto contenido limo arcilloso, con clastos de diametro de hasta 20 cm dispuestos heterogeneamente. Matriz abundante > 50%, matriz soportada.
3.5	3.1	B	gradacion normal	Secuencia de capas grano grueso de 1.5 a 5 cm de diametro, matriz soportada, matriz <15 %. Intercalada con capas granosportada con poca matriza y granos de 2 a 5 cm
3.1	2.5	C		Capa tsimilar a la B con un considerable aumento en el tamaño de los clastos llegando hasta 20 cm de diametro capa granocreciente.
2.5	1.3	D		capa de origen aluvional con matriz >90 % capa granosoportada.
1.3	1	E		capa similar a la D con un mayor contenido de clastos de poco diametro 3 a 5 cm, contenido de matriz > 50%
1	0.7	F	lineamiento est.cruzada	Secuencia de bajo espesor de capas similares ala secuencia de la capa B
0.7	0	G		capa de grava matriz soportada >25%. Clastos de 3 a 15 cm subredondeados, de origen aloctono.

ANEXO 4 Granulometría

Resumen de cálculos:

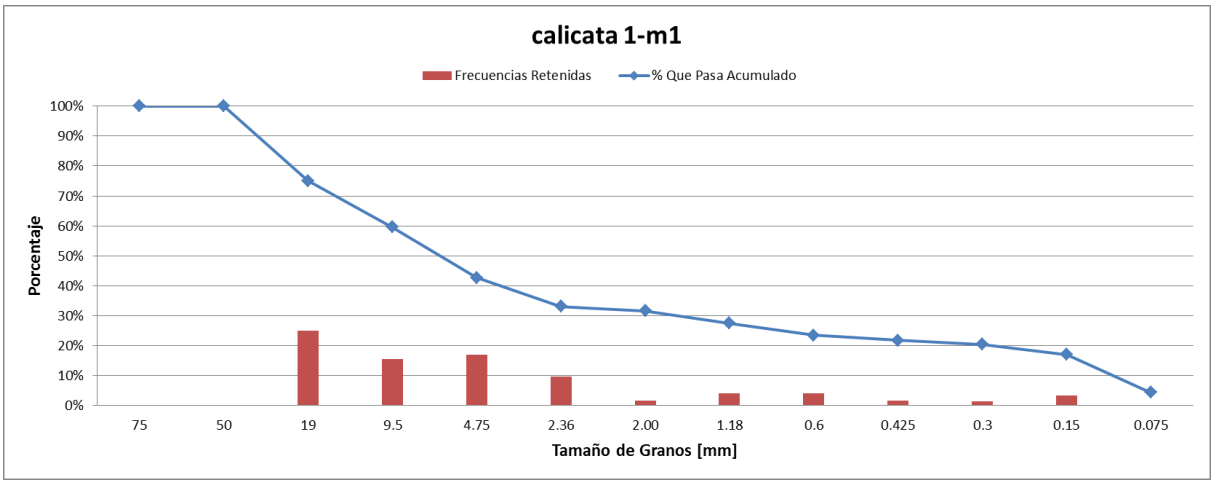
Calicata	Muestra por profundidad	%que pasa				Coeficiente		Clasificacion de suelo	
		Grava (T#4)	Arena Gruesa (T#10)	Arena Fina (T#40)	Arcilla/Limo (T#200)	Uniformidad (Cu)	Curvatura (Cc)	USGS	AASHTO
1	**calicata 1-m1.4**	68.44%	11.16%	16.05%	4.35%	16.309	1.951	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	calicata 1 m-2.8	69.80%	16.40%	11.00%	2.80%	37.251	1.580	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
2	**calicata 2 m-1.4**	66.72%	21.46%	9.33%	2.49%	42.880	0.886	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	calicata 2 m-2.4	74.85%	19.63%	4.45%	1.07%	22.379	1.221	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
3	**calicata 3 m-2**	70.35%	11.77%	13.76%	4.11%	131.442	2.199	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	calicata 3 m-3.7	62.22%	12.06%	17.85%	7.88%	132.153	0.400	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
4	**calicata 4m-2**	77.38%	6.71%	10.14%	5.77%	159.146	14.901	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	calicata 4m-3.5	69.42%	17.28%	9.02%	4.28%	92.130	1.790	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
6	**calicata 6 m-1.5**	53.55%	38.30%	6.76%	1.39%	9.485	1.025	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	calicata 6 m-2.8	77.92%	9.22%	9.09%	3.77%	73.717	5.895	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
7	**calicata 7 m-1.5**	86.78%	8.87%	3.37%	0.98%	46.932	1.864	Suelo Grueso,Gava bien gradada (GW)	A-1-a
	calicata 7 m -3.7	2.79%	78.40%	15.51%	3.31%	4.484	1.329	Suelo Grueso, Gava mal gradada (GW-GC)	A-2-4
*Indice de plasticidad no determinado para las muestras									

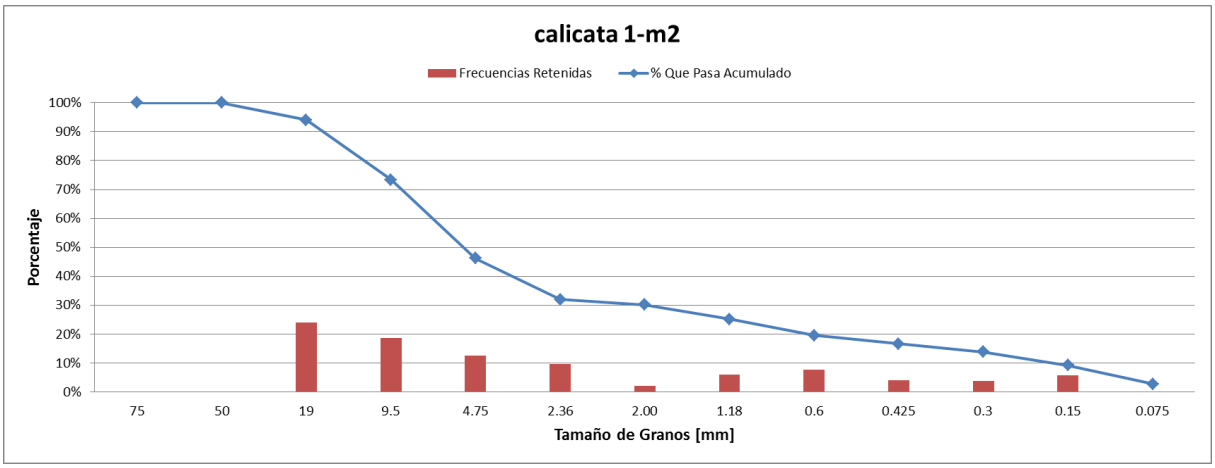
Granulometría:

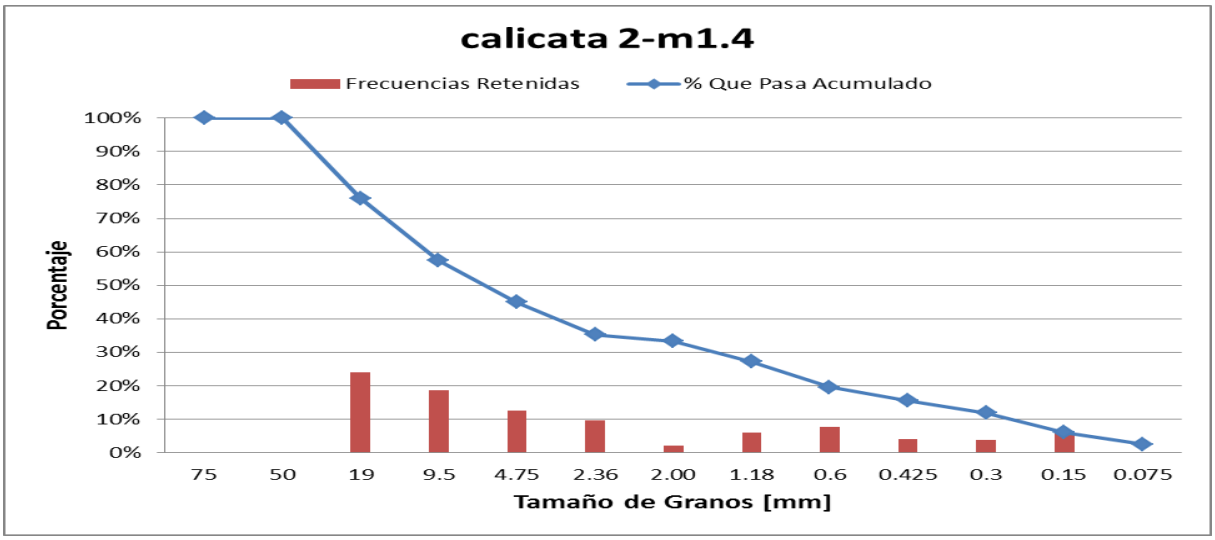
% Que Pasa Acumulado		1	2	3	4	5	6
Tamiz ASTM	**Tamiz [mm]**	**calicata 1-m1**	**calicata 1 m-2**	**calicata 2 m-1.4**	**calicata 2 m-2.4**	**calicata 3 m-2**	**calicata 3 m-3.7**
3"	**75**	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
2"	**50**	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
3/4	**19**	75.1%	94.0%	76.0%	74.1%	64.8%	71.4%
3/8	**9.5**	59.6%	73.4%	57.4%	54.1%	46.8%	56.9%
4	**4.75**	42.7%	46.2%	44.9%	38.8%	36.2%	45.8%
8	**2.36**	33.1%	32.0%	35.3%	27.6%	30.6%	39.1%
10	**2.00**	31.6%	30.2%	33.3%	25.2%	29.6%	37.8%
16	**1.18**	27.5%	25.2%	27.2%	18.3%	26.7%	34.1%
30	**0.6**	23.4%	19.6%	19.6%	10.9%	22.7%	29.7%
40	**0.425**	21.8%	16.6%	15.6%	7.8%	20.1%	27.5%
50	**0.3**	20.4%	13.8%	11.8%	5.5%	17.9%	25.7%
100	**0.15**	17.0%	9.2%	6.1%	2.6%	12.9%	20.9%
200	**0.075**	4.4%	2.8%	2.5%	1.1%	4.1%	7.9%
>200	**<0.075**	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

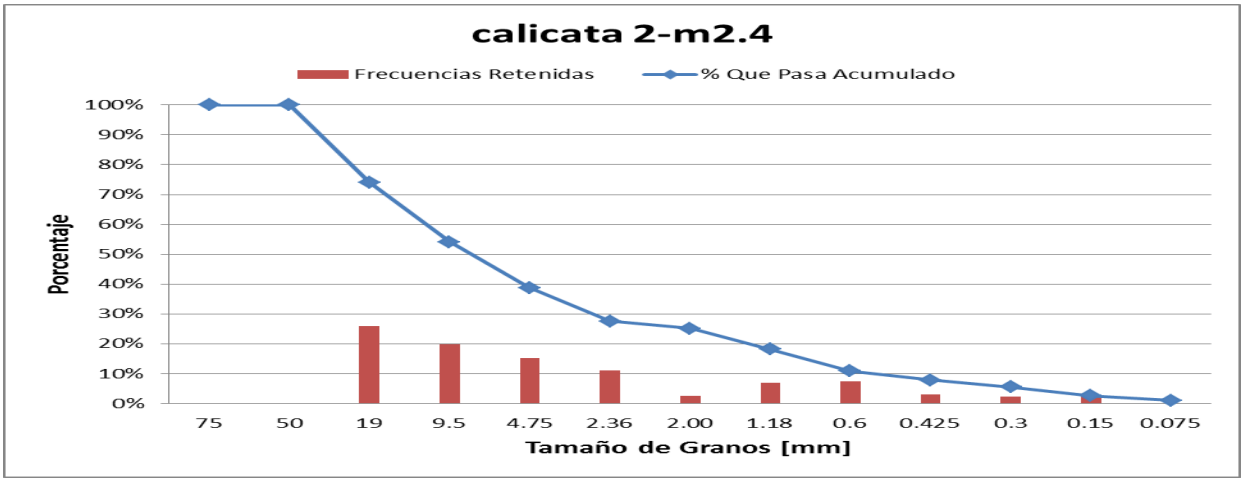
7	8	9	10	11	12
calicata 4m-2	**calicata 4m-3.5**	**calicata 6 m-1.5**	**calicata 6 m-2.8**	**calicata 7 m-1.5**	**calicata 7 m -3.7**
100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	51.5%	100.0%
60.1%	70.6%	91.0%	74.7%	38.7%	100.0%
41.7%	51.5%	80.8%	52.3%	28.6%	100.0%
26.7%	39.6%	69.7%	35.6%	21.1%	99.8%
23.1%	32.1%	51.5%	23.9%	14.6%	98.3%
22.6%	30.6%	46.4%	22.1%	13.2%	97.2%
21.1%	25.2%	30.8%	18.1%	10.1%	84.7%
18.7%	18.5%	17.2%	14.9%	6.9%	45.6%
17.3%	15.4%	11.6%	13.9%	5.4%	28.2%
15.9%	13.3%	8.1%	12.9%	4.3%	18.8%
12.9%	10.1%	3.5%	9.5%	2.3%	7.7%
5.8%	4.3%	1.4%	3.8%	1.0%	3.3%
0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

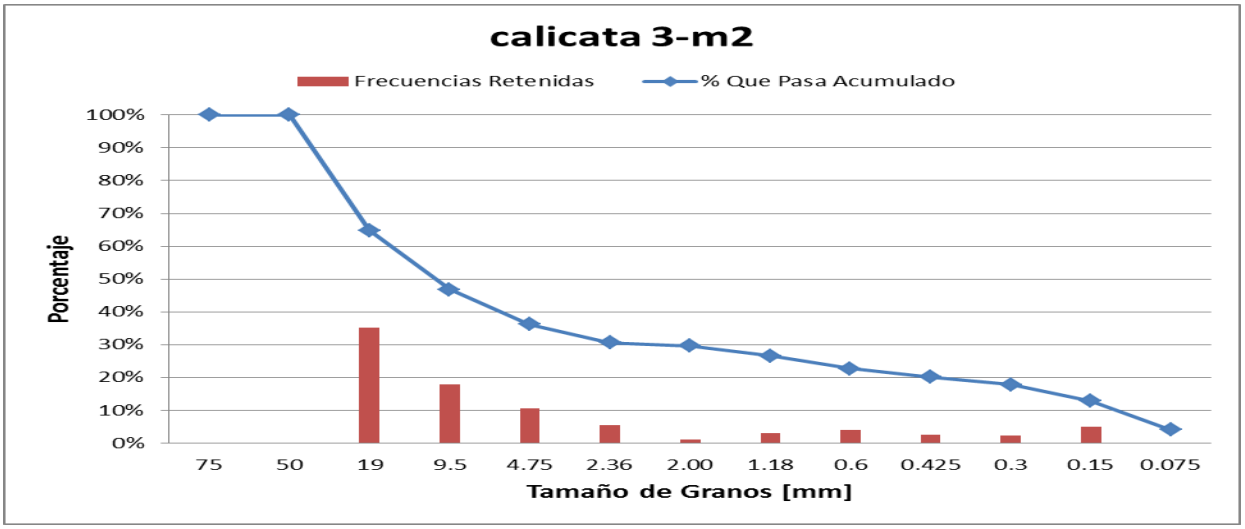
Curvas granulométricas:

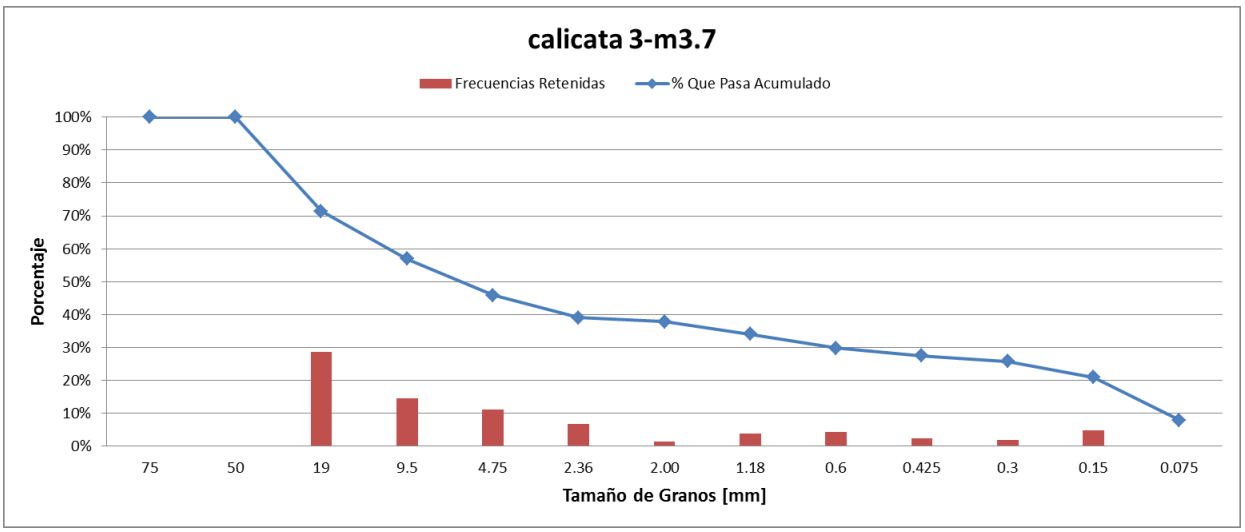


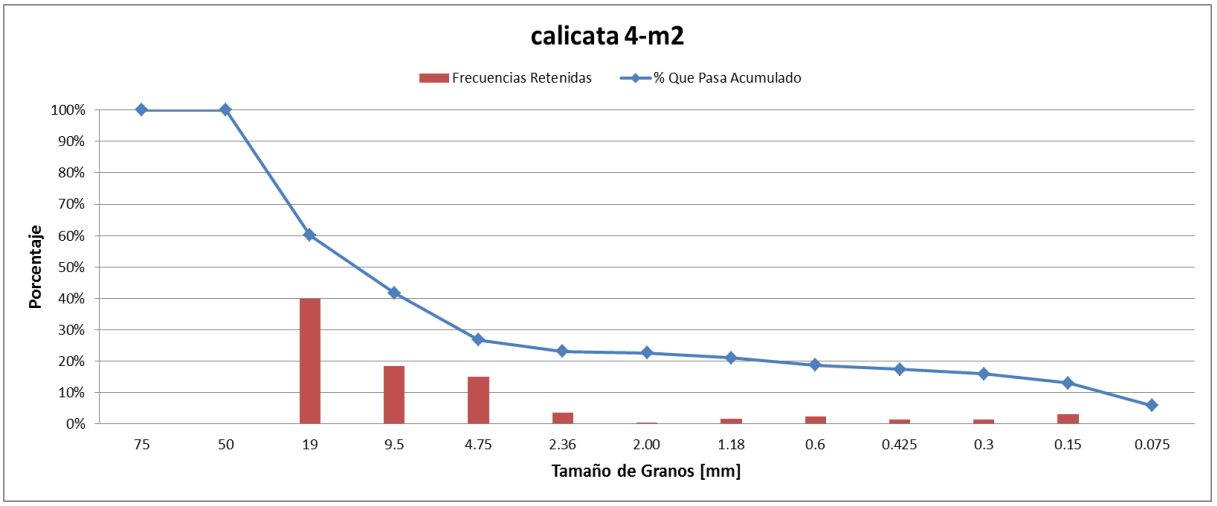


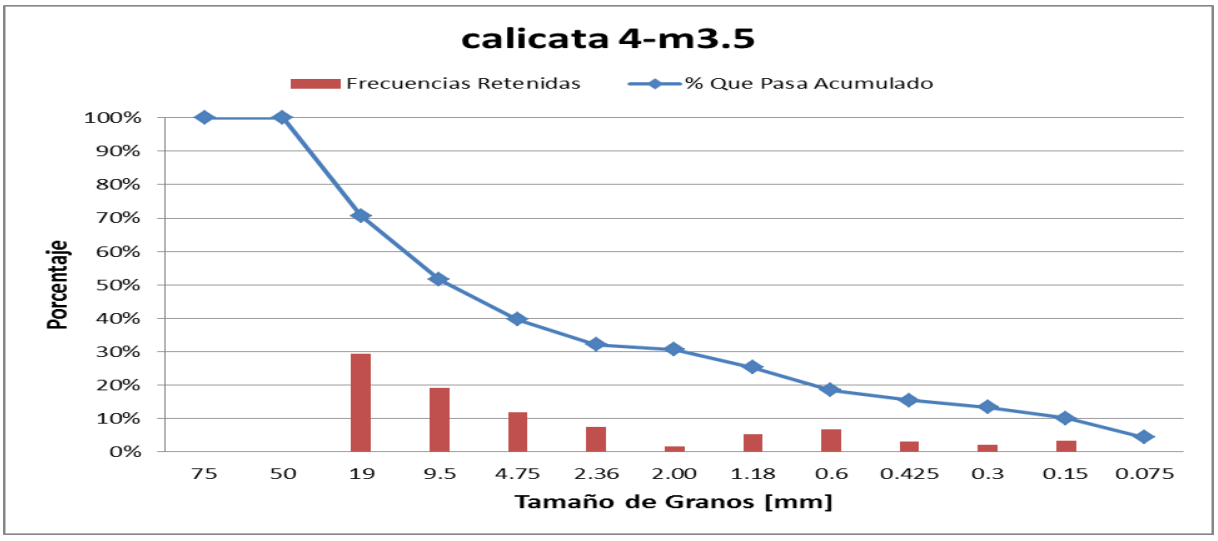


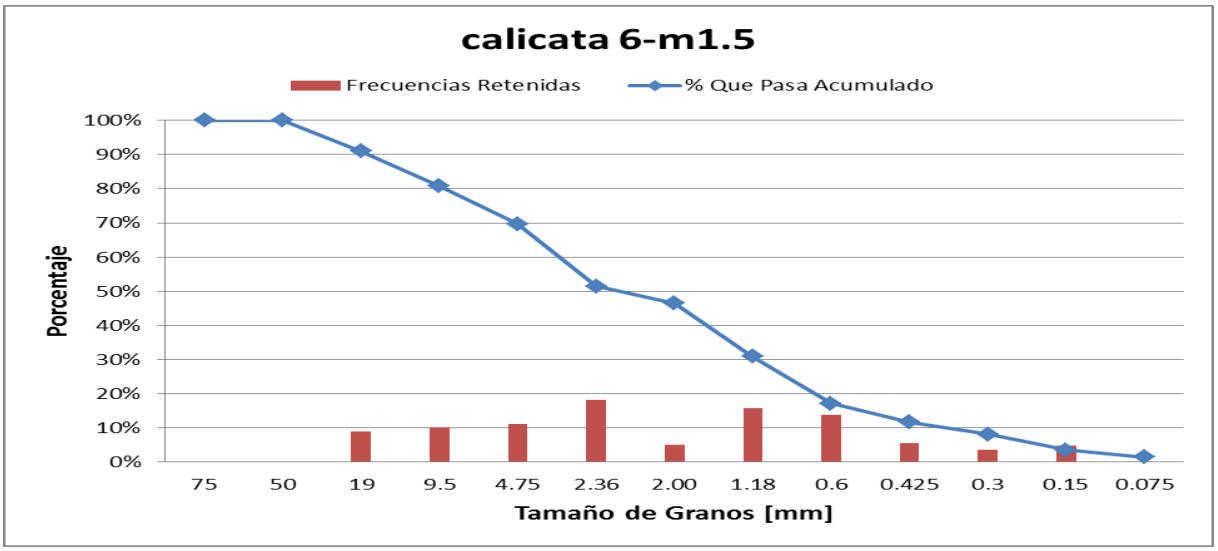

calicata 2-m2.4
Frecuencias Retenidas
% Que Pasa Acumulado
Porcentaje
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
75
50
19
9.5
4.75
2.36
2.00
1.18
0.6
0.425
0.3
0.15
0.075
Tamaño de Granos [mm]

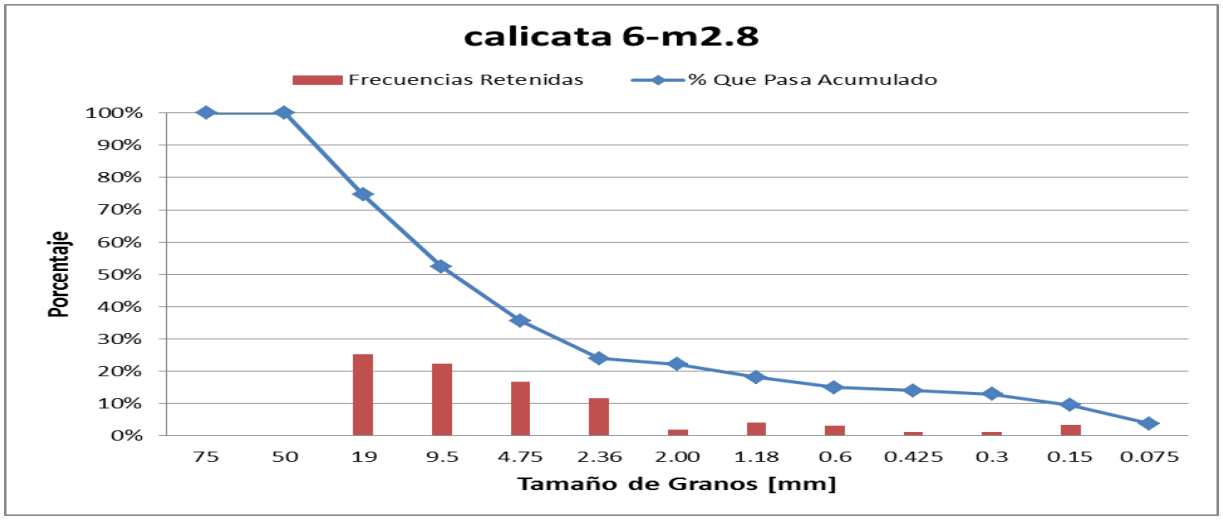

calicata 3-m2
Frecuencias Retenidas
% Que Pasa Acumulado
Porcentaje
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
75
50
19
9.5
4.75
2.36
2.00
1.18
0.6
0.425
0.3
0.15
0.075
Tamaño de Granos [mm]

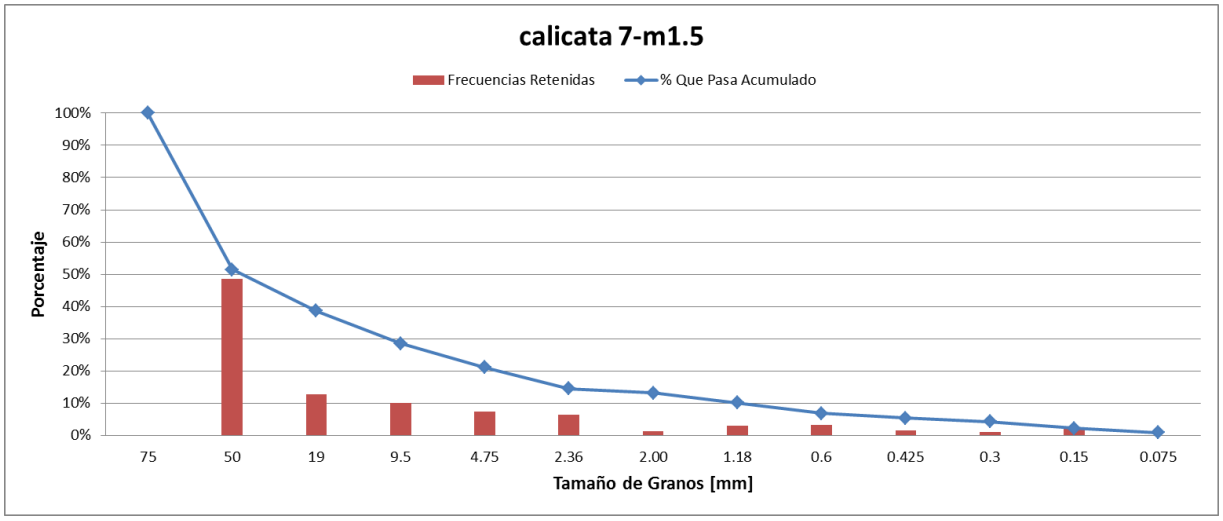

calicata 3-m3.7
Frecuencias Retenidas
% Que Pasa Acumulado
Porcentaje
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
75
50
19
9.5
4.75
2.36
2.00
1.18
0.6
0.425
0.3
0.15
0.075
Tamaño de Granos [mm]

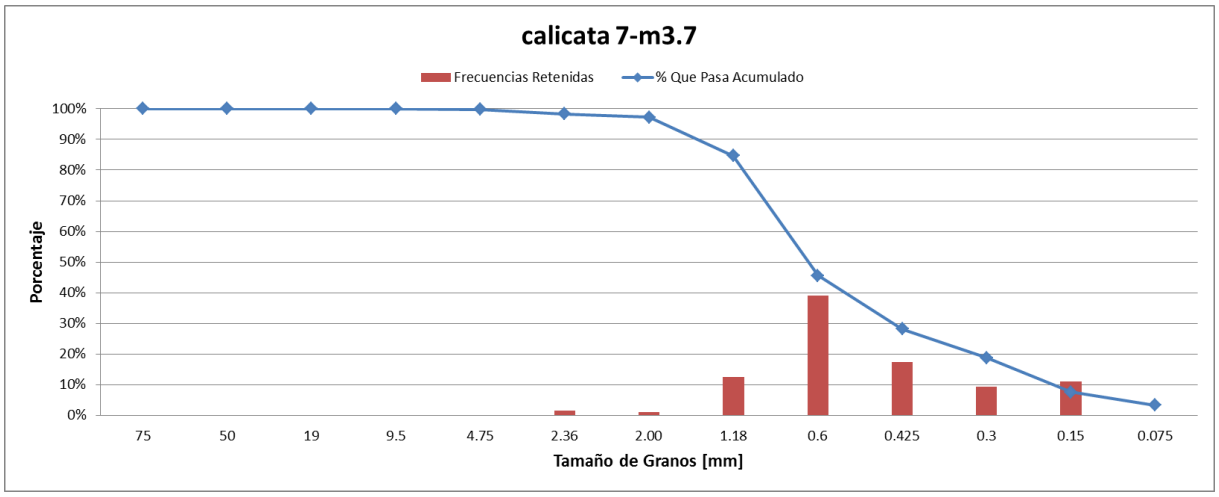

calicata 4-m2
Frecuencias Retenidas
% Que Pasa Acumulado
Porcentaje
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
75
50
19
9.5
4.75
2.36
2.00
1.18
0.6
0.425
0.3
0.15
0.075
Tamaño de Granos [mm]


calicata 4-m3.5
Frecuencias Retenidas
% Que Pasa Acumulado
Porcentaje
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
75
50
19
9.5
4.75
2.36
2.00
1.18
0.6
0.425
0.3
0.15
0.075
Tamaño de Granos [mm]


calicata 6-m1.5
Frecuencias Retenidas
% Que Pasa Acumulado
Porcentaje
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
75
50
19
9.5
4.75
2.36
2.00
1.18
0.6
0.425
0.3
0.15
0.075
Tamaño de Granos [mm]


calicata 6-m2.8
Frecuencias Retenidas
% Que Pasa Acumulado
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Porcentaje
75
50
19
9.5
4.75
2.36
2.00
1.18
0.6
0.425
0.3
0.15
0.075
Tamaño de Granos [mm]


calicata 7-m1.5
Frecuencias Retenidas
% Que Pasa Acumulado
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Porcentaje
75
50
19
9.5
4.75
2.36
2.00
1.18
0.6
0.425
0.3
0.15
0.075
Tamaño de Granos [mm]


calicata 7-m3.7
Frecuencias Retenidas
% Que Pasa Acumulado
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Porcentaje
75
50
19
9.5
4.75
2.36
2.00
1.18
0.6
0.425
0.3
0.15
0.075
Tamaño de Granos [mm]

Coeficiente de Curvatura y Uniformidad:

	D10 [mm]	D30 [mm]	D60 [mm]	Cu	Cc
calicata 1-m1.4	0.11	1.62	9.75	89.89	2.49
calicata 1 m-2.8	0.18	1.39	7.16	40.66	1.54
calicata 2 m-1.4	0.25	1.56	10.83	42.88	0.89
calicata 2 m-2.4	0.55	2.87	12.29	22.38	1.22
calicata 3 m-2	0.13	2.13	16.46	131.44	2.20
calicata 3 m-3.7	0.09	0.63	11.53	132.15	0.40
calicata 4m-2	0.12	5.80	18.97	159.15	14.90
calicata 4m-3.5	0.15	1.91	13.71	92.13	1.79
calicata 6 m-1.5	0.37	1.14	3.48	9.49	1.03
calicata 6 m-2.8	0.17	3.61	12.76	73.72	5.90
calicata 7 m-1.5	1.16	10.84	54.40	46.93	1.86
calicata 7 m -3.7	0.18	0.44	0.81	4.48	1.33

ANEXO 5 Humedad, Peso específico y Densidad

Humedad y peso específico:

Calicata	Muestra por metro	Norte	Este	Peso Total	Peso Seco	Peso Agua	Humedad	Vol inicial	Vol final	masa parcial Kg	Peso específico g/cm3
1	**1.4**	6970476	375054	501	497	4	0.805%	1.2	1.395	0.497	2.549
	2.8			710	705	5	0.709%	1.2	1.43	0.705	3.065
2	**1.4**	6970185	374956	645	641	4	0.624%	1.2	1.455	0.641	2.514
	2.4			656	651	5	0.768%	1.2	1.425	0.651	2.893
3	**2**	6970132	375169	702	698	4	0.573%	1.2	1.46	0.698	2.685
	3.7			625	620	5	0.806%	1.2	1.42	0.62	2.818
4	**2**	6970365	375373	643	641	2	0.312%	1.2	1.465	0.641	2.419
	3.5			658	654	4	0.612%	1.2	1.42	0.654	2.973
6	**1.5**	6970010	375438	579	574	5	0.871%	1.2	1.435	0.574	2.443
	2.8			776	769	7	0.910%	1.2	1.58	0.769	2.024
7	**1.5**	6970306	375627	1143	1125	18	1.600%	1.2	1.78	1.125	1.940
	3.7			591	569	22	3.866%	1.2	1.495	0.569	1.929

Densidad cono de arena:

DENSIDADES IN SITU y HUMEDAD							
Punto	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 6	Calicata 7	
Norte	6970476	6970185	6970132	6970365	6970010	6970306	
Este	375054	374956	375169	375373	375438	375627	
Masa	**4,896**	**2,583**	**4,854**	**3,548**	**3,072**	**2,945**	
A.Inicial	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	
A.Final	**2.750**	**3,044**	**2,436**	**3,357**	**3,080**	**3,144**	
Diferencia	6,997	3,956	4,564	3,643	3,920	3,856	
Cono	1,622	1,622	1,622	1,622	1,622	1,622	
Hoyo	5,375	2,334	2,942	2,021	2,298	2,234	
Dens.Arena	2	2	2	2	2	2	
Vol.Total	3,513	1,525	1,923	1,321	1,502	1,460	
							Promedio
D.C.H.	1.394	1.693	2.524	2.686	2.045	2.017	2.060
% w	1.004	1.020	1.004	1.005	1.012	1.013	
D.M.C.S.	1.388	1.660	2.514	2.672	2.022	1.991	2.041
Peso Hum.	4,896	2,583	4,854	3,548	3,072	2,945	
Peso Seco	4,875	2,533	4,834	3,530	3,037	2,907	
% w	**0.4**	**2.0**	**0.4**	**0.5**	**1.2**	**1.3**	
w = Humedad							
D.C.H. = densidad compactada humeda							
D.M.C.S = densidad maxima compactada seca							

ANEXO 6 Cálculos de Permeabilidad

Permeabilidad Breddin:

Tamiz	calicata 1-m1	calicata 1 m-2	calicata 2 m-1.4	calicata 2 m-2.4	calicata 3 m-2	calicata 3 m-3.7	calicata 4m-2	calicata 4m-3.5	calicata 6 m-1.5	calicata 6 m-2.8	calicata 7 m-1.5	calicata 7 m-3.7
75	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
50	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	51.5%	100.0%
19	75.1%	94.0%	76.0%	74.1%	64.8%	71.4%	60.1%	70.6%	91.0%	74.7%	38.7%	100.0%
9.5	59.6%	73.4%	57.4%	54.1%	46.8%	56.9%	41.7%	51.5%	80.8%	52.3%	28.6%	100.0%
4.75	42.7%	46.2%	44.9%	38.8%	36.2%	45.8%	26.7%	39.6%	69.7%	35.6%	21.1%	99.8%
2.36	33.1%	32.0%	35.3%	27.6%	30.6%	39.1%	23.1%	32.1%	51.5%	23.9%	14.6%	98.3%
2	31.6%	30.2%	33.3%	25.2%	29.6%	37.8%	22.6%	30.6%	46.4%	22.1%	13.2%	97.2%
1.18	27.5%	25.2%	27.2%	18.3%	26.7%	34.1%	21.1%	25.2%	30.8%	18.1%	10.1%	84.7%
0.6	23.4%	19.6%	19.6%	10.9%	22.7%	29.7%	18.7%	18.5%	17.2%	14.9%	6.9%	45.6%
0.425	21.8%	16.6%	15.6%	7.8%	20.1%	27.5%	17.3%	15.4%	11.6%	13.9%	5.4%	28.2%
0.3	20.4%	13.8%	11.8%	5.5%	17.9%	25.7%	15.9%	13.3%	8.1%	12.9%	4.3%	18.8%
0.15	17.0%	9.2%	6.1%	2.6%	12.9%	20.9%	12.9%	10.1%	3.5%	9.5%	2.3%	7.7%
0.075	4.4%	2.8%	2.5%	1.1%	4.1%	7.9%	5.8%	4.3%	1.4%	3.8%	1.0%	3.3%
0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
K Bredding (m/dia)	199.5	199.5	199.5	199.5	800	161.2	800	199.5	199.5	199.5	800	38.6
Clase de permeabilidad	alta	alta	alta	alta	muy alta	alta	muy alta	alta	alta	alta	muy alta	media

Pruebas de inyección puntual Lefranc:

Datos		Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 6	Calicata 7
Prof. Realización Prueba		2.7	2.55	2.6	2.7	2.7	2.8
d_e (m)		0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
L (m)		0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.12
d (m)		0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
K (m/d)	**Prueba 1**	3.011	1.588	1.240	1.179	0.564	0.565
	Prueba 2	1.041	1.588	1.240	1.128	0.274	0.192
	Prueba 3	1.041	1.588	1.240	1.128	0.240	0.174