

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**El ensayo Lugeon con prueba de empaquetador en la obtención de la conductividad
hidráulica del macizo rocoso con perforaciones diamantinas – Tajo Norte, Mina
Colquijirca, 2023**

**Para optar el título profesional de:
Ingeniero Geólogo**

Autores:

Bach. Nataly Olga BENITO CHAVEZ

Bach. Johann Frank NAVARRO MAURICIO

Asesor:

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**El ensayo Lugeon con prueba de empaquetador en la obtención de la conductividad
hidráulica del macizo rocoso con perforaciones diamantinas – Tajo Norte, Mina
Colquijirca, 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Saturnino Eleuterio FLORES COAGUILA
PRESIDENTE

Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN
MIEMBRO

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 330-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

“El ensayo Lugeon con prueba de empaquetador en la obtención de la conductividad hidráulica del macizo rocoso con perforaciones diamantinas – Tajo Norte, Mina Colquijirca, 2023”

Apellidos y nombres de los tesisistas

Bach. Nataly Olga, BENITO CHAVEZ

Bach. Johann Frank, NAVARRO MAURICIO

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Vidal Víctor, CALSINA COLQUI

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

5 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 3 de octubre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03.10.2025 11:21:53 -05:00

DEDICATORIA

Dedicamos esta investigación, en primer lugar, a Dios, por guiarnos y permitirnos culminar exitosamente nuestra tesis, brindándonos salud, sabiduría y fortaleza en cada etapa del proceso. Asimismo, expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestras familias, cuyo respaldo incondicional, amor y apoyo fueron fundamentales para alcanzar este logro.

A nuestros amados padres con mucho amor, quienes siempre han estado brindándonos su apoyo, sabios consejos y amor incondicional. Gracias a su esfuerzo, sacrificio y fe en nosotros, hoy damos un paso más en el camino de nuestros sueños.

AGRADECIMIENTO

Manifestamos nuestro más sincero reconocimiento al equipo de Geología, por brindarnos la valiosa oportunidad de desarrollar el presente estudio de tesis, el cual ha contribuido significativamente a consolidar nuestras competencias en el ámbito de las ciencias geológicas.

A nuestra alma máter, la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, expresamos nuestro agradecimiento por la transmisión de sólidos conocimientos teóricos y prácticos, los cuales fortalecieron nuestra formación profesional y nos guiaron en el análisis e interpretación de los procesos geológicos.

Asimismo, expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestros padres y familias, quienes han sido la principal fuente de motivación, respaldo y energía a lo largo de este camino, y cuyo incondicional apoyo fue fundamental para culminar con éxito esta investigación.

RESUMEN

La presente investigación titulada “Determinación de la conductividad hidráulica del macizo rocoso mediante el ensayo Lugeon en perforaciones diamantinas – Tajo Norte, Mina Colquijirca, 2023” se desarrolló en el distrito de Tinyahuarco, provincia y región Pasco. El objetivo fue evaluar la contribución del ensayo Lugeon con empaquetadores en la determinación de la conductividad hidráulica del macizo rocoso mediante perforaciones diamantinas.

Para ello se ejecutaron ocho perforaciones, dos en interior mina y seis en el tajo, de las cuales cuatro (Geotech OP 001, OP 002, OP 006 y OP 008) fueron seleccionadas para la realización de ensayos hidráulicos mediante empaquetadores dobles y triples. Los ensayos se realizaron en sentido ascendente al finalizar cada perforación, aplicando el método de carga constante.

Los resultados evidencian variabilidad en la conductividad hidráulica según el tipo litológico atravesado. Las limoarcillitas presentaron valores entre $1.75\text{E-}05$ y $1.48\text{E-}06$ m/s, mientras que las dacitas mostraron valores entre $1.14\text{E-}05$ y $8.49\text{E-}06$ m/s. Las calizas varvadas con brechas alcanzaron una permeabilidad de $7.36\text{E-}06$ m/s, y las tobas con limoarcillitas registraron el valor más bajo con $3.53\text{E-}07$ m/s, indicando un comportamiento casi impermeable. En general, el macizo rocoso presenta baja permeabilidad, con mayor conductividad en sectores asociados a dacitas porfiríticas. Asimismo, el comportamiento del nivel freático mostró variaciones relacionadas con la intercepción de labores mineras antiguas y sistemas de fracturas conectadas, lo que evidencia la influencia de la estructura geológica en la conductividad hidráulica del macizo rocoso.

Palabras claves: ensayo Lugeon, conductividad hidráulica, macizo rocoso, empaquetador, perforaciones diamantinas.

ABSTRACT

The This research entitled “Determination of the hydraulic conductivity of the rock mass using the Lugeon test in diamond drill holes – North Pit, Colquijirca Mine, 2023” was carried out in the district of Tinyahuarco, Pasco Province, Pasco Region, Peru. The objective of the study was to evaluate the contribution of the Lugeon test with packers in determining the hydraulic conductivity of the rock mass through diamond drilling.

A total of eight drill holes were executed, two in the underground mine and six in the open pit. From these, four drill holes (Geotech OP 001, OP 002, OP 006, and OP 008) were selected and instrumented to perform hydraulic tests using double and triple packers. The tests were conducted in an ascending sequence at the end of each drilling operation, applying the constant head method.

The results show variability in hydraulic conductivity depending on the lithological units intersected. The silty claystones presented conductivity values ranging from $1.75\text{E-}05$ to $1.48\text{E-}06$ m/s, whereas the dacites showed higher values between $1.14\text{E-}05$ and $8.49\text{E-}06$ m/s. Varved limestones with breccias reached a permeability of $7.36\text{E-}06$ m/s, while the tuffs interbedded with silty claystones presented the lowest value of $3.53\text{E-}07$ m/s, indicating an almost impermeable behavior. Overall, the rock mass exhibits low permeability, except in areas associated with porphyritic dacites. Additionally, groundwater levels showed variable behavior due to the interception of old mining workings through connected fracture systems, highlighting the influence of geological structures on the hydraulic conductivity of the rock mass.

Keywords: Lugeon test, hydraulic conductivity, rock mass, packer test, diamond drilling.

INTRODUCCIÓN

Los estudios de permeabilidad en un macizo rocoso son de vital importancia para analizar el comportamiento hidráulico de las formaciones geológicas y sus implicaciones en la explotación minera, la ingeniería civil y ambiental. En minería para conocer la filtración subterránea que condiciona la continuidad de las operaciones mineras, en Civil la filtración que puede perjudicar la ejecución de obras superficiales y subterráneas, en Ambiental el riesgo que ocasiona las filtraciones en los taludes. A la fecha se han realizado diversos estudios de permeabilidad en diferentes tipos de rocas, utilizando métodos directos e indirectos, tanto en laboratorio como en campo. Motivo por el cual se ha desarrollado el proyecto para conocer la permeabilidad del macizo rocoso y la filtración de agua que ocurre para tomar las medidas de corrección, este proyecto ha logrado determinar utilizando la metodología adecuada a la permeabilidad del macizo rocoso realizando ensayos de Lefranc de carga constante y variable, asimismo del ensayo tipo Lugeon con doble y triple packer en pozos de sondeos realizados.

La investigación se ha realizado de la siguiente manera:

El Capítulo I, esta referido al problema de investigación, el Capítulo II: detalla la importancia de realizar las pruebas hidráulicas y de permeabilidad de un macizo rocoso, la forma de investigación y los sondeos, el Capítulo III menciona la metodología y técnicas de investigación realizada, en el Capítulo IV: se muestra el proceso de la investigación y los resultados, donde se establece la ubicación de los sondeos, las características geológicas de los sondeos y los procesos de realizar los ensayos para luego enfocarnos a realizar los ensayo.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.3.	Formulación del problema	2
1.3.1.	Problema general	2
1.3.2.	Problemas específicos	2
1.4.	Formulación de objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general.....	3
1.4.2.	Objetivos específicos	3
1.5.	Justificación de la investigación	3
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	3

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	5
2.2.	Bases teóricas – científicas	7
2.3.	Definición de términos básicos	19
2.4.	Formulación de hipótesis	20
2.4.1.	Hipótesis general.....	20
2.4.2.	Hipótesis específicas	20

2.5.	Identificación de variables	20
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	21

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	22
3.2.	Nivel de investigación.....	23
3.3.	Métodos de investigación	23
3.4.	Diseño de investigación	23
3.5.	Población y muestra.....	23
3.6.	Técnicas e instrumento recolección de datos.....	24
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	24
3.8.	Tratamiento estadístico	25
3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	25

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	26
4.2.	Presentación y análisis e interpretación de resultados	66
4.3.	Prueba de hipótesis	67
4.4.	Discusión de resultados.....	68

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Características de diámetros de perforación	33
Tabla 2. Coordenadas de las perforaciones geotécnicas subterráneas, RAMPERÚ 2021.....	33
Tabla 3. Coordenadas de las perforaciones geotécnicas superficiales, RAMPERÚ 2021	34
Tabla 4. Taladro Geotech UG 001	36
Tabla 5. Taladro Geotech_UG_00.....	38
Tabla 6. Taladro Geotech OP 001.....	39
Tabla 7. Taladro Geotech OP 002.....	40
Tabla 8. Taladro Geotech OP 003.....	40
Tabla 9. Taladro Geotech OP 006.....	42
Tabla 10. Taladro Geotech OP 007.....	43
Tabla 11. Taladro Geotech OP 008.....	44
Tabla 12. Resultado de las pruebas hidráulica.....	50
Tabla 13. Ensayos de permeabilidad Geotech_OP_001 y Geotech_OP_002, RAMPERU 2021.....	51
Tabla 14. Ensayos de permeabilidad Geotech_OP_006 y Geotech_OP_008, RAMPERU 2021.....	51
Tabla 15. Registro del nivel de agua durante la perforación	52
Tabla 16. Registro de niveles de agua durante la perforación, RAMPERU 2021.....	53
Tabla 17. Instalación y habilitación VW Geotech OP 001 y VW Geotech OP 002.....	56
Tabla 18. Instalación y habilitación VW Geotech OP 006 y VW Geotech OP 008.....	57
Tabla 19. Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 001.	58
Tabla 20. Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 002.	59
Tabla 21. Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 006.	60
Tabla 22. Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 008.	61
Tabla 23. Instalación y habilitación de los piezómetros de cuerda vibrante.	62
Tabla 24. Número de piezómetros y su profundidad.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Ensayo lugeon.	13
Figura 2. Equipo de la Prueba con empaquetador.	15
Figura 3. Gráfico del ensamble de control.....	15
Figura 4. Ensamble de control Imagen	16
Figura 5. Ensamble doble	16
Figura 6. Resultados de prueba.....	17
Figura 7. Barel y packer.....	18
Figura 8. Prueba de empacador en perforaciones inclinadas.....	18
Figura 9. Ubicación del proyecto.....	27
Figura 10. Columna litoestratigráfico (INGEMMET).....	31
Figura 11. Mapa de geológico regional (Ángeles, 1996).....	32
Figura 12. Mapa de ubicación de sondajes geotécnicos / hidrogeológicos.	34
Figura 13. Patrones tipos de resultados de pruebas lugeon.	46

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

En el yacimiento minero de Colquijirca, se requiere profundizar las operaciones mineras en este caso en el Tajo norte.

La continuidad de la mineralización en profundidad en un yacimiento se encuentra influenciado por la permeabilidad del macizo rocoso. La permeabilidad de un macizo rocoso está relacionada con la conductividad hidráulica que presenta el tipo de macizo rocoso, si se da el caso si el macizo rocoso posee una alta conductividad hidráulica a medida que se profundiza, esta dificultará las operaciones de extracción del mineral económico, hasta puede incrementar los costos de explotación elevando el cutt off, hasta incluso puede paralizar las operaciones mineras, si los costos de extracción del agua son demasiado elevados.

Por lo mismo es necesario realizar ensayos de permeabilidad para obtener la variación de la conductividad hidráulica del macizo rocoso en profundidad para implementar medidas de mitigación de la permeabilidad en el macizo rocoso.

Para realizar el ensayo Lugeon, normalmente se realizan pozos de acuerdo al tipo de acuífero para determinar la permeabilidad de un macizo rocoso, en el presente estudio se aprovecha las perforaciones diamantinas realizadas, que nos permiten conocer la conductividad hidráulica del macizo rocoso.

Por lo tanto, el ensayo Lugeon nos proporciona la conductividad hidráulica para determinar la permeabilidad del macizo rocoso en la se realiza el presente proyecto.

1.2. Delimitación de la investigación

El proyecto se ha realizado al Norte de la zona Tajo Norte del yacimiento minero de Colquijirca, ubicado en el distrito de Tinyahuarco, Provincia de Pasco y Región Pasco.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera el ensayo Lugeon mediante el uso de empaquetadores en perforaciones diamantinas permite determinar la conductividad hidráulica del macizo rocoso en el Tajo Norte de la Mina Colquijirca, 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo influyen las características litológicas y estructurales del macizo rocoso en la determinación de la conductividad hidráulica obtenida mediante el ensayo Lugeon?
- b. ¿Qué valores de conductividad hidráulica se obtienen a partir de los ensayos Lugeon realizados en las perforaciones diamantinas del Tajo Norte?

- c. ¿Cómo se relacionan los resultados de los ensayos Lugeon con la permeabilidad del macizo rocoso en función del tipo de roca y grado de fracturamiento?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la determinación de la conductividad hidráulica del macizo rocoso mediante el ensayo Lugeon con empaquetadores en perforaciones diamantinas en el Tajo Norte de la Mina Colquijirca, 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Realizar ensayos Lugeon en perforaciones diamantinas seleccionadas del Tajo Norte utilizando empaquetadores dobles y triples.
- b. Determinar los valores de conductividad hidráulica del macizo rocoso a partir de los resultados obtenidos en los ensayos hidráulicos.
- c. Analizar la variabilidad de la conductividad hidráulica según el tipo litológico y grado de fracturamiento del macizo rocoso.

1.5. Justificación de la investigación

El proyecto contribuye a determinar la continuidad en las operaciones del Tajo a profundidad, por lo tanto, nos permitirá conocer las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso, proporcionando datos para determinar la permeabilidad en el macizo rocoso.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones más importantes son: Los parámetros mecánicos obtenidos son en las perforaciones diamantinas y no se realizó en las labores de la zona del tajo Norte, para

conocer con exactitud la permeabilidad del macizo rocoso. Por lo tanto, los datos se tienen que interpolar para conocer con exactitud la permeabilidad en las labores de explotación. Asimismo, los resultados obtenidos para un determinado macizo rocoso son datos referenciales que puedan ser utilizados en futuras investigaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Los estudios de permeabilidad en un macizo rocoso son esenciales para evaluar el comportamiento hidráulico de las formaciones geológicas y sus implicaciones en la ingeniería civil y ambiental. En Perú, se han realizado diversos estudios de permeabilidad en diferentes tipos de rocas, utilizando métodos directos e indirectos, tanto en laboratorio como en campo. Algunos ejemplos de estos estudios son los realizados por Cárdenas et al. (2016) en el macizo rocoso de la presa de Chaglla, por Gutiérrez et al. (2018) en el macizo rocoso de la mina Yanacocha, y por Sánchez et al. (2020) en el macizo rocoso de la mina Antamina. Estos estudios han permitido caracterizar la permeabilidad de los macizos rocosos, así como identificar los factores que la afectan, tales como la litología, la fracturación, la alteración y la presión de poro.

Cárdenas (2016) realizó un estudio geomecánico del macizo rocoso de la presa de Chaglla, ubicada en el río Huallaga, en la región de Huánuco, Perú. El objetivo del estudio

fue caracterizar el comportamiento del macizo rocoso frente a las cargas hidráulicas y sísmicas, así como evaluar la estabilidad de la presa y sus estructuras asociadas. Para ello, se emplearon métodos de clasificación geomecánica, ensayos de laboratorio, modelación numérica y análisis probabilístico. Los resultados mostraron que el macizo rocoso presenta una calidad media a buena, con una resistencia a la compresión uniaxial promedio de 87 MPa y un módulo de deformación promedio de 18 GPa. El factor de seguridad de la presa fue de 1.8 para el caso estático y de 1.5 para el caso sísmico, lo que indica una condición estable. El análisis probabilístico permitió estimar la probabilidad de falla de la presa en función de la variabilidad de los parámetros geomecánicos, obteniéndose un valor de 0.0025, lo que representa un riesgo aceptable según los criterios internacionales.

Rojas Verasay Felipe E.(2022) en la Memoria intitulada. Análisis estructural de vetillas mediante mediciones de televiwer para su uso en la geología de exploración en la mina Los Bronces. Memoria. Título de Geólogo. Universidad Mayor Chile., presenta un estudio de las vetillas que se encuentran en la mina Los Bronces, ubicada en la cordillera de los Andes, Chile. El objetivo principal es analizar la estructura y la orientación de las vetillas mediante el uso de un instrumento llamado televiwer, que permite obtener imágenes digitales de las paredes de los sondajes. El autor explica la metodología empleada para procesar y clasificar las imágenes, así como para calcular los parámetros estructurales de las vetillas, tales como el rumbo, el buzamiento, el espesor y la densidad. Los resultados obtenidos se comparan con los datos geológicos existentes y se discuten las implicaciones para la exploración minera en la zona. El autor concluye que el uso del televiwer es una herramienta útil y eficiente para el análisis estructural de las vetillas, que puede aportar información valiosa para la caracterización geológica y la modelación de los yacimientos minerales.

Ricci Valdés Miguel E.(2018). Caracterización geotécnica y análisis de estabilidad de proyecto continuidad mina Gabriela. Memoria título de Ingeniero Civil de Minas. Universidad Talca. Chile, que caracterización geotécnica y un análisis de estabilidad de las labores mineras del proyecto continuidad mina Gabriela, ubicado en la Región de Atacama, Chile. El proyecto consiste en la explotación de un yacimiento de cobre por el método de corte y relleno ascendente, con una producción estimada de 6000 toneladas por día. Para ello, se realizó una campaña de ensayos geotécnicos in situ y de laboratorio, que permitieron obtener los parámetros geomecánicos de las rocas y los rellenos utilizados en el proyecto. Además, se realizó un modelamiento numérico tridimensional con el software Phase2, que permitió evaluar el comportamiento de las labores mineras bajo diferentes escenarios de diseño y operación. Los resultados obtenidos indican que las labores mineras presentan un nivel de estabilidad aceptable, siempre y cuando se cumplan las recomendaciones de diseño y operación establecidas en el estudio. Asimismo, se identificaron los factores críticos que afectan la estabilidad de las labores, tales como la geometría, el espaciamiento, el relleno, la presión de agua y la sismicidad. Finalmente, se propusieron medidas de control y mitigación para mejorar la estabilidad de las labores mineras y reducir los riesgos asociados.

2.2. Bases teóricas – científicas

Estudios de permeabilidad

Los estudios de permeabilidad en un macizo rocoso se basan en el análisis de las propiedades hidráulicas de las discontinuidades que lo conforman, tales como fracturas, fallas, diaclasas y juntas. Estas discontinuidades actúan como conductos preferenciales para el flujo de agua y otros fluidos en el medio rocoso, y su caracterización es fundamental

para comprender el comportamiento hidrológico del macizo. La permeabilidad de un macizo rocoso depende de factores como la geometría, la orientación, la apertura, la rugosidad y el relleno de las discontinuidades, así como de la interacción entre ellas. Existen diferentes métodos para medir la permeabilidad de un macizo rocoso, tanto en campo como en laboratorio, que se clasifican según el tipo de ensayo (estacionario o transitorio), el alcance del área de influencia (local o global) y el modo de inyección (constante o variable). (Cárdenas et. 2016)

Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es una propiedad que mide la capacidad de un material para transmitir agua bajo un gradiente hidráulico. En un macizo rocoso, la conductividad hidráulica depende de la porosidad, la permeabilidad y la estructura de las fracturas. Para determinar la conductividad hidráulica en un macizo rocoso con perforaciones diamantinas, se pueden utilizar diferentes métodos basados en ensayos de bombeo o de inyección. Estos métodos se basan en las bases teóricas de la ley de Darcy y la ecuación de Theis. Estas bases teóricas permiten relacionar las variaciones de presión y caudal con la conductividad hidráulica del macizo rocoso. (Cárdenas et. 2016)

La ley de Darcy

La ley de Darcy es una ecuación que describe el flujo de un fluido a través de un medio poroso. La ley establece que la velocidad de descarga, es decir, el volumen de fluido que atraviesa una unidad de área por unidad de tiempo, es proporcional al gradiente de presión aplicado y a la permeabilidad del medio. La ley de Darcy se puede expresar matemáticamente como:

$$Q = -KA (dp/dx)$$

Donde:

- Q es la velocidad de descarga.
- K es la permeabilidad del medio.
- A es el área transversal
- dp/dx es el gradiente de presión.

La constante de proporcionalidad K depende de las propiedades del fluido y del medio, como la viscosidad, la densidad y la porosidad. El signo negativo indica que el flujo va en sentido opuesto al gradiente de presión, es decir, de mayor a menor presión.

La ley de Darcy se aplica a muchos fenómenos naturales e ingenieriles, como el movimiento del agua subterránea, la filtración de fluidos en suelos y rocas, la producción de petróleo y gas, y el diseño de sistemas de riego y drenaje. La ley de Darcy es una simplificación que asume que el flujo es laminar, isotrópico, homogéneo y estacionario. Estas condiciones no siempre se cumplen en la realidad, por lo que existen diversas extensiones y modificaciones de la ley de Darcy para casos más complejos. (Cárdenas et. 2016)

La ecuación de Theis

La ecuación de Theis es una fórmula matemática que describe el comportamiento del flujo de agua subterránea en un acuífero confinado sometido a una extracción constante mediante un pozo. La ecuación fue desarrollada por Charles Vernon Theis en 1935 y se basa en el método de las funciones de Laplace para resolver la ecuación de difusión que rige el movimiento del agua en el medio poroso. La ecuación de Theis permite calcular la variación de la carga hidráulica en cualquier punto del acuífero en función del tiempo, la distancia al pozo, la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento del acuífero. La

ecuación de Theis tiene la siguiente forma:

$$s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

donde:

- s es la depresión o descenso de la carga hidráulica.
- r es la distancia radial al pozo
- t es el tiempo.
- Q es el caudal extraído.
- T es la transmisividad.
- W es la función de Theis, que depende del parámetro u , definido como:
- $u = \frac{r^2 S}{4 T t}$

donde S es el coeficiente de almacenamiento.

La función de Theis se puede expresar como una serie infinita o como una integral exponencial. Su valor se puede obtener mediante tablas o gráficos. La ecuación de Theis es una solución exacta para un acuífero confinado homogéneo, isotrópico e infinito, con un pozo de radio despreciable que extrae agua a un caudal constante. Estas condiciones son ideales y no se cumplen en la realidad, pero la ecuación de Theis sirve como una aproximación razonable para muchos casos prácticos y como base para el desarrollo de otras soluciones más complejas que consideran factores adicionales como la heterogeneidad, la anisotropía, los límites del acuífero, el radio del pozo, el régimen transitorio o variable, etc.

La conductividad hidráulica en perforaciones diamantinas

La conductividad hidráulica es una medida de la capacidad de un material para transmitir agua. En las perforaciones diamantinas, la conductividad hidráulica se determina

mediante ensayos de bombeo o de inyección, que consisten en aplicar un caudal constante de agua al pozo y medir la variación de la presión hidráulica en el mismo o en pozos cercanos. La conductividad hidráulica depende de las propiedades del material, como la porosidad, la permeabilidad y la tortuosidad, así como de las características del fluido, como la viscosidad y la densidad. La conductividad hidráulica es un parámetro importante para evaluar el potencial hidrogeológico de un acuífero o la influencia de las perforaciones diamantinas en el medio ambiente. (Cárdenas et. 2016)

Ensayo de Lugeon

Según Velásquez Urán (2012), el ensayo Lugeon constituye una prueba de campo orientada a la determinación de la permeabilidad en macizos rocosos fracturados. El procedimiento se basa en la inyección de un volumen de agua (V) dentro del terreno durante un intervalo de tiempo establecido (t), a fin de calcular el caudal ($Q=V/t$) en un tramo de longitud específica (L), manteniendo una presión hidráulica constante (H_t).

En una perforación previamente impermeabilizada hasta una profundidad definida, se acondiciona el intervalo de roca donde se efectuará el ensayo. En la parte superior de dicho tramo se instala un obturador neumático o hidráulico, a través del cual se inyecta agua a presión utilizando una bomba. La presión aplicada se controla mediante un manómetro dispuesto en la boca del sondeo, mientras que el caudal inyectado se registra mediante un contador de agua y una válvula de descarga. Este procedimiento constituye una técnica geotécnica fundamental para analizar el comportamiento hidráulico del macizo rocoso y estimar parámetros de permeabilidad y conductividad hidráulica bajo condiciones controladas.

Las mediciones se realizan aplicando cinco niveles de presión de inyección de agua.

Previo al inicio del ensayo, se establece la presión máxima a utilizar, la cual debe ser inferior a la presión de confinamiento estimada para la profundidad alcanzada en la perforación. Este criterio busca garantizar que, durante la ejecución de la prueba, no se produzcan fracturamientos adicionales en la masa rocosa como consecuencia del incremento de presión inducido por el agua.

La presión máxima está relacionada con el objetivo de la prueba, por ejemplo, para evaluar las pérdidas por infiltración en un embalse a ser creado.

La determinación de la presión máxima en el ensayo está directamente vinculada con el propósito del estudio, como es el caso de la evaluación de las pérdidas por infiltración en la zona de emplazamiento de un futuro embalse.

Para cada intervalo de presión definido, el procedimiento consiste en inyectar el volumen de agua requerido con el fin de mantener estable la presión dentro del tramo de prueba. Posteriormente, la presión es incrementada progresivamente en cada nivel, hasta alcanzar el valor máximo previamente establecido. Una vez logrado este límite, el proceso contempla la disminución gradual de la presión siguiendo los mismos niveles aplicados en las etapas anteriores. En este contexto, el ensayo se desarrolla bajo cinco estados de presión:

Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5
Bajo	Medio	Máximo	Medio	Bajo
0.50*P _{MAX}	0.75*P _{MAX}	P _{MAX}	0.75*P _{MAX}	0.50*P _{MAX}

Siendo P_{MAX} la presión máxima definida a la cual el agua debe ser inyectada.

La permeabilidad se determina con la fórmula:

$$k = \frac{Q}{2 * \pi * L * H_t} * \log_e\left(\frac{L}{r}\right)$$

Donde:

r = radio de la perforación de prueba

Habitualmente la permeabilidad se mide en "Lugeones", unidad así denominada en homenaje al geólogo Maurice Lugeon.

1 Lugeon = permeabilidad que absorbe un caudal de 1 litro por minuto, por cada metro de sondeo permeable inyectado a presión constante de 1 MPa, con un tiempo de 10 minutos.

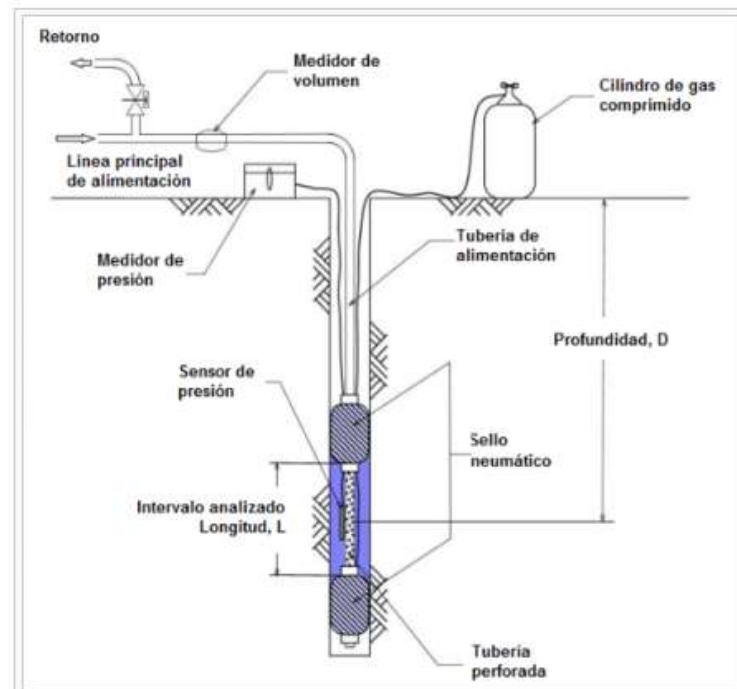


Figura 1. Ensayo lugeon.

https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_Lugeon

La prueba de presión de agua geohidráulica o packer

La prueba de permeabilidad es una prueba de campo in situ especializada, utilizado para investigar la conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad (k_i m/s) del macizo rocoso dentro de secciones de prueba discretas, a profundidades especificadas en

pozos pretaladrados. La conductividad hidráulica de un macizo rocoso se rige principalmente por la abertura, características de espaciamiento y relleno de discretos discontinuidades (incluyendo juntas, macizo rocoso, fracturas y foliaciones) y el patrón de fractura (secundaria permeabilidad) en lugar de la porosidad efectiva del propio material geológico (permeabilidad primaria).

La prueba se lleva a cabo según el estándar británico BS EN ISO 22282- partes 1 y 3.

La prueba del empacador se puede realizar con un conjunto de empacador doble, donde la prueba se realiza en secuencia en la finalización de la perforación de un pozo, o con un conjunto de empacador único, donde la prueba se lleva a cabo en la profundidad.

Progresiones durante la perforación de un pozo.

El conjunto de empacador doble o simple se utiliza para crear una sección de prueba aislada dentro del pozo: entre los dos empacadores de un conjunto de empacadores dobles (empacador base y empacador superior) y entre la base del pozo y el empacador de un solo conjunto de empacadores. La prueba implica; bombear agua en una sección aislada del pozo en cinco presiones ascendentes y descendentes en etapas. Se mide la tasa de flujo requerida para lograr cada presión, a partir de la cual se obtiene la permeabilidad media de la roca. Se establece la K (m/s).

Para lograr las presiones de prueba requeridas (totales) para las cinco etapas, la tasa de flujo del fluido inyectado en la prueba. La sección puede ser controlada por el técnico mediante el uso de válvulas para desviar el fluido de inyección de un circuito de recirculación a través de los medidores de flujo en el banco de control de flujo y en la sección de prueba.



Figura 2. Equipo de la Prueba con empaquetador.

<https://www.soils.co.uk/images/downloads/SSL-Packer-Testing-service.pdf>

Ensamble de control

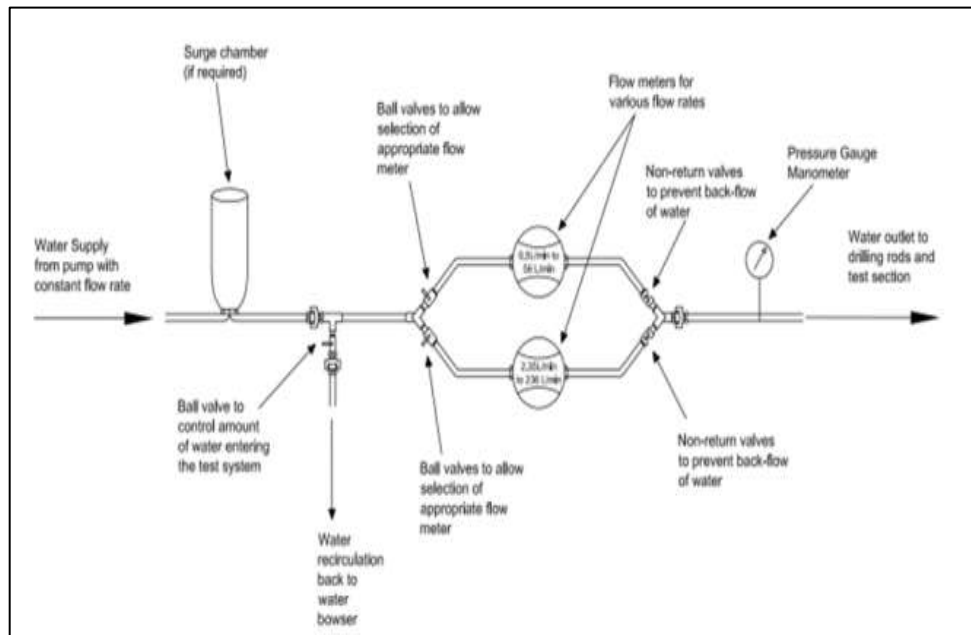


Figura 3. Gráfico del ensamble de control.

<https://www.soils.co.uk/images/downloads/SSL-Packer-Testing-service.pdf>



Figura 4. Ensamble de control Imagen

<https://www.soils.co.uk/images/downloads/SSL-Packer-Testing-service.pdf>

Ensamble de empaquetadura doble

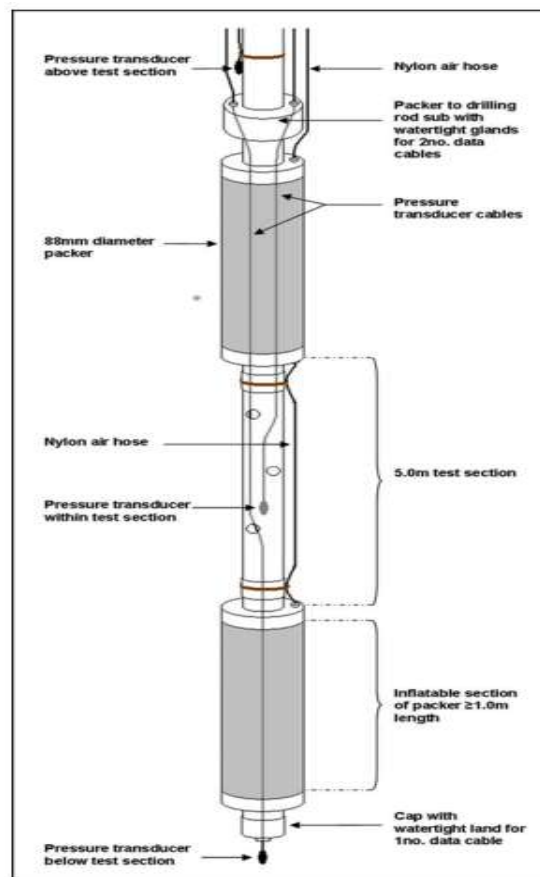


Figura 5. Ensamble doble

<https://www.soils.co.uk/images/downloads/SSL-Packer-Testing-service.pdf>

Resultados de la prueba

El tipo de régimen de flujo y la permeabilidad media representativa de la masa rocosa $k(m/s)$ para la sección de prueba se puede derivar usando el promedio caudal Q (litros/minuto) y la etapa media de sobrepresión (bar) para las cinco etapas de prueba y ecuaciones basadas en el trabajo de Hvorslev (1951).

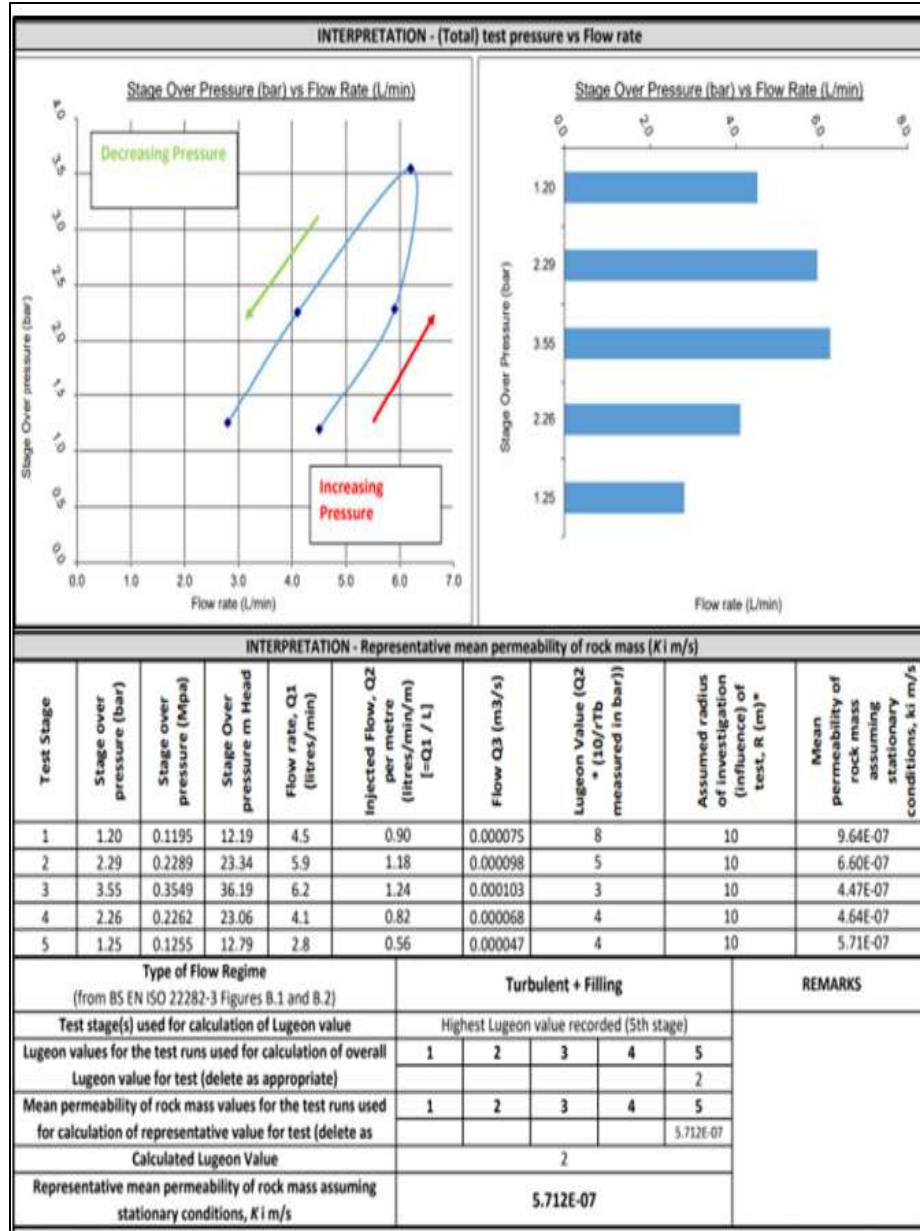


Figura 6. Resultados de prueba

<https://www.soils.co.uk/images/downloads/SSL-Packer-Testing-service.pdf>

Pruebas de packer en pozos inclinados

Un conjunto de empacador único ha sido modificado para suelos estructurados para facilitar la utilización de empacadores en un pozo inclinado.

La modificación permite que el conjunto del empacador estar en el centro del pozo, es decir, a lo largo de la línea central del pozo, la modificación funciona bien con el sistema de perforación diamantina.



Figura 7. Barel y packer

<https://www.soils.co.uk/images/downloads/SSL-Packer-Testing-service.pdf>

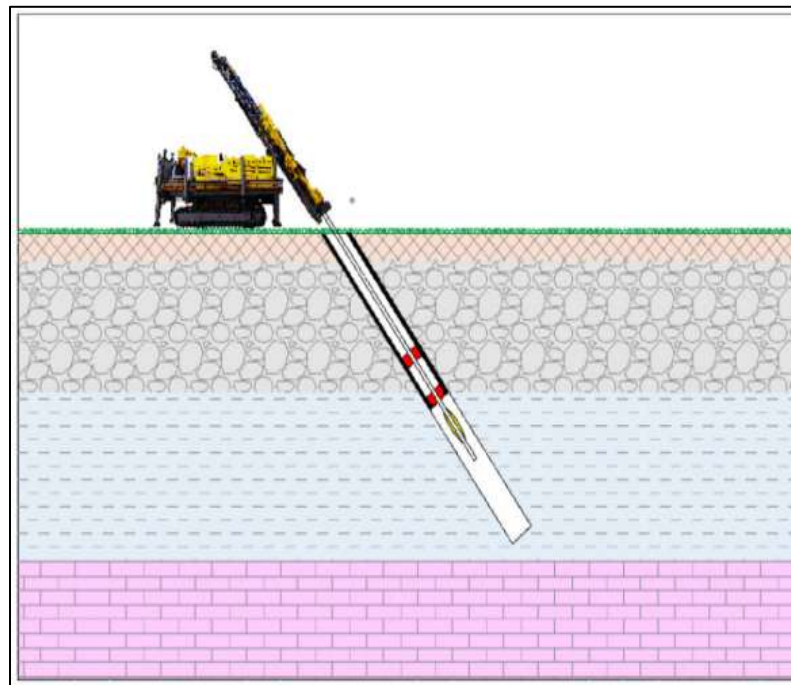


Figura 8. Prueba de empacador en perforaciones inclinadas

<https://www.soils.co.uk/images/downloads/SSL-Packer-Testing-service.pdf>

2.3. Definición de términos básicos

Permeabilidad en rocas

La permeabilidad se define como la propiedad intrínseca de una roca o de un macizo terroso que permite el paso y la circulación de agua u otros fluidos a través de su estructura. Este parámetro controla la relación existente entre la velocidad del flujo y el gradiente hidráulico aplicado, lo que condiciona el movimiento del agua dentro del medio geológico. (Cárdenas et al., 2016).

Porosidad en rocas

La porosidad corresponde a la proporción de espacios vacíos existentes dentro del volumen total de una roca, expresada generalmente en porcentaje. Este parámetro puede originarse de manera primaria, asociada a procesos de sedimentación o deposición, o de forma secundaria, producto de modificaciones diagenéticas posteriores a la formación del material. (Velásquez Urán, 2012).

Macizo

Termino usado en geotecnia para referirse a áreas rocosas cuyo núcleo está constituido de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. (Cárdenas et. 2016).

Muestra

Pedazo de roca o mineral, de un tamaño y peso adecuado a partir del cual se pueda obtener toda la información necesaria para realizar un estudio. (Cárdenas et. 2016)

Perforación Diamantina

La perforación diamantina consiste en la utilización de una broca con insertos de diamante, diseñada para atravesar formaciones rocosas de un terreno específico. Su principal ventaja radica en la obtención de testigos cilíndricos de roca o muestras de suelo,

los cuales pueden ser almacenados y analizados posteriormente, proporcionando información fundamental para la caracterización geotécnica del macizo. (Velásquez Urán, 2012)

Packer testing

Es la prueba de presión de agua geohidráulica o prueba de empaquetador. (Velásquez Urán 2012).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El ensayo Lugeon con prueba de empaquetador contribuye en la obtención de la conductividad hidráulica del macizo rocoso con perforaciones diamantinas – Tajo Norte, Mina Colquijirca, 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Los parámetros físicos del macizo rocoso si Influyen en la obtención de la conductividad hidráulica del macizo rocoso con perforaciones diamantinas.
- b) Los parámetros mecánicos del macizo rocoso si contribuyen en la obtención de la conductividad hidráulica con perforaciones diamantinas.

2.5. Identificación de variables

Variables Independientes

El ensayo Lugeon con prueba de empaquetador en perforaciones

Variables Dependientes

La conductividad hidráulica del macizo rocoso.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADOR
Independiente: El ensayo Lugeon con prueba de empaquetador	Según Velásquez Urán (2012), La prueba Lugeon, o ensayo Lugeon, es un ensayo que se hace en el campo para estimar la permeabilidad del suelo. Se aplica principalmente en rocas fracturadas. Consiste en medir el volumen del agua "V" que se consigue inyectar en el suelo durante un tiempo determinado t, en otras palabras, se mide el caudal $Q=V/t$, en un tramo de una longitud determinada L, a una presión constante Ht.	Presión aplicada por etapa (bar) - Volumen de agua inyectado (L/min). - Longitud de tramo evaluado (m) - Coeficiente Lugeon (LU).
Dependiente: La conductividad hidráulica del macizo rocoso con perforaciones diamantinas.	En las perforaciones diamantinas, la conductividad hidráulica se determina mediante ensayos de bombeo o de inyección, que consisten en aplicar un caudal constante de agua al pozo y medir la variación de la presión hidráulica en el mismo o en pozos cercanos. La conductividad hidráulica depende de las propiedades del material, como la porosidad, la permeabilidad y la tortuosidad, así como de las características del fluido, como la viscosidad y la densidad permeabilidad de un macizo rocoso.	Coeficiente de permeabilidad (m/s) - Clasificación de permeabilidad del macizo. - Identificación de zonas permeables.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El proyecto de investigación tiene las características de una investigación de tipo aplicada ya que busca resolver un problema práctico mediante el uso Lugeon para caracterizar la conductividad del macizo rocoso.

Podemos decir que el proyecto es descriptivo porque describe las características físicas y mecánicas del macizo rocos de la zona investigada y según lo manifestado por Hernández y otros, (2014, p.92) donde menciona que “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”.

Utilizando lo formulado por Lozada donde nos menciona que “La investigación Aplicada se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer necesidades concretas,

proporcionando una solución a problemas del sector social o productivo”. (Lozada, 2014, p. 35).

El proyecto es aplicado porque después de realizar la recopilación de datos en campo se realiza una interpretación y luego se formulan resultados que nos servirán para solucionar el problema de la permeabilidad en las labores mineras.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo-correlacional por que describe el comportamiento hidrogeológico del macizo e identifica la relación entre los parámetros del ensayo Lugeon y la conductividad hidráulica.

3.3. Métodos de investigación

En función a las particularidades del proyecto, se aplicó el método Analítico–Sintético, el cual consiste en desagregar el sistema en sus componentes fundamentales con el fin de evaluarlos de manera independiente. En este caso, se consideraron las propiedades geológicas y geotécnicas de los relaves, analizadas por separado, para posteriormente integrarlas y obtener una interpretación global que permita plantear una solución integral.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental – transversal, ya que no se manipulan las variables, sino que se recogen datos en un momento determinado del tiempo, a partir de ensayos realizados en campo durante las perforaciones diamantinas

3.5. Población y muestra

La población son los tramos de perforaciones donde se hayan ejecutado ensayos Lugeon completos con datos validados. Se estima una muestra de al menos 20 o 30 tramos de prueba, distribuidos en diferentes niveles y sectores del tajo.

3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos

Técnicas

- Se realiza la ubicación de los puntos de perforación diamantina.
- Se realiza los muestreos
- Se efectúa el logueo de las muestras.
- Se realiza el ensayo de Lugeon con pruebas de empaquetadura.

Instrumentos

- Empaquetador hidráulico
- Manómetros y caudalímetros
- Fichas técnicas de ensayo

Es característico en el ámbito geológico el procesamiento y análisis de datos, se toman datos en mapas geológicos y geotécnicos, para luego realizar el logueo para determinar el tipo de macizo rocoso.

Proceso

- Selección de los sondajes
- Revisión de fichas técnicas y parámetros de ensayo
- Cálculo del coeficiente Lugeon
- Conversión del coeficiente Lugeon a conductividad
- Análisis y correlación
- Elaboración de sectores e interpretación H

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Es característico en el ámbito geológico el procesamiento y análisis de datos, se toman datos en mapas geológicos y geotécnicos, para luego realizar el logueo para

determinar el tipo de macizo rocoso.

3.8. Tratamiento estadístico

- Análisis estadístico descriptivo
- Análisis correlacional entre el valor Lugeon y la conductividad hidráulica estimada
- Elaboración de gráficos comparativos y perfiles hidrogeológicos

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación se realizará tratando de no realizar ninguna actividad que cause impacto negativo al ambiente donde se encuentra la zona del proyecto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Ubicación del proyecto

El área de estudio se localiza en el distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento de Pasco. Desde el punto de vista geomorfológico, se emplaza en el límite septentrional de las Pampas de Junín, presentando altitudes medias de aproximadamente 4,180 m s.n.m. Asimismo, abarca las estribaciones iniciales situadas al norte de dichas pampas, donde se encuentran el Cerro Marcapunta y la Mina Colquijirca, alcanzando en esta zona cotas promedio cercanas a los 4,300 m.s.n.m.



Figura 9. Ubicación del proyecto

Marco Geológico Regional y Local

Geología regional

Para este acápite se está tomando la información del Ingemet y su publicación del Boletín 144 (A) de la Geología de Cuadrángulo de Cerro de Pasco de la Carta Geológica Nacional a escala 1:50,000. Dentro de esta sucesión de rocas se pueden distinguir Grupos y Formaciones:

- **Grupo Excelsior:** La secuencia litoestratigráfica está conformada predominantemente por lutitas pizarrosas de tonalidad oscura, localmente con presencia de minerales micáceos, que presentan intercalaciones subordinadas de areniscas cuarzosas en estratos delgados, generalmente inferiores a 10 cm de espesor. La base de la unidad no se encuentra expuesta en el área de estudio, mientras que su parte superior se dispone en discordancia erosiva, siendo cubierta directamente por depósitos del Grupo Mitu (Pérmico superior–Triásico inferior) o, en otros sectores, por el Grupo Pucará (Triásico superior–Jurásico inferior).

- **Grupo Mitu:** La unidad está constituida predominantemente por areniscas de color rojizo y conglomerados, cuyos clastos presentan morfologías que varían desde subredondeadas hasta angulosas, correspondiendo a fragmentos de origen volcánico, sedimentario y metamórfico. Dichos clastos se encuentran inmersos en una matriz de arenisca rojiza que les confiere cohesión y soporte.
- **Grupo Pucará:** Las unidades estratigráficas más representativas en la región central del Perú adquieren relevancia tanto por su función como metalotectos litológicos, que favorecen el emplazamiento de mineralizaciones polimetálicas asociadas a yacimientos de tipo metasomático de contacto y Mississippi Valley, como también por su importancia en calidad de rocas generadoras de hidrocarburos y, adicionalmente, como fuente de explotación en canteras de recursos no metálicos.

Geología estructural regional

Las fallas regionales controlan la evolución geodinámica de las cuencas sedimentarias, emplazamiento del magmatismo y mineralización. Para el caso del informe solo se describirá las que tienen influencia en el Distrito de Colquijirca y que se menciona a continuación:

- **Falla Cerro de Pasco:** Estuvo activa desde el Pérmico superior. Cubierta por depósitos cuaternarios donde tiene una dirección N 120° hasta llegar a Ninacaca, el cual se une con la falla Ticlacayán. También, se observa en el Tajo Raúl (Mina Cerro de Pasco), con dirección promedio de N – S.
- **Falla Atacocha – Milpo – Ninacaca:** Estuvo activa desde el Triásico. Se trata de un sistema de fallas de dirección N – S a N 165°. En el Carmen Chico, Paraíso y Laguna Papana presenta dirección N 140°. Finalmente, solo la falla ha sido reconocida mediante cartografía de campo que se proyecta hacia el sur llegando a proyectar a Ninacaca que une a las fallas Cerro de Pasco y Ticlacayán.

Geología local

- **Grupo Excelsior:** Esta unidad en su mejor exposición, se muestran restringidas al corazón del anticlinal de Cerro de Pasco y su espesor es superior a los 300 m, pero localmente afloran en la quebrada de Mishiguajanan y al Norte de Colquijirca (Condorcayan).
- **Grupo Mitu:** Conglomerados subredondeados a subangulosos. Sus componentes son de cuarcitas y cuarzo lechoso, en menor proporción filitas el cual se comporta como matriz, además, de un material arenosa hasta limosa. Esta, se presenta al NO de Colquijirca en la quebrada de Mishiguajanan, suprayaciendo en fuerte discordancia angular al Grupo Excelsior. El espesor de esta unidad es de aproximadamente 400 m. (Ángeles, 1993).
- **Grupo Pucará:** Se distingue dos facies. Una en la parte Occidental y oriental, separadas por una Falla Longitudinal (Boit, 1949; Jenks, 1951).
- **Conglomerado Shuco:** Corta a las areniscas y conglomerados del Grupo Mitu. Consiste en clastos calcáreos heterométricos de forma angulada a subredondeados. Presenta una matriz detrítica de coloración pardo-rojiza y cemento calcáreo en menor proporción. Su espesor sobrepasa los 100 m y se le atribuye un origen aluvial a esta unidad (Jenks, 1951; Ángeles, 1993).
- **Calera Inferior:** Consiste en niveles conglomerádicos calcáreos de coloración negra a blanquecina y de color rojizo que pertenece a la arenisca. También, tobáceos de color verde claro y arcillosos y limolitas de color rojo ocre. Este miembro puede alcanzar 5 m de espesor.
- **Calera Medio:** Tiene un espesor de 60 m cuya litología alcanza los 60 m de espesor. Litológicamente, son calizas mudstone de color pardo en la parte inferior. En la parte central conformada presenta calizas bioclásticas de color beige a pardo. Hacia el techo presenta calizas margosas y margas de color gris verdosas.

- **Calera Superior:** Supera 150 metros de espesor y composición litológica está conformada de la siguiente manera. En la parte inferior calizas y dolomías con fina estratificación e intercalación de milimétricos niveles arcilíticos negros bituminosos, que constituyen las denominadas dolomías varvadas, el cual contribuyen el límite superior de la mineralización Del Tajo Norte.
- **Complejo volcánico de Marcapunta:** Su emplazamiento es controlado por la falla longitudinal. Es en realidad una diatrema compuesta por brechas piroclásticas, freatomagmáticas y un conjunto de domos coalescentes o “nidados” de composición dacítica en forma de “hongos” o lacolitos que instruyen un paleorelieve. Este complejo conformado por litologías encontradas durante la perforación el cual se indica a continuación:
 - Depósitos piroclásticos;
 - Domos de dacitas superiores;
 - Criptodomos y sills de dacita;
 - Brechas;
 - Brechas freatomagmáticas;
 - Tufisitas / pebbles diques y,
 - Brechas hidrotermales.

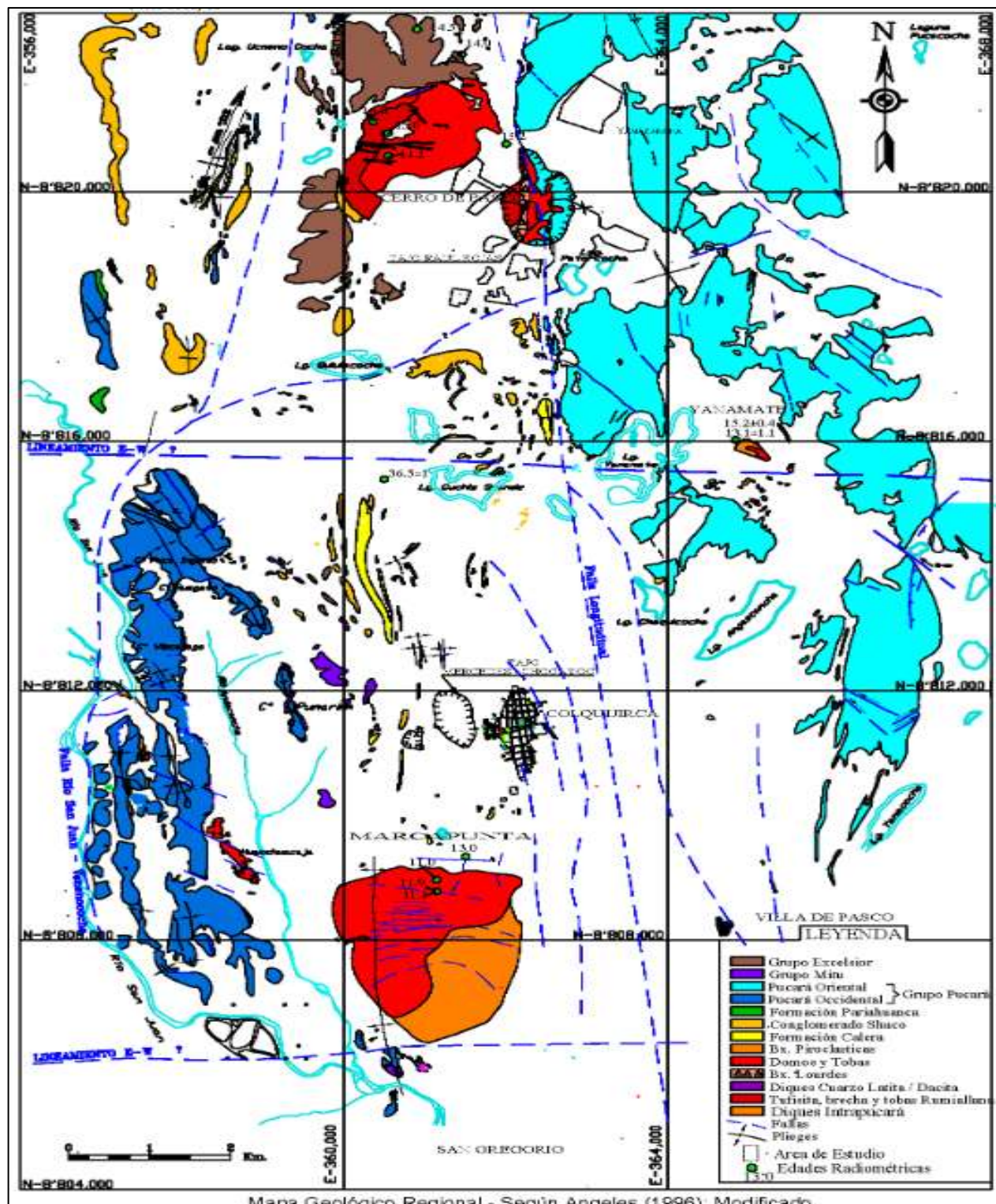
Geología estructural Local

La falla Longitudinal es la estructura más importante que controló la sedimentación del Grupo Pucará, el complejo volcánico de Cerro de Pasco y Marca Punta. Otra gran estructura paralela más al oeste es la Falla Río San Juan-Venenococha. A lo largo del tiempo, se produjo la operación multifásica de las fallas longitudinales, así en el desgarramiento lateral del Triásico, como el empuje de las grandes etapas de deformación que afectaron a la región en el Oligoceno-Mioceno y en las etapas posteriores del empuje lateral (Ángeles, 1996). También se han mapeado en el área varias fallas y dependencias de dirección NW

– SE, E-W y NE – SW, que en conjunto son importantes para la mineralización de Colquijirca y Cerro de Pasco (Ángeles, 1996).

COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA GENERALIZADA DEL DISTRITO MINERO DE COLQUIJRCA								
ERA	PERIODO	SERIE	GRUPO		LITOLOGIA GRAFICA	DESCRIPCION		
CENOZOICO	CUATERNARIO		MATERIAL FLUVIO GLACIAR			Material fluvio-glacial, aluvial.		
		TERCIARIO	MEDIO A SUPERIOR	CENTRO VOLCANICO	VOLCANICO MARCAPUNTA		Domos y lavas dentiformes a cuarzoliticas.	
	TUFO UNISH					Brechas piroclasticas, tobas y lavas		
	INFERIOR		FORMACION CALERA	MIEMBRO SUPERIOR		Dolomitas margosas, dolomitas interc. arcillas, limolitas, areniscas, chert y mantos de óxidos.		
				MIEMBRO MEDIO		Al tope arcillas, margas y calizas margosas con abundante chert. A la base calizas con rizomorfos y arcillitas verdes.		
				MIEMBRO INFERIOR		Intercalaciones arcillitas y calizas margosas, nódulos micríticos, ostracoides, bioclastos y rizomorfos. En la base caliza mudstonea margosa, sedimentos volcanoclasticos y piroclasticos (tobas ricliticas).		
			FORMACION POCOBAMBA	CONGLOMERADO SHUCO		Brecha sedimentaria de clastos calcareos sub redondeados a sub angulosos del chambara. Escasos niveles de areniscas, areniscas limosas.		
				MIEMBRO CACUAN		Arcillitas limosas, limolita roja, areniscas y brechas conglomeraticas clastos subangulares a subredondeados, cemento calcareo.		
	MESOZOICO		CRETACEO					
			JURASICO	INFERIOR	GRUPO PUCARA	PUCARA OCCIDENTAL	FM. CHAMBARA	Pucara Occidental.- Dolomitas beige, brechas intraformacionales y dolomitas secundarias.
TRIASICO		SUPERIOR	Formación Chambara.- Calizas mudstonea nodulares, intercalaciones de calcarenitas bioclasticas.					
PALEOZOICO	PERMICO SUPERIOR		GRUPO MITU	ARENISCA MITU		Areniscas rojas con lentes de conglomerados.		
		CONGLOMERADO MITU			Conglomerados y brechas de color gris oscuro.			
	DEVONICO		GRUPO EXCELSIOR			Fleasas, ólitas y cuarolitas.		

Figura 10. Columna litoestratigráfica (INGEMMET)



Programa de perforación

Aspectos generales

Las investigaciones geotécnicas e hidrogeológicas de llevaron a cabo mediante las perforaciones diamantinas, ensayos de permeabilidad, ensayos de carga puntual, muestreo de suelo, roca para laboratorio de mecánica de rocas y cumplir con el Plan de Relogeo.

Línea	Diámetro	Diámetro	Características Casing
	Sondeo (mm)	Testigos (mm)	(mm)
HQ3	95.6	63.5	HW
NQ3	75.3	47.6	122

Tabla 1. Características de diámetros de perforación

Sector Marcapunta Norte

Se programó dos sondeos geotécnicos de 200 metros de profundidad en el sector Marcapunta denominados Geotech_UG_005 y Geotech_UG_001, el cual fue un taladro positivo y el otro en negativo, respectivamente. Estas perforaciones fueron diamantinas, con diámetro HQ3 orientados con un equipo de la firma DEVICOR. Estos taladros permitirán complementar información obtenida de estudios anteriores.

Ubicación	Máquina	Sondaje	Profundidad propuesta (m)	Profundidad final (m)	Coordenadas propuestas, WGS 84				Dip propuesto	Coordenadas finales, WGS 84				
					Este	Norte	Elevación (m.s.n.m.)	Azmut propuesto		Este	Norte	Elevación (m.s.n.m.)	Azmut final	Dip final
Subterránea	MUKY H400	GEOTECH_UG_005	200.00	200.30	361132.8	8808493.4	4126.9	210	50	361369.2798	8808858.142	4179.5605	210	50
	MUKY H400	GEOTECH_UG_001	200.00	200.15	361507.8	880639.3	3887	45	-30	361732.1375	8806875.977	3935.5726	45	-75
TOTAL (m)			400.00	400.45										

Tabla 2. Coordenadas de las perforaciones geotécnicas subterráneas, RAMPERÚ 2021

Sector Tajo Norte

Para entender las características del geotécnicas e hidrogeológicas superficial del Tajo Norte, se ejecutó seis (6) sondajes denominados Geotech_PO_001, Geotech_PO_002, Geotech_PO_003, Geotech_PO_006, Geotech_PO_007 y Geotech_PO_008. Estas perforaciones fueron diamantinas, con diámetro HQ3 orientados con un equipo de la firma DEVICOR. Estos taladros permitirán complementar información obtenida de estudios anteriores.

Ubicación	Máquina	Sondaje	Profundidad propuesta (m)	Profundidad final (m)	Coordenadas propuestas, WGS 84			Azimut propuesta	Dip propuesta	Coordenadas finales, WGS 84			Azimut final	Dip Final
					Este	Norte	Elevación (m.s.n.m.)			Este	Norte	Elevación (m.s.n.m.)		
Superficial	UDR650	GEOTECH_OP_001	200.00	220.20	361248	8809984	4318.7	270	-60	361225.601	8810001.731	4323.729	270	-65
	UDR650	GEOTECH_OP_002	110.00	130.45	361160	8809570	4272.8	270	-70	361149.829	8809583.794	4275.623	270	-70
	H600	GEOTECH_OP_003	250.00	210.30	361464.6	8809043.2	4229.2	210	-60	361492.8118	8809057.375	4219.6989	210	-60
	UDR650	GEOTECH_OP_006	300.00	300.20	360721.8	8808605.9	4358	60	-60	360721.8	8808605.916	4361.423	60	-65
	H600	GEOTECH_OP_007	200.00	180.00	360717	8809003	4298.6	100	-60	360797.874	8808991.565	4302.577	100	-60
	UDR650	GEOTECH_OP_008	120.00	130.30	360623	88039646	4254.6	60	-60	360688.0384	8809677.538	4289.490767	60	-60
TOTAL (m)			1180.00	1171.45										

Tabla 3. Coordenadas de las perforaciones geotécnicas superficiales, RAMPERÚ 2021

Ubicación de los sondajes

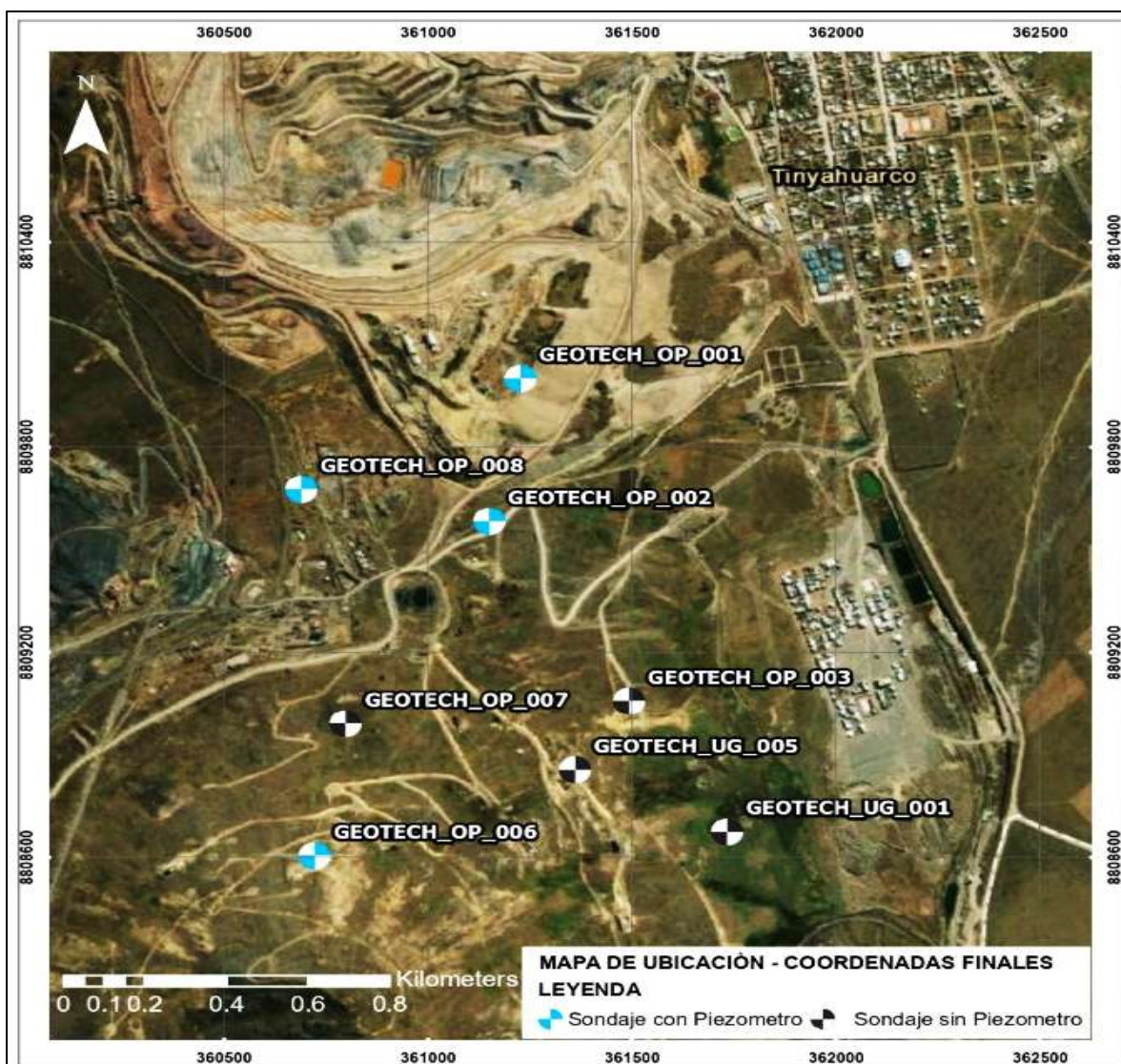


Figura 12. Mapa de ubicación de sondajes geotécnicos / hidrogeológicos.

Geología de los sondajes



PROYECTO: EL BROCAL
 SONDAJE N°: GEOTECH UG-001
 NORTE: 8808675.977
 ESTE: 361732.138
 COTA: 3935.573

AZIMUT: 45°
 INCLINACIÓN: -75°
 PROFUNDIDAD: 200.15
 MAQUINA: MUKY H400

INICIO: 44342
 TERMINO: 44356
 EMPRESA: RAM PERU
 DESCRITO POR: Marco Antonio Panes Limpe



SERIE	UNIDAD	MODELO LITOLÓGICO 2021		Litología logueo SMEB			INTERVALO PERFORADO	DESCRIPCIÓN GEOLOGICA
		Code	Litología	Code	Abrev	Litología		
MIOCENO SUPERIOR	COMPLEJO VOLCANICO MARCAPUNTA		Complejo Marcapunta (miocénicos)	200	DAPO	Dacitas porfíricas	De 0.00 m a 21.80 m	Dacitas porfíricas con presencia de cristales notables de sanidina euhedrales y subhedrales de dimensiones centimétricas y milimétricas. La dacita se muestra fresca o con leve alteración filica.
							De 21.80 m a 63.30 m	Dacitas porfíricas con alteración argílica avanzada en la cual se aprecia por tramos sílice oquerosa. Asimismo por tramos ocurrencias de alunita reemplazando a los fenocristales de sanidina.
EOCENO INFERIOR	MIEMBRO SHUCCO	60_Conglomerado_Shucco	Conglomerado Shucco	301	CONG	Conglomerados	De 63.30 m a 68.45 m	Secuencia conglomeradica y brechosa correspondiente a la formación shucco. Este se muestra polimictica, con predominancia de clastos de rocas carbonatadas y ocasionales líticos de areniscas y cuarzo lechoso. Se intercalan con estas unidades conglomeradicos, delgados horizontes tobaceos de textura fina.
MIOCENO SUPERIOR	COMPLEJO VOLCANICO MARCAPUNTA		Complejo Marcapunta (miocénicos)	206	BXFM	Brecha freatomagmatica	De 68.45 m a 68.70 m	Dique delgado de brecha freatomagmatica, polimictica constituido por líticos milimétricos y centimétricos de rocas carbonatadas, areniscas, dacita en matriz detritica de textura areniscosa.
EOCENO INFERIOR	MIEMBRO SHUCCO	60_Conglomerado_Shucco	Conglomerado Shucco	301	CONG	Conglomerados	De 68.70 m a 69.85 m	Horizonte conglomeradico correspondiente a la Formación Shucco similar al tramo de 63.30 m a 68.45 m de profundidad.
MIOCENO SUPERIOR	COMPLEJO VOLCANICO MARCAPUNTA		Complejo Marcapunta (miocénicos)	206	BXFM	Brecha freatomagmatica	De 69.85 m a 80.70 m	Brecha Freatomagmatica polimictica en la cual se identifica líticos de rocas carbonatadas (Calizas, Dolomias) correspondientes a la Formación Calera o Formación Shucco, areniscas correspondientes al Grupo Mitu, cuarcitas y cuarzo lechoso correspondiente al Grupo Excelsior, además de líticos de dacitas de forma irregular tipicos de estas Brechas. Se tiene como matriz de esta unidad relictos finos (en el rango de areniscas) de todos los líticos mencionados anteriormente.
EOCENO INFERIOR	MIEMBRO SHUCCO	60_Conglomerado_Shucco	Conglomerado Shucco	301	CONG	Conglomerados	De 80.70 m a 82.25 m	Horizonte conglomeradico correspondiente a la Formación Shucco similar al tramo de 63.30 m a 68.45 m de profundidad.
MIOCENO SUPERIOR	COMPLEJO VOLCANICO MARCAPUNTA		Complejo Marcapunta (miocénicos)	206	BXFM	Brecha freatomagmatica	De 82.25 m a 82.45 m	Dique delgado de brecha freatomagmatica, polimictica constituido por líticos milimétricos y centimétricos de rocas carbonatadas, areniscas, dacita en matriz detritica de textura areniscosa.

EOCENO INFERIOR	MIEMBRO SHUCCO	60_Conglomerado_Shucco	Conglomerado Shucco	301	CONG	Conglomerados	De 82.45 m a 94.75 m	Secuencia conglomeradica y brechosa correspondiente a la formación shucco. Este se muestra polimictica, con predominancia de clastos de rocas carbonatadas y ocasionales liticos de areniscas y cuarzo lechoso. Se intercalan con estas unidades conglomeradicos, delgados horizontes tobaceos de textura fina.
MIOCENO SUPERIOR	COMPLEJO VOLCANICO MARCAPUNTA		Complejo Marcapunta (miocénicos)	206	BXFM	Brecha freatomagmatica	De 94.75 m a 95.05 m	Dique delgado de dacita porfirítica, similar a la interceptada de 0.00 m a 21.80 m de profundidad.
EOCENO INFERIOR	MIEMBRO SHUCCO	60_Conglomerado_Shucco	Conglomerado Shucco	301	CONG	Conglomerados	De 95.05 m a 141.45 m	Secuencia conglomeradica y brechosa correspondiente a la Formación Shucco, similar a la interceptada entre los 82.45 m a 94.75 m de profundidad, que se muestra alterada por silicificación intensa de liticos y matriz. Los horizontes tobaceos muestran silicificación argílica intensa.
PERMICO SUPERIOR	GRUPO MITU	70_Mitu	Congl Mitu	300	AREN	Arenisca	De 141.45 m a 156.40 m	Secuencia areniscosa correspondiente al Grupo Mitu, de colores gris claro a gris blanquecino la cual se muestra craquelada a brechada por tramos, con ocurrencia de pirita como relleno intraclasto. Esta arenisca se muestra con silicificación intensa.
				301	CONG	Conglomerados	De 156.40 m a 163.75 m	Secuencia Microconglomeradica polimictica correspondiente al grupo Mitu, constituido por liticos de cuarcitas, areniscas, cuarzo lechoso, matriz soportados la cual se muestra en el rango de la arenisca gruesa a fina. Toda esta unidad muestra silicificación intensa de alteración argílica avanzada.
				300	AREN	Arenisca	De 163.75 m a 165.15 m	Secuencia areniscosa correspondiente al Grupo Mitu de colores gris claro a gris blanquecino la cual se muestra con silicificación moderada.
MIOCENO SUPERIOR	COMPLEJO VOLCANICO MARCAPUNTA			200	DAPO	Dacitas porfiríticas	De 165.15 m a 165.45 m	Dique delgado de Dacita porfirítica similar a la interceptada de 94.75 m a 95.05 m de profundidad. Muestra alteración filica.
PERMICO SUPERIOR	GRUPO MITU			300	AREN	Arenisca	De 165.45 m a 168.90 m	Secuencia areniscosa correspondiente al Grupo Mitu de colores gris claro a gris blanquecino la cual se muestra con silicificación moderada.
MIOCENO SUPERIOR	COMPLEJO VOLCANICO MARCAPUNTA			200	DAPO	Dacitas porfiríticas	De 168.90 m a 180.00 m	Dacita porfirítica con marcada ocurrencia de fenocristales de sanidina milimetricos y centimetricos, con alteración filica.
							De 180.00 m a 184.00 m	Dacita porfirítica en la cual se observa el transito de alteración filica a alteración propilítica.
							De 184.00 m a 194.40 m	Dacita porfirítica con marcada ocurrencia de fenocristales de sanidina milimetricos y centimetricos, con alteración propilítica.
PERMICO SUPERIOR	GRUPO MITU			309	LIMO	Limolitas	De 194.40 m a 200.15 m	Limolitas correspondientes al Grupo Mitu, de colores gris verdoso, muy deleznales por tramos.

Tabla 4. Taladro Geotech UG 001



PROYECTO: EL BROCAL
 SONDAGEN: GEOTECH UG 005
 NORTE: 8808856.142
 ESTE: 361359.277
 COTA: 4179.561

AZIMUT: 210°
 INCLINACIÓN: 50°
 PROFUNDIDAD: 200.3
 MAQUINA: MUKYH400

INICIO: 6/05/2021
 TERMINO: 20/05/2021
 EMPRESA: RAM PERU
 DESCRITO POR: Marco Antonio Panéz Limpe



SERIE	UNIDAD	MODELO LITOLÓGICO 2021		Litología logueo SMEB			INTERVALO PERFORADO	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA
		Códe	Litología	Códe	Abrev	Litología		
				200	DAPO	Dacitas porfíritica	De 0.00 m a 5.60 m	Dacitas de textura porfíritica con cristales anhedral y subhedral de dimensiones centimétricas a milimétricas de sanidina. La unidad presenta alteración filica.
				206	EXFM	Brecha freatomagmática	De 5.60 m a 6.45 m	Brecha freatomagmática que a su vez se encuentra intruido por dique de guijarros hacia la base de la estructura al contacto con los aglomerados.
				203	AGLO	Aglomerado	De 6.45 m a 22.95 m	Aglomerados volcánicos conformados por litos de formas angulosas de tamaños desde 1 cm hasta 20 cm monomicticos y ocasionalmente contienen litos de basamento.
				200	DAPO	Dacitas porfíritica	De 22.95 m a 29.40 m	Dacita porfíritica con cristales de sanidina de dimensiones milimétricas y centimétricas. La unidad presenta alteración filica.
				206	EXFM	Brecha freatomagmática	De 29.40 m a 30.50 m	Brecha freatomagmática constituida por clastos carbonatados, parcialmente silicificados, enlazados entre el contacto de la dacita suprayacente y el aglomerado infrayacente (clastos carbonatados de calizas y dolomías, limoarcillita).
				203	AGLO	Aglomerado	De 30.50 m a 34.00 m	Aglomerados piroclástico con textura clasto soportada, tiende a ser monomictico.
				202	DEPI	Depositos piroclásticos	De 34.00 m a 37.90 m	Colada piroclástica polimictica de textura clasto soportada hacia su tope en su base contiene litos de 2 mm a 1 cm de diámetro y del tope hacia la mitad de la secuencia los mismos son de dimensiones de 1 mm a 3 mm. Se muestra granodecreciente y granocreciente, del tope al medio y del medio al tope de la secuencia respectivamente.
				203	AGLO	Aglomerado	De 37.90 m a 46.50 m	Aglomerado volcánico porfídico con predominancia de litos de dacita de tamaño desde 2 cm hasta 40 cm de formas angulosas generalmente. Presenta textura clasto soportada en los tramos donde predomina la dacita y matriz soportada donde mas predomina. Los litos son de dimensiones desde 2 mm hasta 1.5 cm. Se evidencia la alteración filica en la mitad de la secuencia.
				200	DAPO	Dacitas porfíritica	De 46.50 m a 50.30 m	Dacita de grano fino con textura fluidal por tramos, así mismo se muestra craquelada por tramos con ocurrencia de pirita escasamente diseminada, se evidencia alteración filica.
				202	DEPI	Depositos piroclásticos	De 50.30 m a 57.05 m	Colada piroclástica matriz soportada con ocurrencias de dos secuencias de textura granocreciente, cuyos litos tienen dimensiones de 3 mm hasta 5 mm, esta matriz esta constituido por polvo de roca del basamento.
							De 57.05 m a 64.50 m	Colada piroclástica gris clara constituida por intercalación de tobas de grano grueso, lapilli, surge polimicticos que incluye litos de basamento (Shuco, Calera, Mitu) y dacíticos. Los tramos tobaceos y lapillíticos son de textura matriz soportados.
							De 64.50 m a 69.60 m	Secuencia constituida por coladas piroclásticas de coloración gris medio, tobas gruesas y tobas de lapilli polimicticas. Los tramos aglomerados que se muestran hacia el tope y hacia la mitad de la secuencia con textura clasto soportada, con predominancia de litos dacíticos de 1.5 cm a 10 cm. Las coladas piroclásticas constituidas mayormente por litos del basamento (de 3 mm a 3 cm). Los tramos de tobas lapilli muestran matrices derivadas del basamento y de las dacitas.
							De 69.60 m a 73.70 m	Tobas gruesas a tobas de lapilli, que engloban ocasionales litos del basamento y de dacita, de diámetros desde 5 mm hasta 3 cm. Presenta textura de matriz soportada de origen dacítico.

MICROSUPERIOR	CONEDVOLCANCOMARAPUZA	c0_Dac_porf	Domo Dacítico	201	TOBA	Tobas	De 73.70 m a 78.80 m	Intercalación de unidades surge con tobas de lapilli, ambas polimícticas, constituidas por líticos del basamento y dacitas, con morfologías subredondeadas en los tramos de surge. Presenta ocasionales fragmentos de bombas dacíticas (de 6 cm hasta 20 cm).
							De 78.80 m a 86.95 m	Intercalación de Tobas gruesas y tobas de lapilli de color gris medio, con líticos del basamento con mayor proporción y dacíticos en menor proporción presenta una textura matriz soportada.
				312	EX	Brechas	De 86.95 m a 87.60 m	Brecha piroclástica polimíctica constituida por líticos de dacita y del basamento, predominantemente angulosos de dimensiones de 1 cm a 5 cm.
				202	DEPI	Depositos piroclásticos	De 87.60 m a 91.25 m	Tobas lapilli de color gris medio, polimíctica. Presenta intercalaciones con delgados horizontes de coladas piroclásticas hacia su tope con predominancia de líticos del basamento.
							De 91.25 m a 94.60 m	Coladas piroclásticas polimícticas constituidas por clastos subangulosos con ligera imbricación paralela al sentido de la depositación, con líticos de 2 cm a 4 cm. Los líticos muestran una composición de 50 % de basamento y 50 % de dacitas. Se intercalan con delgados horizontes de toba de lapilli.
				201	TOBA	Tobas	De 94.60 m a 106.80 m	Intercalación de tobas gruesas y tobas de lapilli, con ocasional ocurrencia de delgados horizontes de surge con ligera imbricación de sus componentes hacia el sentido de la depositación, predominan líticos del basamento.
				312	EX	Brechas	De 106.80 m a 111.35 m	Surge polimíctico constituido por líticos del basamento y dacíticos, con textura matriz soportada, cuyos clastos se muestran subredondeados.
				201	TOBA	Tobas	De 111.35 m a 116.25 m	Intercalación de tobas gruesas, tobas de lapilli y surge, con alteración propilítica en los clastos de dacitas, de composición polimíctica, con gradación en los horizontes tobaceos, con dimensiones de sus líticos desde 0.5 cm hasta 3.0 cm.
							De 116.25 m a 120.00 m	Tobas gruesas y tobas de lapilli, con predominancia de líticos del basamento de dimensiones desde 1 mm a 10 mm. Presenta textura matriz soportada, con líticos dacíticos en menor proporción.
							De 120.00 m a 128.20 m	Tobas lapilli con marcada presencia de bombas de dacita, con tendencia monoclínica cuyos clastos son de dimensiones desde 0.5 cm a 15 cm, con intercalación de delgados horizontes de coladas piroclásticas cuyos líticos se muestran subredondeados, con evidencia de alteración propilítica en los líticos dacíticos.
				200	DAPO	Dacitas porfírica	De 128.20 m a 131.00 m	Unidad dacítica en su base que en su parte media presenta xenolitos de las tobas de lapilli. Asimismo presenta dacitas craqueladas por tramos con de relleno detrítico en las cavidades y fisuras intracústica.
							De 131.00 m a 138.00 m	Dacitas porfíricas craqueladas por tramos, cuyo relleno intradasto se muestra de textura fina (brechamiento magmático). Con alteración filica en las dacitas, las cuales muestra marcada ocurrencias de sericita.
							De 138.00 m a 161.90 m	Dacitas porfíricas masivas, con ocasional craquelamiento por tramos, con ocurrencia de fenocristales de sanidina de hasta 5 cm. Toda la unidad muestra alteración filica.
							De 161.90 m a 188.00 m	Dacitas porfíricas con alteración filica, cortada en varios tramos por diques de guijarros (con espesores desde 6 cm a 15 cm) y tufisitas (con espesores desde 2 cm a 3 cm), constituidos ambos mayormente por líticos de la propia dacita y en menor proporción por líticos del basamento. Con alteración filica desde 181.00 m de profundidad hasta su base.
				202	DEPI	Depósitos piroclásticos	De 188.00 m a 188.70 m	Coladas piroclásticas que se intercalan con delgados horizontes de surge, polimícticas de clastos subredondeados con tufisita en su base. Presenta textura clasto soportada en su tope y matriz soportada en su base con mayor contenido de líticos del basamento.
							De 188.70 m a 198.50 m	Dacitas porfíricas cortadas por diques de guijarros y tufisita de 6 cm hasta 15 cm de espesor, con ocasionales tramos de tobas gruesas gris dadas. Se evidencia alteración propilítica con menor intensidad en su base.
				312	EX	Brechas	De 198.50 m a 200.30 m	Brecha piroclástica de dacita con líticos de tamaños desde 5 mm hasta 7 cm, englobados en una matriz fina de líticos angulosos a subangulosos con alteración propilítica. En la mitad de la secuencia presenta coladas piroclásticas con líticos del basamento (de dimensiones de hasta 10 cm). Presenta textura matriz soportada en los tramos brechados y clasto soportada en las coladas piroclásticas.

Tabla 5. Taladro Geotech_UG_00



PROYECTO:
SONDA EN:
NORTE
ESTE
COTA

EL BROCAL
GEOTECH OP 001
8810001.731
361225.601
4323.729

AZIMUT:
INCLINACIÓN:
PROFUNDIDAD:
MAQUINA:

270°
-65
200.2
UDR-650

INICIO:
TERMINO:
EMPRESA:
DESCRITO POR:

28/05/2021
15/06/2021
RAMPERU
Marco Antonio Páez Limpe



MODELO LITOLÓGICO 2021		Litología logueo SNEB				INTERVALO PERFORADO	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA
SERIE	UNIDAD	Code	Litología	Code	Abrev		
HOLOCENO	COLUMNA ALVAL		Suelo	401	QS	Cobertura/Suelo	De 0.00 m a 81.55 m
							Material cuaternario artificial (botadero) en el cual se identifican bloques y bolones de rocas carbonatadas y chert englobados en matriz arcillosa, limosa y arenosa.
EOCENO INFERIOR	CALERA SUPERIOR	10_Calera_Sup	Calera superior	303	CLZA	Calizas	De 81.55 m a 93.10 m
							Intercalación de calizas de textura mudstone de colores gris medio, con delgados horizontes de margas pardo claras, estas últimas tienen un espesor desde 20 cm hasta 80 cm. Se tienen nodulos de chert entre 85.55 m a 85.90 m de profundidad. Toda la secuencia presenta venillas de calcita y en oquedades de las calizas se presenta en agregados cristalinos diminutos.
							De 93.10 m a 102.05 m
							Calizas de textura mudstone intercalada con delgados horizontes tobaceos y limoarcillíticos hacia el tope de la secuencia. Las tobas se ubican entre los 93.15 m a 93.85 m de profundidad, seguidos de los tramos limoarcillíticos gris oscuros (con espesores de hasta 20 cm). Se aprecian ocurrencias de calcita en venillas de espesores de 1 mm a 5 mm.
				305	CLVA	Caliza varvada	De 102.05 m a 104.30 m
							Calizas varvadas de color gris medio que muestran ocurrencias de calcita como agregados concordantes a la estratificación.
				303	CLZA	Calizas	De 104.30 m a 121.30 m
							Intercalaciones de calizas mudstone de color gris medio, con margas de color pardo amarillento (de espesores de 5 cm a 15 cm) y delgados horizontes de dolomías hacia la base de la secuencia, con espesores de 1 m de espesor que contienen nodulos de chert. Se aprecia en la secuencia ocurrencias de venillas de calcita de 1 mm a 1 cm de espesor.
				305	CLVA	Caliza varvada	De 121.30 m a 123.90 m
							Calizas de incipiente textura varvada de color gris medio. En su tope contiene tobas de 10 cm espesor, las limoarcillitas muestran espesor milimétrico. Toda la secuencia se muestra cortada por venillas de calcita.
				303	CLZA	Calizas	De 123.90 m a 127.60 m
							Calizas intercaladas con delgados tramos margosos. Presenta vetileo de calcita de espesores milimétricos. Asimismo se intercala con delgados horizontes de limoarcillíticos gris oscuro de 1 cm a 2 cm de espesor.
				304	DOLO	Dolomías	De 127.60 m a 131.10 m
							Intercalaciones de dolomías con calizas, ambas con presencia de nodulos de chert. Se tiene un delgado nivel de bioturbación de 133.00 cm a 133.10 cm rellenos por calcita. Asimismo contiene la secuencia delgados tramos de margas gris amarillentas y ocasionales horizontes de limoarcillitas de 5 cm de espesor.
				310	LIAR	Limoarcillitas	De 131.10 m a 135.25 m
							Intercalación de calizas con limoarcillitas, ambas de espesores delgados.
				304	DOLO	Dolomías	De 135.25 m a 138.05 m
							Dolomías gris amarillentas de textura masiva fina.
							De 138.05 m a 141.75 m
							Dolomías gris amarillentas claras intercaladas con delgados horizontes limoarcillíticos de color gris medio, con ocurrencias ocasionales de nodulos de chert.
				306	DLVA	Dolomías varvadas	De 141.75 m a 146.90 m
							Dolomías gris parduscas de textura varvada, que se intercala con delgados horizontes de limoarcillitas gris oscuras.
EOCENO INFERIOR	CALERA MEDIO	20_Calera_Mid	Calera medio	303	CLZA	Calizas	De 146.90 m a 151.80 m
							Secuencia constituida por calizas gris amarillentas de textura oquerosa, la cual se intercala con horizontes limoarcillíticos gris medio de similar espesor (20 cm), contiene la unidad nodulos de chert. Asimismo ocurrencias de calcita como agregados concordantes a la estratificación.
				306	DLVA	Dolomías varvadas	De 151.80 m a 153.15 m
							Dolomías varvadas intercaladas con delgados niveles limoarcillíticos gris oscuros.
				201	TOBA	Tobas	De 153.15 m a 153.90 m
							Toba gris blanquecina, redepositada, que muestra gradación grano decreciente por tramos.
				306	DLVA	Dolomías varvadas	De 153.90 m a 156.40 m
							Dolomías varvadas intercaladas con delgados horizontes limoarcillíticos gris oscuros.
				307	MARG	Margas	De 156.40 m a 157.05 m
							Marcador estratigráfico UMVS constituido por margas gris azuladas a los topes de la misma, tobaceas de grano grueso en medio de la misma. Separa la Formación Calera Superior de la Formación Calera Medio.
				306	DLVA	Dolomías varvadas	De 157.05 m a 158.25 m
							Dolomías varvadas pardo grisáceas claras, que se intercalan con delgados horizontes de limoarcillitas gris oscuras a negras.
				310	LIAR	Limoarcillitas	De 158.25 m a 158.40 m
							Limoarcillitas gris oscuras a pardo grisáceas.
				201	TOBA	Tobas	De 158.40 m a 158.75 m
							Marcador de mineralización, toba gruesa gris clara.
				304	DOLO	Dolomías	De 158.75 m a 167.40 m
							Dolomías gris pardo oscuras, intercaladas con margas de color gris oscuras. Presenta niveles de tobas gris claras de similar potencia (10 cm de espesor).
				307	MARG	Margas	De 167.40 m a 168.05 m
							Margas de color gris oscuras y amarillos ocre.
				306	DLVA	Dolomías varvadas	De 168.05 m a 169.70 m
							Dolomías varvadas color gris amarillentas con inclusiones de calcita que ocurre como agregados granulares concordantes a la estratificación.
				310	LIAR	Limoarcillitas	De 169.70 m a 174.80 m
							Limoarcillitas gris verdosas oscuras masivas al tope de la secuencia, intercalados con delgados tramos dolomíticos varvados en el medio y gris oscuras a negras también masivas a la base de la unidad.
				304	DOLO	Dolomías	De 174.80 m a 181.40 m
							Dolomías gris pardos claras, intercaladas con limoarcillitas gris oscuras a negras. Contienen ocasionales tramos tobaceos gris claros (con espesores de 5 cm a 10 cm).
				306	DLVA	Dolomías varvadas	De 181.40 m a 185.10 m
							Dolomías gris pardos claras, varvadas por tramos, intercalados con limoarcillitas gris oscuras de 1 cm a 5 cm de espesor.
				304	DOLO	Dolomías	De 185.10 m a 188.70 m
							Dolomías gris claras intercaladas con horizontes de limoarcillitas gris pardas, que tienen espesores desde 5 cm a 20 cm.
				304	DOLO	Dolomías	De 188.70 m a 196.75 m
							Dolomías gris pardas intercaladas con ocasionales horizontes de limoarcillitas de espesor milimétrico y centimétrico a la base de la secuencia.
				304	DOLO	Dolomías	De 196.75 m a 200.20 m
							Dolomías masivas intercaladas con ocasionales horizontes de limoarcillitas. Contiene nodulos de chert y ocurrencias de calcita como venillas y en oquedades como geodas y drusas.

Tabla 6. Taladro Geotech OP 001



PROYECTO: EL BROCAL
 SONDAGEN°: GEOTECH_OP_006
 NORTE: 8808605.915
 ESTE: 360721.8
 COTA: 4361.423

AZIMUT: 60°
 INCLINACIÓN: -65
 PROFUNDIDAD: 300.2
 MAQUINA: UDR-650

INICIO: 10/07/2021
 TERMINO: 17/07/2021
 EMPRESA: RAM PERU
 DESCRITO POR: Marco Antonio Panéz Limpe



SERIE	UNIDAD	MODELO LITOLÓGICO 2021		Litología logeo SMEB			INTERVALO PERFORADO	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA
		Code	Litología	Code	Abrev	Litología		
HOLOCENO	COLUMO ALVAL	Suelo	Suelo	401	QS	Cobertura/Suelo	De 0.00 m a 21.90 m	Sedimentos cuaternarios limoarcillosos y limoarenosos de color naranja amarillento oscuro.
MIOCENO SUPERIOR	COMPLEJO VOLCANICO MARCAPUNTA				DAPO	Dacita porfírica	De 21.90 m a 29.50 m	Dacitas meteorizadas impregnadas con limoarcillas en casi la totalidad de la roca, pero se conserva la textura original.
					DAPO	Dacita porfírica	De 29.50 m a 47.75 m	Dacitas porfíricas gris claras. Por tramos impregnadas con óxidos por percolación de aguas meteoricas por el fracturamiento de la roca madre. Muestran tambien por tramos textura craquelada que tiene relleno de py y cloritas en matriz de dacita.
					DAPO	Dacita porfírica	De 47.75 m a 58.50 m	Dacitas porfíricas muy fracturadas, impregnadas por limonitas por percolación de aguas meteoricas. Se preserva la textura original de la roca que muestra meteorización moderada.
					DAPO	Dacita porfírica	De 58.50 m a 59.75 m	Tramo de roca fracturada por ramamiento. Con marcada impregnación de limonitas desde la mitad de la secuencia hasta su base.
					DAPO	Dacita porfírica	De 59.75 m a 63.20 m	Dacita porfírica similar a los tramos suprayacentes con leve impregnación de óxidos en secuencias de fracturamiento.
					DAPO	Dacita porfírica	De 63.20 m a 70.25 m	Dacita secundaria emplazada como dique. Muestra por tramos textura microcraquelada y color gris olivo oscuro. Tambien muestran segregación parcial de sus componentes. Tambien tiene alteración filica insipiente en la matriz de la roca y propiliticos en tramos con vetilleo.
PERMICO SUPERIOR	GRUPO MITU				DAPO	Dacita porfírica	De 70.25 m a 73.70 m	Xenolito limolítico y limoarcílico correspondiente al Grupo Mitu, englobado en la dacita secundaria descrita en la unidad suprayacente. Se muestra intensamente craquelada y alterada. Contiene sulfuros (py) hacia el tope de la unidad como diseminaciones y agregados cristalinos diminutos.
					DAPO	Dacita porfírica	De 73.70 m a 79.00 m	Dacita porfírica con alteración filica moderada, con textura de segregación magmatica por tramos. Corresponde también a la dacita secundaria.
					DAPO	Dacita porfírica	De 79.00 m a 101.10 m	Dacitas porfíricas gris olivo claro, con alteración propilitica moderada. Muestran cristales centimetricos de sanidinas ocasionalmente.
					DAPO	Dacita porfírica	De 101.10 m a 111.90 m	Dacita porfírica de alteración mixta (tramo de transito entre alteración filica y alteración propilitica). Muy fracturadas por tramos. Contiene sericita como alteración de micas y plagioclasas.
					DAPO	Dacita porfírica	De 111.90 m a 128.45 m	Dacitas porfíricas gris muy claras, con leve alteración filica. Contienen diseminación leve de py. A la base de la unidad se muestra disgregable el contacto con la unidad infrayacente.
					DAPO	Dacita porfírica	De 128.45 m a 133.00 m	Dique dacítico de textura fluidal, porfírico, con fenocristales de sanidina euhedrales. Contiene py como diseminación leve y ocasionalmente vetilleo de la misma. Muestra leve alteración filica (incipientes).
					DAPO	Dacita porfírica	De 133.00 m a 146.35 m	Dacita porfírica de color gris muy claro. Con alteración propilitica leve. Contiene py como diseminación fina y ocasionalmente como vetilleo fino resistiendo superficies de fracturamiento.
					DAPO	Dacita porfírica	De 146.35 m a 153.60 m	Dacitas porfíricas de textura fluidal, con fenocristales euhedrales de sanidinas. Presenta moderada alteración propilitica. En su tope y en su base su matriz intruida por mineralización de py como vetillas y diseminación profusa que provoca el cambio de color de las dacitas a gris amarillento oscuro.
					DAPO	Dacita porfírica	De 153.60 m a 165.15 m	Dacita porfírica con alteración filica leve. Muestra fenocristales centimetricos de sanidina euhedrales.
					DAPO	Dacita porfírica	De 165.15 m a 184.25 m	Dacita gris muy clara de textura afanítica con textura de brechamiento incipiente. Contiene xenolitos de margas y limoarcillitas entre los 171.10 m y los 173.05 m de profundidad. Asi mismo diseminación y vetilleo fino irregular de py.

MICOBIO SUPERIOR	COMPLEJO VOLCANICO MARCAPUNTA	00 Dec. porf	Domo Dacítico (Marcapunta)	200	DAPO	Dacita porfírica	De 184.25 ma 202.95 m	Dacita gris verdosa de textura afanítica, con alteración propilítica leve a moderada, con ocurrencias de calcita y vetilteo irregular ocasional. Así mismo diseminación y vetilteo fino leve de py.
					DAPO	Dacita porfírica	De 202.95 ma 214.05 m	Dacita porfírica con alteración argílica moderada. Contiene alunita como reemplazo de sus fenocristales de Feldespato. Así mismo silicificación intensa por tramos. También contiene py como vetilteo, diseminaciones y agregados cristalinos en geodas diseminadas.
					EX	Brechas	De 214.05 ma 228.30 m	Brecha magmática polimíctica, que contiene líticos de la Fm Calera / Fm Shuco y del Gpo Mitu (areniscas), de formas subangulosas y subredondeadas, de tamaños desde 1 cm hasta 10 cm. Toda la unidad muestra silicificación intensa en clastos y matriz como alteración argílica avanzada con ocurrencias de alunita, como vetillas y reemplazamiento ocasional de diseminación profusa y vetilteo irregular.
					DAPO	Dacita porfírica	De 228.30 ma 235.65 m	Dacita con marcada textura fluidal a textura afanítica, con alteración argílica avanzada. Muestra silicificación intensa a lo largo de la unidad. Contiene mineralización de py como reemplazamiento de la roca en tramos ocasionales.
					EXRM	Brecha Freatomagmática	De 235.65 ma 237.50 m	Brecha freatomagmática de polimícticos, constituido de líticos de la Fm Calera, Fm Shuco y Gpo Mitu, además de líticos de dacitas deformadas. Con silicificación intensa y mineralización de py como reemplazamiento parcial de la roca original, vetilteos y diseminación profusa.
					Toba	Tobas	De 237.50 ma 240.45 m	Tobas finas, craqueladas por tramos, con silicificación intensa y alteración argílica avanzada. Contienen mineralización de py asociada ocasionalmente a eng, que ocurren como vetilteo irregular y diseminación profusa, asociadas a alunita y kaolinita.
					EXRM	Brecha Freatomagmática	De 240.45 ma 241.35 m	Brecha freatomagmática polimícticos, constituida de líticos de las Fm Calera, Fm Shuco y Gpo Mitu, además de líticos de dacitas deformadas. Con silicificación intensa y mineralización de py como reemplazamiento parcial de la roca original, vetilteos y diseminación profusa, con muy ocasional ocurrencia de eng.
					Toba	Tobas	De 241.35 ma 248.45 m	Secuencia en la cual se intercalan tobas finas con delgados horizontes carbonácios, estos líticos intensamente alterados por sulfuración (py, eng). Toda la secuencia piroclástica se halla intensamente silicificada y contiene py, eng como vetilteo irregular ocasional.
					DEPI	Depósitos piroclásticos	De 248.45 ma 265.70 m	Secuencia piroclástica constituida predominantemente por tobas finas redepositadas de color gris oliva claro. Intensamente silicificadas y con alteración argílica avanzada. Se intercalan ocasionalmente con microbrechas polimícticas muy delgadas de matriz también tobacea gruesa. También con tramos intensamente sulfurizados (py-eng). Toda la unidad contiene py como diseminación profusa y como vetillas irregulares y concordante a la estratificación. Se aprecia kaolinita como impregnación en superficie de fracturamiento.
					DEPI	Depósitos piroclásticos	De 265.70 ma 294.30 m	Secuencia piroclástica en la cual se intercalan tobas finas masivas, con tobas gruesas, con tobas de lapilli y mas ocasionalmente delgados horizontes de brecha polimíctica de matriz también tobacea gruesa. Muestra silicificación intensa y alteración argílica avanzada. Contiene toda la unidad como reemplazamiento de matriz (en los tramos brechados), como vetillas irregular, como diseminación profusa, asociado por ocasionalmente a eng. Se les asocia alunita como vetilteo y reemplazamiento de matriz de delgados tramos tobaceos.
					EXRM	Brecha Freatomagmática	De 294.30 ma 300.20 m	Brecha freatomagmática polimíctica, constituida mayormente por líticos de areniscas, cuarcitas y cuarzo blanquecino y mas ocasionalmente líticos de rocas carbonatadas. El tamaño de los clastos es desde los 5mm hasta los 13 cm, de formas angulosas a subredondeadas, matriz soportada. Contiene también clastos deformados de dacitas, típicas de este tipo de brecha. Muestra toda la unidad silicificada con intensa ocurrencias de py como reemplazamiento parcial de la matriz de esta brecha, además de discriminación profusa y vetilteo irregular.

Tabla 9. Taladro Geotech OP 006

		PROYECTO: EL BROCAL SONDAEN: GEOTECH_OP_007 NORTE: 8808991.565 ESTE: 360797.874 COTA: 4302.577	AZIMUT: INCINACIÓN: PROFUNDIDAD: MAQUINA:	100° -60 130 H600	INICIO: 13/07/2021 TERMINO: 26/07/2021 EMPRESA: FARM PERU DESCRITO POR: Marco Antonio Panes Umpe			
SERIE	UNIDAD	MODELO LITOLÓGICO 2021		Litología logueo SNEB		INTERVALO PERFORADO	DESCRIPCIÓN GEOLOGICA	
		Code	Litología	Code	Abrev			
ECOBIO INFERIOR	COLUVO ALUVAL	QS	Suelo	401	QS	Cobertura/Suelo	De 0.00 m a 11.10 m	Sedimentos cuaternarios limoarcillosos y limoarenosos de color naranja amarillento oscuro.
	CALERA SUPERIOR	20_Calera_Sup	Calera superior	304	DOLO	Dolomias	De 11.10 m a 13.40 m	Umolitas masivas marrón amarillentas oscuras, impregnadas con limonitas (Oxs Fe) en superficies de fracturamiento. Disgregables a la base la unidad.
306	DLVA			Dolomias varvadas	De 13.40 m a 33.55 m	Secuencia en la cual se intercalan delgados horizontes dolomíticos marrón amarillento pálido, con margas naranja grisáceas y con limoarcillitas gris azulado medio, las dos primeras en predominancia y presentan estratificación fina (varvada incipiente) por tramos, y la última es masiva. También se tienen limolitas marrón amarillento oscuro, no mayores a 20 cm de ocurrencia ocasional. Se tienen impregnaciones de Oxs de Fe en superficies de fracturamiento. Así mismo se tienen concreciones de caliza residual (diagenética) concordantes con la estratificación.		
306	DLVA			Dolomias varvadas	De 33.55 m a 44.65 m	Secuencia en la cual se intercalan dolomias gris parduzcas con margas gris oscura y con limoarcillitas negro parduzcas y negro verdosas. Las primeras con estratificación fina (varvadas incipientes). Las segundas tambien con estratificación fina pero no varvada. En tanto que los tramos limoarcillíticos se presentan con estratificación delgada y también masivas, muy deleznable por tramos. Entre los 40.80 m y 40.90 m se tiene delgado horizontes tobaceo de grano medio de color gris muy claro.		
307	MARG			Margas	De 44.65 m a 45.65 m	Magas intercaladas con vulcanoclastico de matriz también margosa en medio de la unidad. Se tiene como marcador estratigrafico que divide al Calera superior del Calera medio.		
307	MARG			Limoarcillitas	De 45.65 m a 60.50 m	Secuencia en la cual se intercalan limoarcillitas, margas y masas ocasionalmente delgados horizontes dolomíticos, estos últimos con ocurrencias de calcita como concreciones concordantes a la estratificación (calcita residual de diagenesis). Toda la unidad se muestra deleznable (Margas y limoarcillitas) con marcado fracturamiento de estratificación, contienen niveles tobaceos a los 56.70 m a 56.80 m y la base del tramo.		
306	DLVA			Dolomias varvadas	De 60.50 m a 65.60 m	Secuencia en la cual se intercalan dolomias varvadas con limonitas y limoarcillitas de grosores desde 5 cm hasta 20 cm. Contiene la unidad calcita como concreciones diagenéticas concordantes a la estratificación y vetilleo fino irregular. Se tiene fracturamiento dominado por estratificación.		
304	DOLO			Dolomias	De 65.60 m a 70.90 m	Secuencia constituida por la intercalación de limoarcillitas de color negro parduzco oscuros con margas de color gris pardo claras y hacia el medio de la unidad tobas gruesas y de lapilli de color gris azulado claro (de 67.45 m a 67.75 m y de 68.20 m a 68.90 m). Contiene la unidad vetilleo delgado irregular de dolomita.		
307	MARG			Margas	De 70.90 m a 73.50 m	Secuencia en la cual se intercalan tobas con dolomias. Las primeras de grano medio y fino, muy desdregables y las segundas con estratificación finas a varvadas incipientes, intercaladas con delgados horizontes limoarcillíticos oscuros en el tramo del tope de la secuencia. En el tramo de la base se tornan a calcareas gris medias y se muestran con silicificaciónn moderada.		
310	LIAR			Limoarcillitas	De 73.50 m a 82.80 m	Secuencia tobaceos de grano medio y fino de color gris muy claro a blanquecino. Muestra silicificación moderada en toda la secuencia, salvo en el tope que se halla argilizado y deleznable (toba fina). Muy fracturada por tramos y con ocurrencia de pya la base de la unidad como diseminación profusa. De 81.20 m a 81.35 m se intercala con un horizontes de chert craquelado que contiene alunita y pirita, ocasional como relleno intraclasto.		
306	DOLO			Dolomias	De 82.80 m a 87.40 m	Secuencia en la cual se intercalan delgados horizontes calcareos y dolomíticos silicificados intensamente. Contiene ademas mineralización de py como relleno de cavidades (porosidad secundaria), vetilleo irregular. También contiene vetilleo de alunita y dickita. Al tope de la unidad se tiene reemplazamiento parcial de la roca por py en medio enargita como corpusculos centimétricos irregulares.		
ECOBIO INFERIOR	CALERA MEDIO	20_Calera_Mid(var)	Calera medio	306	DOLO	Dolomias	De 87.40 m a 95.85 m	Secuencia en la cual se intercalan limoarcillitas de color negro parduzco oscuras con margas de color gris parduzcas y delgados horizontes tobaceos de color gris verdoso claro no mayores a 5 cm. Con vetilleo delgado oacional irregular de calcita. Los tramos limoarcillíticos de presentan muy deleznales.
				310	LIAR	Limoarcillitas	De 95.85 m a 98.50 m	Intercalación de limoarcillitas con toba fina y delgados horizontes dolomíticos con textura varvadas incipiente en toda la unidad.
				302	VULC	Volcanoclasticos	De 98.50 m a 101.60 m	Secuencia volcanoclasticos de color gris verdoso claro con contenido tobaceo de grano medio a lapilli de matriz margosa.
				307	MARG	Margas	De 101.60 m a 107.80 m	Secuencia en la cual se intercalan. Margas de color gris pardo claro con limoarcillitas de color gris oscuro, asimismo contiene delgados horizontes tobaceos e incluso volcanoclasticos menores de 5 cm de espesor. Se aprecia ocurrencia de calcita como horizontes milimétricos concordante con la estratificación de origen diagenético. También finas vetillas irregulares de dolomita de ocurrencia ocasional.
				307	MARG	Margas	De 107.80 m a 115.15 m	Secuencia Margosa de color gris pardo claro con estratificación fina predominantemente que se intercala ocasionalmente con horizontes vulcacasticos de matriz margosa.
				307	MARG	Margas	De 115.15 m a 118.70 m	Secuencia Margosa de color gris parduzco claro masiva, con craquelamiento incipiente sin sedimentario. Contiene vetilleo irregular de dolomita.
				307	MARG	Margas	De 118.70 m a 129.20 m	Secuencia Margosa de estratificación fina, se presenta como varvada incipiente. Se intercala con delgados horizontes volcanoclasticos. De los 122.65 m a 122.85 m, se aprecia un tramo de colapso sin sedimentario (deslizamiento que provoca un brechamiento). Con microfallamiento en los tramos inmediatamente infrayacentes. Contiene ademas cacita como horizontales concordantes con la estratificación, resultante de diagenesis (segregación). Asimismo ocasional vetillego irregular de dolomita que causa brechamiento.
				302	VULC	Volcanoclasticos	De 129.20 m a 134.20 m	Secuencia en la cual se intercalan volcanoclastos de matriz margosa, con margas de color gris parduzco clara, contiene estos ultimas concreciones de calcita concordantes con la estratificación (diagenesis) y vetilleo irregular de dolomita que corta ocasionalmente a esta unidad. Estos volcanoclastos son polimíticos, con clastos angulosos milimétricos.
				307	MARG	Margas	De 134.20 m a 140.10 m	Secuencia Margosa de color gris verdoso claro, masiva con marcada ocurrencia de concreciones de calcita, intercalada de los 139.90 m a 137.05 m con un delgado horizonte tobaceo cloritizado. Contiene también la unidad vetilleo ocasional irregular de dolomita.
				302	VULC	Volcanoclasticos	De 140.10 m a 155.35 m	Secuencia en la cual se intercalan volcanoclastos polimíticos de matriz margosa con margas masivas. Las primeras contienen liticos angulosos de tamaño desde 5 mm a 2 cm preminantemente y muy ocasionalmente de hasta 5 cm. De los 152.40 m a 152.85 m se tiene un delgado nivel microconglomerado polimítico, constituido mayormente por rodados de rocas carbonatadas y areniscosas, clasto soportada, englobados en matriz detritica tobacea a volcanoclastica. Los tramos margosos contienen concreciones de calcita y hacia la base de la secuencia se muestran coqueos.
				406	V	Vacio	De 155.35 m a 158.85 m	Tramo sin recuperación de testigos (vacío???)
				201	TOBA	Tobas	De 158.85 m a 164.60 m	Secuencia tobacea fina predominantemente, muy deleznable de color gris azulado
				302	VULC	Volcanoclasticos	De 164.60 m a 166.85 m	Horizonte volcanoclastico de matriz margosa, polimictivo, cuyos liticos son de formas angulosas de dimensiones desde 2 mm a 1 cm.
				201	TOBA	Tobas	De 166.85 m a 167.35 m	Tobas finas gris muy claras, deleznales.
				406	V	Vacio	De 167.35 m a 168.60 m	Tramo sin recuperación de testigos.
				201	TOBA	Tobas	De 168.60 m a 171.70 m	Tobas finas de color gris muy claro deleznable.
406	V	Vacio	De 171.70 m a 173.80 m	Tramo sin recuperación de testigos.				
201	TOBA	Tobas	De 173.80 m a 180.00 m	Secuencia tobacea de grano fino de color gris claro. Se tiene mala recuperación en todas las corridas e incluso derrumbe de talabro en toda estas corridas.				

Tabla 10. Taladro Geotech OP 007

		PROYECTO: SONDAEN°: NORTE: ESTE: COTA:	EL BROCAL GEO TECH L.P. 008 8809677.538 360688.038 4269.491	AZMUT: INCLINACIÓN: PROFUNDIDAD: MAQUINA:	60° -60 130.3 UDR-650	INICIO: TERMINO: EMPRESA: DESCRITO POR:	26/07/2021 2/08/2021 RAM PERU Marco Antonio Panes Linpe	
SERIE	UNIDAD	MODELO LITOLÓGICO 2021		Litología logueo SMEB		INTERVALO PERFORADO	DESCRIPCIÓN GEOLOGICA	
		Code	Litología	Code	Abrev Litología			
HOCENIO	COLUMBO ALUMAL	QS	Suelo	401	QS Cobertura/Suelo	De 0.00 m a 4.00 m	Sedimentos gris parduzco oscuro, derivado de la degradación de rocas margosas subyacentes, pues conserva su reactividad al ácido clorhídrico.	
		20_Calera_Mid(var)	Calera medio	307	MARG	Margas	De 4.00 m a 11.75 m	Intercalación de margas gris oscuras con limoarcillitas gris parduzcas, ambas muy disgregables. Se tienen ocasionalmente delgados niveles de dolomitas muy frágiles.
				307	MARG	Margas	De 11.75 m a 17.95 m	Secuencia en la cual se intercalan margas gris pardo oscuras, con dolomias gris pardo claras, las primeras muy delezables y las segundas muy frágiles. Desde 10.80 m a 17.95 m se tiene mala recuperación de testigos.
				307	MARG	Margas	De 17.95 m a 26.85 m	Secuencia margosa de fina estratificación, por tramos varvada incipiente, que se intercala con tres horizontes dolomíticos gris pardo claros a gris muy claros. Las margas son muy disgregables y delezables. Se tiene mala recuperación en estas secuencia perforadas.
				307	MARG	Margas	De 26.85 m a 35.60 m	Secuencia margosa de colores gris pardo moderado y gris pardo oscuro, con estratificación fina por tramos. Se intercala con delgados horizontes tobaceos hacia el tope de la secuencia. Toda la unidad se muestra deleznable y disgregable se tiene mala recuperación por tramos.
				307	MARG	Margas	De 35.60 m a 39.05 m	Secuencia en la cual se intercalan de fina estratificación de varvadas gris pardo claras, con margas gris pardo oscuras y limoarcillas negro verdusco oscuras, estas dos últimas muy delezables y disgregables.
				307	MARG	Margas	De 39.05 m a 41.80 m	Secuencia varvada en la cual se intercalan finos horizontes de margas con limoarcillitas, muy frágiles las primeras y delezables las segundas.
				304	DOLC	Dolomias	De 41.80 m a 46.00 m	Secuencia en la cual intercalan dolomias gris pardo claras con volcanoclasticas de matriz margosa gris verdosa clara, frágiles estas últimas.
				307	MARG	Margas	De 46.00 m a 53.40 m	Secuencia en la cual se intercalan margas varvadas con limoarcillas negro verdusco oscuras las primeras muy frágiles y las segundas muy delezables. Hacia la base de la unidad se aprecian delgados niveles tobaceos de grano fino gris azulado claros.
				310	LIAR	Limoarcillitas	De 53.40 m a 65.25 m	Secuencia en la cual se intercalan limoarcillas masivas gris oscuras y negro parduzco oscuras, con margas varvadas gris pardo clara. Toda la unidad se muestra muy disgregables, deleznable y frágil. Al tope y base de la unidad se intercala con delgados horizontes tobaceos de grano fino y grano grueso respectivamente (De 54.95 m a 55.00 m y De 59.15 m a 59.45m). También a su base se tiene dolomias masivas en delgados
				306	DLVA	Dolomias	De 65.25 m a 71.85 m	Secuencia en la cual se intercalan limolitas negro parduzco con limoarcillitas gris oscuras y mas ocasionalmente delgados horizontes tobaceos gris claros de grano fino y medio hacia el tope y medio de la secuencia. Contiene a la base de la unidad, concreciones de calcita de origen diagenetico, concordantes con la estratificación.
				306	DLVA	Dolomias	De 71.85 m a 79.85 m	Secuencia en la cual se intercalan dolomias gris amarillento palido, masivas, con concreciones de dolomita y vetilleo muy ocasional de cuarzo, pero mas comunmente como vetilleo irregular de esta dm. Con limoarcillitas gris oscuras y negro parduzco, asi como tobas muy delgadas (de 5 cm a 10 cm), gris claras, de grano fino. Los tramos limoarcilliticos se muestran muy delezables. Se aprecia ocurrencias de py proxima a la base de la unidad, cuya ocurrencia es como corpusculos irregulares. Asimismo impregnaciones de hm y UMs en superficies de fracturamiento.
				310	DLVA	Dolomias	De 79.85 m a 92.70 m	Secuencia dolomitica alterada por oxidación, silicificación leve y decarbonatización ocasional. Muestra coloraciones naranja amarillento oscuro y naranja grisaceo por las UMs que impregnan marcadamente a la roca por tramos y en variadas intensidades. Asimismo impregnación de superficies de fracturamiento con UMs que muestran coloración negro parduzco y marron moderado. También contiene esta dolomita por tramos nodulos de chert. Al tope de la unidad se tiene sulfurización y silicificación de la roca (py). Toda la unidad muestra fracturamiento intenso.
				308	CHER	Chert	De 92.70 m a 97.20 m	Chert betado gris oscuro a negro, muy fracturado, con marcada impregnación de limonitas (que le dan coloración naranja amarillento a estas superficies).
				404	DVR	Desmorte/Relleno	De 97.20 m a 99.75 m	Relleno detritico de galeria subterránea oxidado y disragable.
				306	DLVA	Dolomias	De 99.75 m a 100.60 m	Unidad dolomitica similar al tramo de 79.85 m a 92.70 m profundidad, fracturada y con impregnación de oxidos.
				310	LIAR	Limoarcillitas	De 100.60 m a 105.55 m	Secuencia limoarcillitica gris pardo moderado, muy deleznable, que muestra impregnación de hematita hacia el tope de la unidad, asi como diseminación de py al contacto con la unidad suprayacente.
				201	TOBA	Tobas	De 105.55 m a 112.90 m	Secuencia en la cual se intercalan tobas gris claras de grano grueso a fino con limoarcillitas gris pardo claras, ambas muy delezables por tramos.
				307	MARG	Margas	De 112.90 m a 130.30 m	Secuencia en la cual se intercalan margas gris pardo claras con limolitas negro parduzcas y ocasionales tramos de volcanoclastos de matriz margosa que se toman a tobas delgadas (no mayores a 10 cm) de color gris muy claro. A la base se tiene delgadas tramos de margas varvadas.

Tabla 11. Taladro Geotech OP 008

Pruebas hidráulicas

Se efectuó ensayos de Lugeon, Lefranc de carga constante y variable por un periodo de una hora y media. Los resultados de las pruebas de permeabilidad dependieron del grado de fracturamiento y la altura del nivel del agua.

A continuación, se muestra algunos comentarios sobre los ensayos hidráulicos ejecutados:

- Los ensayos se ejecutaron en la zona saturada, excepto en el taladro Geotech OP 006, debido a que el agua dreno por una fractura importante que conecta a una galería que se sitúa a 7 metros de distancia del punto de perforación.
- Los ensayos que se ejecutaron con packer doble en los sondeos Geotech OP 001 y Geotech OP 008. Este último, se ejecutó por encontrarse roca compacta a partir de los 111.90 hasta 130.30 m, ya que gran parte del sondeo presenta una calidad de roca de mala a muy mala, debido a la descarbonatación que presenta en gran medida todo el taladro. En consecuencia, no se pudo ejecutar con packer triple por tener riesgos de perder accesorios del ensayo inyección de agua.
- Antes de iniciar con los ensayos hidráulicos, se purgó el pozo por un tiempo de 3 horas como mínimo y de 24 horas como máximo.
- En este tiempo se tomó parámetros de calidad básica de agua de los taladros Geotech OP 001, Geotech OP 002, Geotech OP 006 y Geotech OP 008.

Patrones de Lugeon representativo (Houlby, 1976)

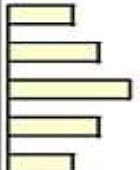
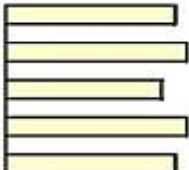
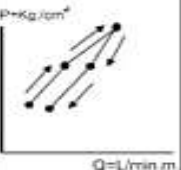
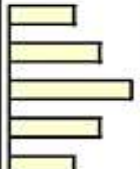
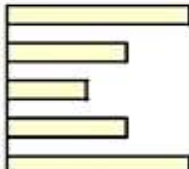
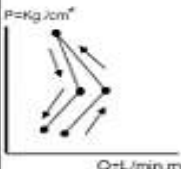
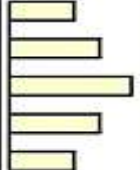
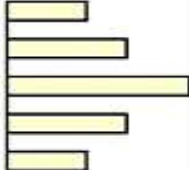
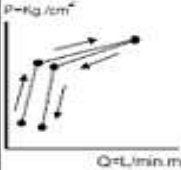
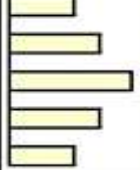
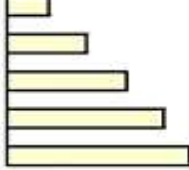
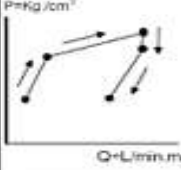
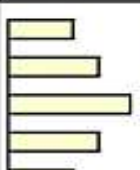
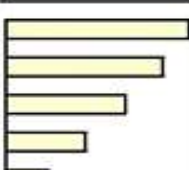
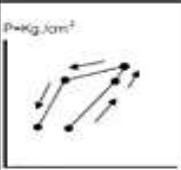
PATRONES TIPOS DE RESULTADOS DE PRUEBAS LUGEON (A.C. HOULSBY 1976)						
TIPO DE FLUJO	ESTADIOS 10 ³ c/u	PRESIONES DE PRUEBA MAX. RELATIVA (APROX.)	PATRONES LUGEON CALCULADOS PARA CADA 10" PATRON GENERALIZADO	CARACTERISTICAS DE LOS PATRONES E INTERPRETACION	VALOR A USAR COMO "K" DEL ENSAYO	CURVA DE INTERPRETACION
FLUJO LAMINAR	1 ^a 2 ^a 3 ^a 4 ^a 5 ^a			LOS 5 VALORES LUGEON SON APROXIMADAMENTE IGUALES	SE USA EL PROMEDIO DE LOS 5 VALORES	
FLUJO TURBULENTO	1 ^a 2 ^a 3 ^a 4 ^a 5 ^a			EL VALOR LUGEON MAS BAJO OCURRE EN LA PRESION MAXIMA	SE USA EL VALOR LUGEON PARA LA PRESION MAXIMA	
FLUJO DILATACION	1 ^a 2 ^a 3 ^a 4 ^a 5 ^a			EL VALOR LUGEON MAS ALTO OCURRE EN LA PRESION MAXIMA	SE USA LOS VALORES LUGEON PARA LAS PRESIONES MINIMAS y/o MEDIAS	
FLUJO EROSION	1 ^a 2 ^a 3 ^a 4 ^a 5 ^a			LOS VALORES LUGEON AUMENTAN EN EL PROCESO DE LA PRUEBA (POR CAMBIOS EN EL MEDIO ROCOSO)	SE USA EL VALOR LUGEON MAS ALTO	
FLUJO RELLENO	1 ^a 2 ^a 3 ^a 4 ^a 5 ^a			LOS LUGEONES DECRECEN EN EL PROCESO DE LA PRUEBA. (LOS VACIOS SON GRADUALMENTE RELLENADOS)	SE USA EL VALOR LUGEON MAS BAJO	
1.0 U.L. = 1.3x10 ⁻⁸ cm ³ /seg (A.C. HOULSBY, 1976) CLASIFICACION DEL VALOR LUGEON REPRESENTATIVO 0 - 1 U.L. - MUY FAVORABLE 1 - 3 U.L. - FAVORABLE 3 - 10 U.L. - DESFAVORABLE > 10 U.L. - MUY DESFAVORABLE						

Figura 13. Patrones tipos de resultados de pruebas lugeon.

Ejecución de ensayos

Las pruebas de permeabilidad se ejecutaron solo en los taladros del Tajo Norte y un número de once (11) ensayos, de los cuales, se realizó 5 ensayos de packer test, 4 carga constante y 2 carga variable con packer.

Las pruebas de permeabilidad rocosa se realizaron al finalizar cada perforación. Los tramos de los ensayos dependieron de las características de la roca, tales como grado de fracturamiento, zona de debilidad y nivel de agua, con respecto a la profundidad y litología identificada en cada sondaje.

Pruebas de Lugeon – Packer Test (PL)

Estas pruebas se realizaron de acuerdo con los procedimientos de los Estados Unidos (USBR, 1987). Consiste en registrar la tasa de inyección de durante diez minutos o hasta que la tasa de inyección se estabilice en cada paso de presión.

Para calcular la conductividad hidráulica en cm/s y unidades Lugeon (Lu). Para la estimación de la conductividad hidráulica se utilizó la siguiente fórmula:

$$K_H = \frac{Q}{2\pi L P_i} * \ln\left(\frac{R}{r}\right)$$

Para: $L \geq 10r$

Donde:

- K_H = conductividad hidráulica
- Q = constante de velocidad de flujo en el orificio
- L = longitud del agujero de prueba
- HG = carga diferencial neta de agua

- r = radio del agujero de prueba y:
- Lugeon (Lu) = (litros/m/min) x (10/presión (bares))

Pruebas de carga constante y variable (PPC / PCV)

Esta prueba consiste en levantar la tubería de perforación hasta exponer un intervalo especificado del pozo para someter a una presión hidrostática y medir el consumo de agua en todo ese tramo descubierto. Luego se añade agua limpia dentro del mismo, hasta elevar el nivel de agua cerca de la superficie del suelo o punto de referencia que pueda ser visto y fácil de medir; para mantener una presión constante sobre el tope del intervalo expuesto.

El volumen de agua acumulado que atraviesa el intervalo de ensayo se registra durante un tiempo determinado, manteniendo constante el nivel hidráulico en un punto de referencia. A partir de este control, y conociendo el caudal de agua ingresado (Q) en relación con la longitud expuesta (L) del tramo de prueba, así como el área de su sección transversal (A), el tiempo empleado en la descarga del volumen Q y la carga hidráulica aplicada (h), es posible estimar el coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica (KH). Dicho parámetro se obtiene mediante la aplicación de la siguiente expresión matemática:

$$K_H = \frac{Q \ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]}{2\pi L H_G}$$

Donde:

- KH = conductividad hidráulica horizontal
- HG = cabeza de gravedad constante
- D = diámetro del orificio de prueba

- m = (Una medida de las condiciones anisotrópicas)

Tanto para las pruebas de carga constante y variable se utilizó obturador triple y estimar la conductividad hidráulica con mejor precisión que un Casing, pues rimar con tubería PQ es muy complicado en zonas donde contiene roca.

Resultado de las pruebas hidráulicas

Sondaje	De (m)	Hasta (m)	Profundidad promedio	Tipo de ensayo	Tipo de packer	k (cm/s)	k (m/d)	Unidad de lugeon	Tipo de Flujo	Comentario / Litología
Geotech_OP_001	195.00	200.20	197.60	Carga constante, PCC-1	Doble	2.04E-06	1.76E-03	-	-	Dolomias masivas intercaladas con ocasionales horizontes de limoarcilitas.
	178.00	200.20	189.10	Carga constante, PCC-2	Doble	1.48E-06	1.28E-03	-	-	Limoarcilitas gris verdosas oscuras masivas al tope de la secuencia, intercalados con delgados tramos dolomíticos varvados en el medio y gris oscuras a negras también masivas a la base de la unidad.
	153.20	200.20	176.70	Carga constante, PCC-3	Doble	1.75E-05	1.51E-02	-	-	
	140.50	200.20	170.35	Carga constante, PCC-4	Doble	2.64E-05	2.28E-02	-	-	
Geotech_OP-002	93.00	98.00	95.50	Carga variable, PCV-1	Triple	2.27E-06	1.96E-03	-	-	Se obturó con triple packer y este actuó como casing.
										Pertenecen a dacitas con alteración fílica predominante y fílica menos notable.
	78.00	83.00	80.50	Carga variable, PCV-2	Triple	6.15E-07	5.31E-04	-	-	Se obturó con triple packer y este actuó como casing.
										Pertenecen a dacitas con alteración fílica predominante.
	23.00	28.00	25.50	Prueba de lugeon, PL-1	Triple	8.49E-06	7.34E-03	2.00	Dilatación	Dacitas intensamente alteradas por hidratación, aunque se preserva la textura de la roca presentando una alteración propilítica.
										Se ejecutó un ensayo en este tramo, por presentar una zona de falla a 23.50 metros.

	55.00	60.00	57.50	Prueba de lugeon, PL-2	Triple	1.14E-05	9.86E-03	1.60	Turbulento	Dacita con alteración fílica, en el cual se tiene venilleo ocasional de calcita asociada a las discontinuidades. Además, presenta fracturas paralelas al eje del core.
Geotech_OP-006	261.40	266.40	263.90	Prueba de lugeon, PL-1	Triple	7.36E-06	7.36E-06	1.50	Turbulento	Calizas varvadas con tramos cortos de brechas. El ensayo se ejecutó en una zona no saturada, por estar seco el pozo.
	72.20	77.20	74.70	Prueba de lugeon, PL-2	Triple	2.20E-05	1.90E-02	5.50	Turbulento	Dacitas porfíricas con tramos de alteración leve. El ensayo se ejecutó en un tramo donde se pierde el nivel de agua por completo. Es probable que las fracturas encontradas en este tramo conecten con alguna labor antigua, que, de acuerdo al proyecto, este se ubicaría a 7 metros de distancia de la perforación.
Geotech_OP-008	111.90	130.30	121.10	Prueba de lugeon, PL-1	Doble	3.53E-07	3.05E-04	0	Dilatación	Secuencia de tobas y limoarcillitas e intercalaciones de margas y limolitas.

Tabla 12. Resultado de las pruebas hidráulica





Ensayos de permeabilidad Geotech – OP - 002

Tabla 13. Ensayos de permeabilidad Geotech_OP_001 y Geotech_OP_002, RAMPERU 2021.



Ensayos de permeabilidad Geotech – OP - 006



Ensayos de permeabilidad Geotech – OP - 008

Tabla 14. Ensayos de permeabilidad Geotech_OP_006 y Geotech_OP_008, RAMPERU 2021.

Registro del nivel de agua durante la perforación

Durante las perforaciones, se registró los niveles de agua y los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua.

En la Tabla se detalla los sondeos que se capturó información del purgado del sondeo antes de la instalación del piezómetro. Solo se pudo realizar de los sondeos Geotech_OP_001, Geotech_OP_002 y Geotech_OP_008. El taladro Geotech_UG_005, es un taladro positivo, el cual se registró los parámetros y caudal con equipo multiparámetro propio de la unidad minera.

Sondeo	Parámetros de campo fisicoquímico			Caudal (l/s)
	pH	CE (μS/cm)	Temperatura (°C)	
GEOTECH_UG_005	8.20	650	21.00	0.5
GEOTECH_UG_001	Pozo seco			
GEOTECH_OP_001	7.50	360	17.00	0
GEOTECH_OP_002	7.80	420	16.60	0
GEOTECH_OP_003	No se pudo registrar parámetros FQ por perderse el nivel del agua, por antiguas labores mineras.			
GEOTECH_OP_006				
GEOTECH_OP_007				
GEOTECH_OP_008	6.80	850	17.00	0

Tabla 15. Registro del nivel de agua durante la perforación

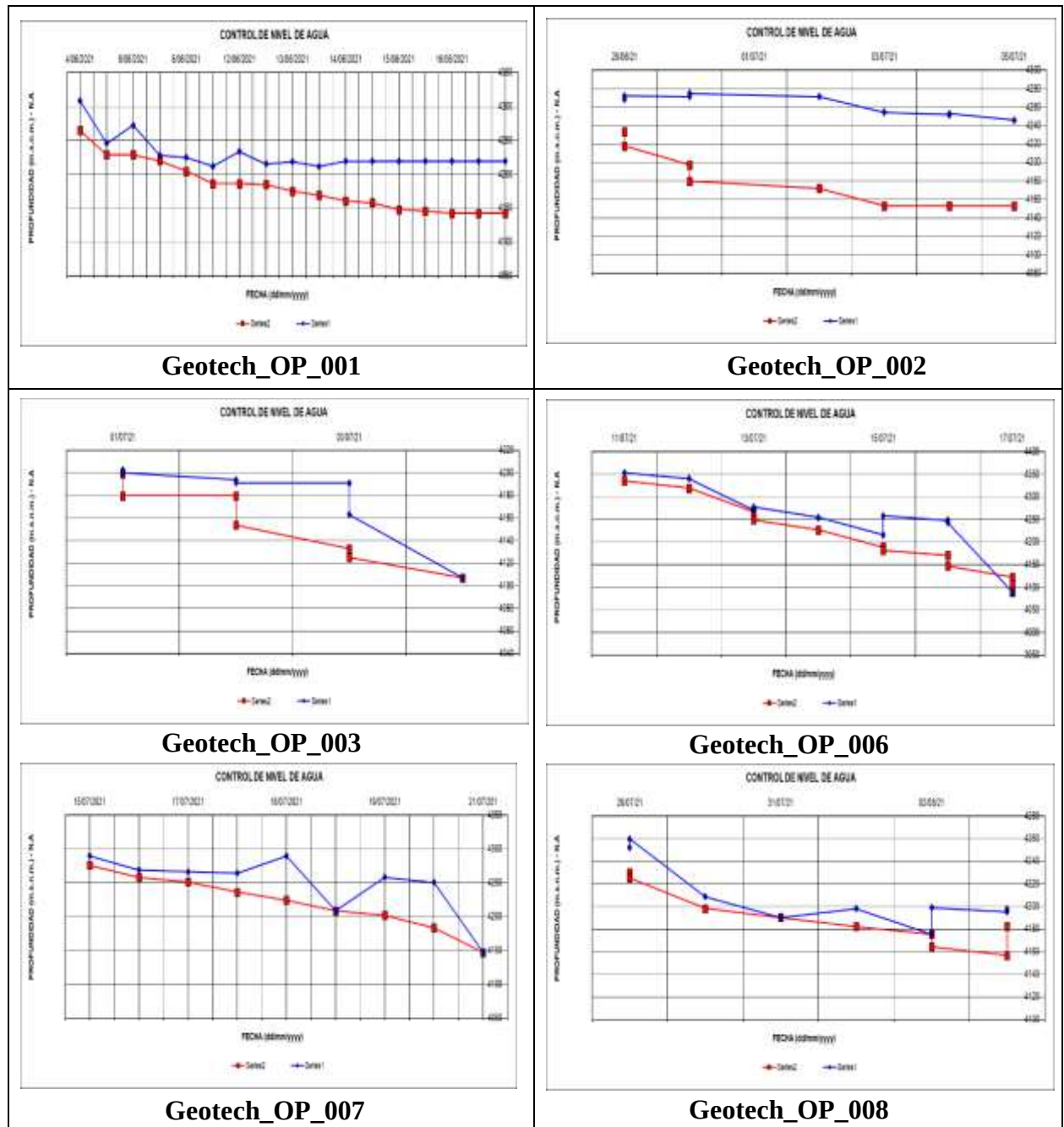


Tabla 16. Registro de niveles de agua durante la perforación, RAMPERU 2021.

De las figuras 5-4 y 5-5 se desprende que los taladros Geotech_OP_001, Geotech_OP_002 y Geotech_OP_008, sus niveles de agua se mantienen relativamente constante, mientras que los sondajes Geotech_OP_003, Geotech_OP_006 y Geotech_OP_007, descienden de manera considerable. Esto se debe a que en estas

perforaciones intercepto labores mineras y se tuvo que cambiar de línea HQ3 a NQ3, excepto en el punto Geotech_OP_006.

En este último se indicó que, a 7 metros de longitud del mismo, se ubica una labor minera y que posiblemente alguna fractura importante comunique hidráulicamente con esta labor, donde el nivel de agua drenó sin poder recuperarse.

Instalación de piezómetros cuerda vibrante

Método constructivo

Se detalla los pasos que se efectuó para su correcta instalación:

- Se realizó la saturación de los sensores dentro de un balde de 20 litros un día antes de la instalación. Luego, se monitoreo las frecuencias para verificar su funcionamiento y contrarrestar con la hoja de calibración.
- Culminado el cambio de la broca por zapata, el supervisor le entregará al perforista el diseño del piezómetro de cuerda vibrante que se instalará en el sondaje.
- Con la ayuda del block elevador colocado en el Wireline de la máquina perforadora, se instalará la tubería de acero de 1” dentro de la tubería de perforación que está en el pozo. A la tubería de acero se pegó con cinta *Duct tape* los sensores del piezómetro de cuerda vibrante a diferentes profundidades de acuerdo al diseño.
- Se colocó un centralizador cada 2 tubos galvanizados
- Luego de colocar la tubería de acero a la profundidad de diseño, el perforista procederá al retiro de una parte de la tubería de perforación.
- En una tina se realizará la preparación por parte del perforista de la mezcla llamada “Grout”, la dosificación del cemento, bentonita y agua.

- Esta mezcla será inyectada a través de la tubería de acero de 1" hacia dentro del pozo con la bomba de sólidos, para luego llenar todo el pozo con esta mezcla. El llenado del pozo se realiza en forma ascendente, en forma permanente y a un ritmo lento.
- La maniobra del retiro de la tubería depende del avance del llenado del pozo con el grout. Las tuberías fueron retirados por parte del perforista de manera que siempre la tubería de perforación este por encima del nivel del grout. Dependiendo de la ubicación de la profundidad del casing, se pude retirar antes o después de la tubería de perforación.
- El supervisor monitorea las presiones de los transducer del piezómetro de cuerda vibrante, conectando los cables de los que están en superficie al Datalogger.
- En superficie quedaron los cables identificados con la profundidad del transducer donde fue instalado y la caja metálica protectora con candado. El sellado e impermeabilización de la superficie se realiza con cemento, asegurando que el sello en superficie evite cualquier conexión con el sistema de aguas subterráneas y que solo sea a través de los cables.
- Concluido las instalaciones se dio la orden para la desmovilización de los equipos y retiro de la máquina perforadora hacia otra plataforma de perforación.
- El monitoreo con el Datalogger continuará hasta que se estabilice las presiones en los transducer.
- Finalmente, se continuó monitoreando los piezómetros de cuerda vibrante.

En las Figuras siguientes se muestran la operación de la instalación y monumentado de los taladros que se llegó a instalar los sensores. Los taladros instalados son: Geotech OP 001, Geotech OP 002, Geotech OP 006, Geotech OP 008; sus respectivos diseños se

muestran en las Figuras 7-3 hasta 7-6.

Proceso constructivo de la instalación de cuerda vibrante Geotech OP 001 y Geotech OP 002.

	
Instalación y habilitación VW Geotech OP 001	
	
Instalación y habilitación VW Geotech OP 002	

Tabla 17. Instalación y habilitación VW Geotech OP 001 y VW Geotech OP 002.

Proceso constructivo de la instalación de cuerda vibrante Geotech OP 006 y Geotech OP 008.

	
Instalación y habilitación VW Geotech OP 006	
	
Instalación y habilitación VW Geotech OP 008	

Tabla 18. *Instalación y habilitación VW Geotech OP 006 y VW Geotech OP 008.*

La finalidad de los piezómetros de cuerda vibrante es parte de la implementación del plan de drenaje en el Tajo, que están situadas en el área de influencia directa del Tajo Norte. Es preciso señalar que esta instrumentación servirá para su actualización del modelo hidrogeológico conceptual, así como la actualización del modelo hidrogeológico numérico en el sitio. En las Figuras 7-3 hasta 7-6, se muestra los diseños de los piezómetros.

Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 001.

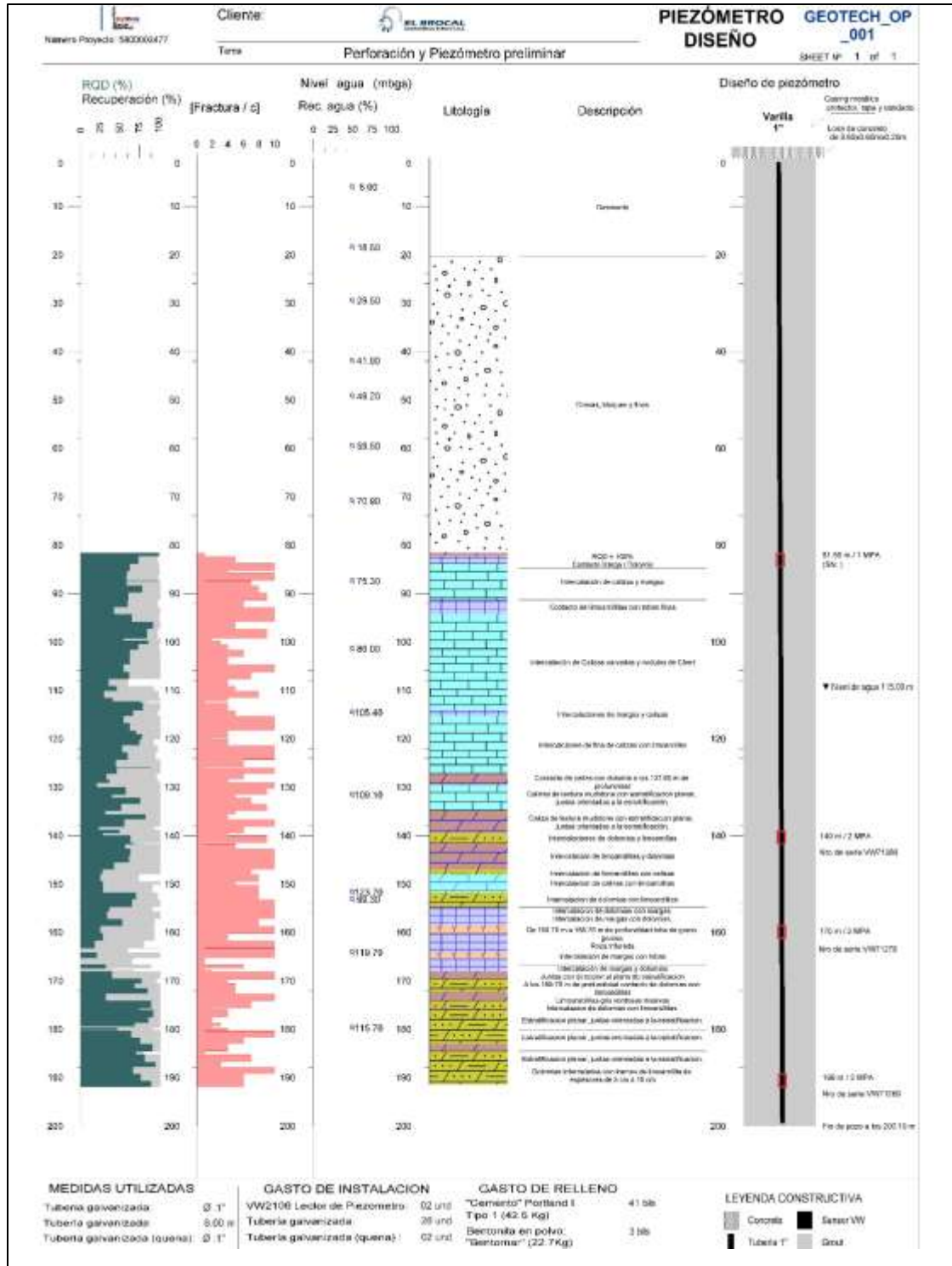


Tabla 19. Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 001.

Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 002.

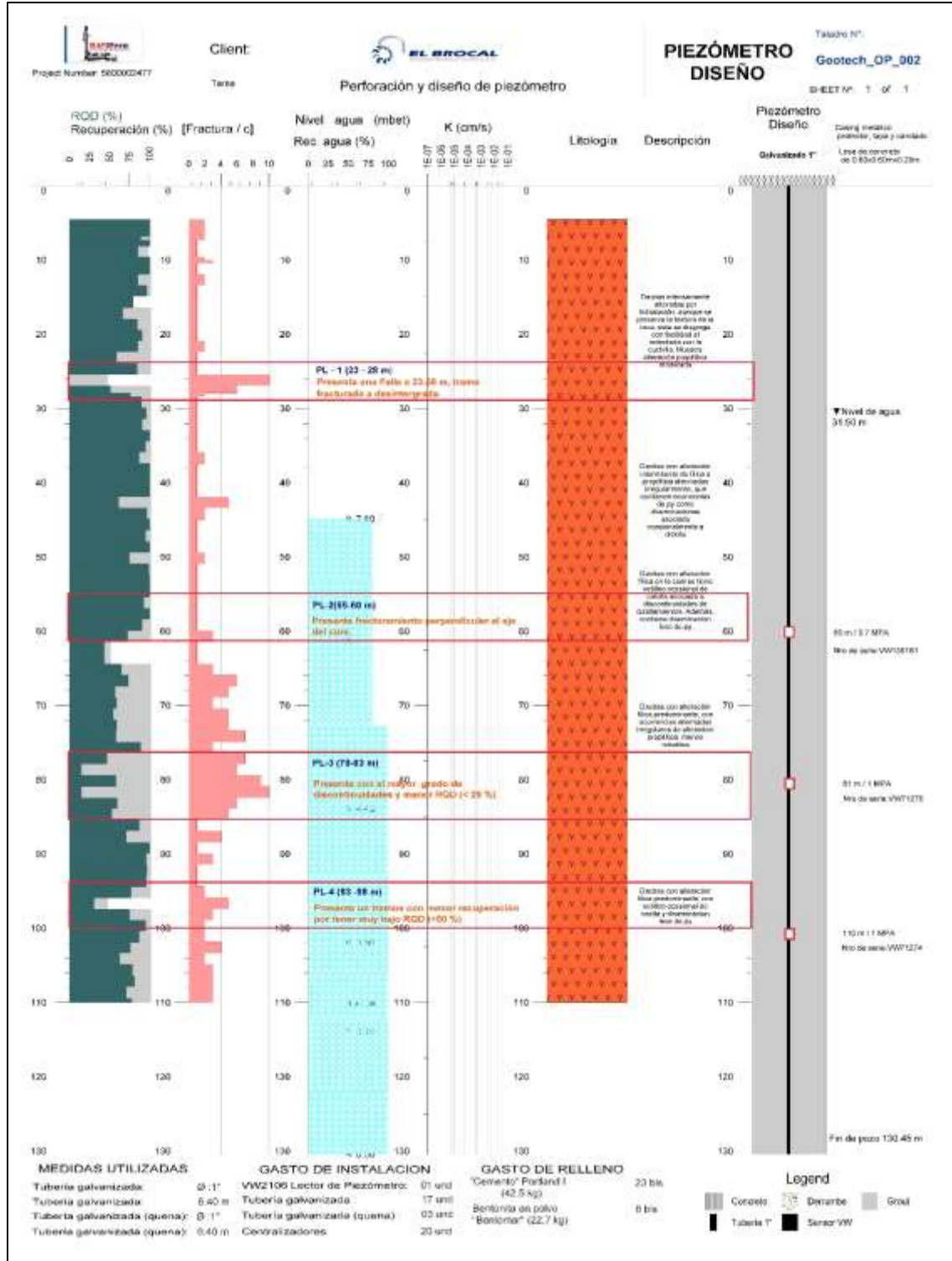


Tabla 20. Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 002.

Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 006.

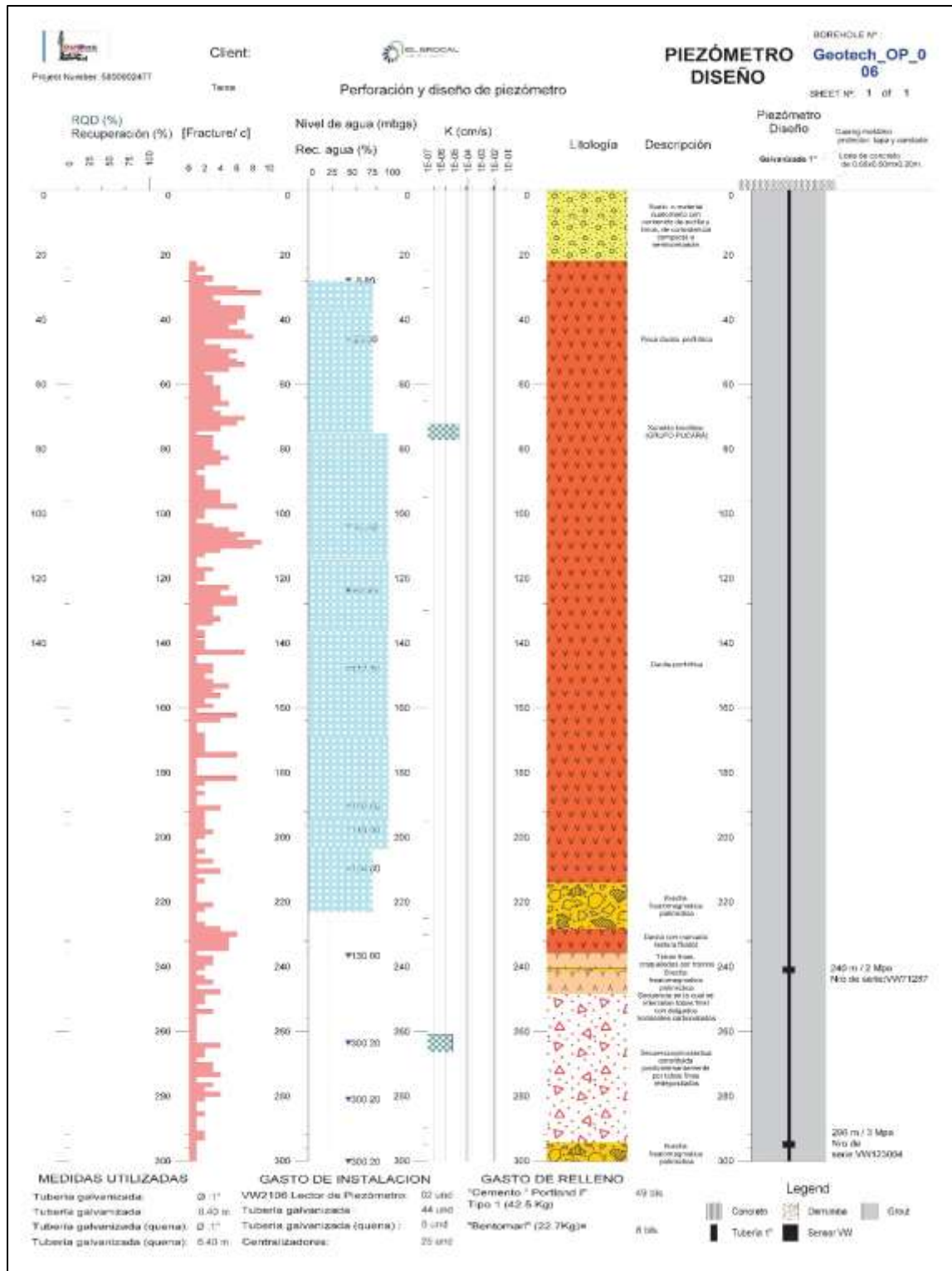


Tabla 21. Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 006.

Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 008.

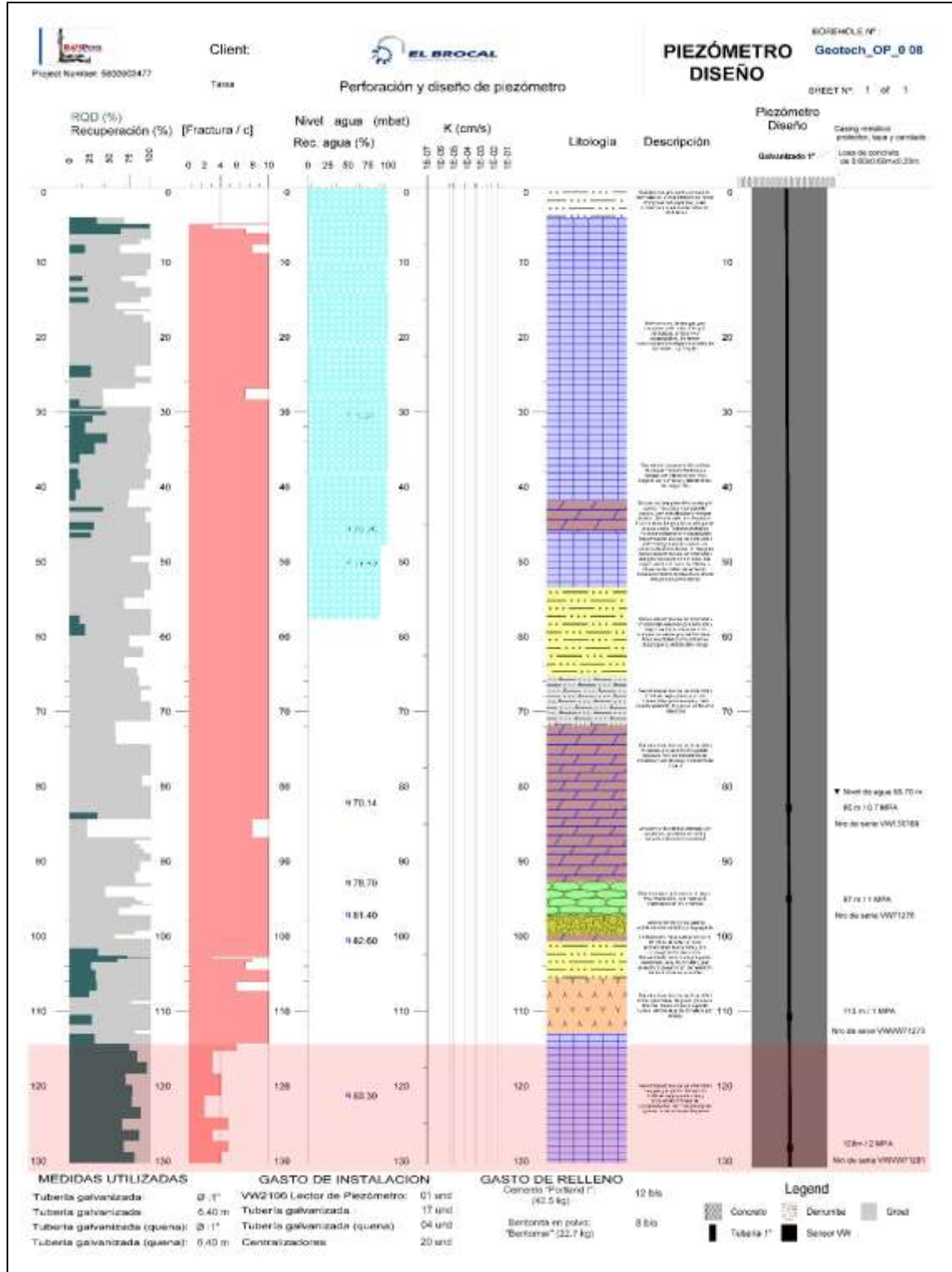


Tabla 22. Diseño de piezómetro de cuerda vibrante Geotech OP 008.

En la Tabla siguiente se muestra los materiales empleados durante la instalación de los piezómetros cuerda vibrante y su ubicación en profundidad con una breve descripción geológica.

Instalación y habilitación de los piezómetros de cuerda vibrante.

Materiales (Cantidad)	Materiales instalados en piezómetro VW			
	Geotech_OP_001	Geotech_OP_002	Geotech_OP_006	Geotech_OP_008
Tubería galvanizada de 1" / 6.20 metros	59.00	17.00	44.00	17.00
Tubería galvanizada de 1" (quena) / 6.20 metros	4.00	3.00	6.00	4.00
Centralizadores	20.00	20.00	25.00	20.00
Cemento tipo I (Bolsa 42.5 kg c/u)	41.00	23.00	10.00	25.00
Bentonita en polvo "Bentomar" (Bolsa 22.7 kg)	9.00	8.00	4.00	11.00
Número de sensores VW	3.00	3.00	2.00	4.00
Datalogger 5 canales	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 23. Instalación y habilitación de los piezómetros de cuerda vibrante.

Criterios para la instalación de piezómetro de cuerda vibrante

La colocación de sensores de cuerda vibrante se ejecutó bajo los siguientes criterios:

- Zonas de fallas o presencia de fracturas significativas.
- Grados de alteración de roca.

- Pérdida de nivel de agua o debajo de esta.
- Cambios en el RQD, frecuencia de fracturas y grado de permeabilidad.

En la Tabla siguiente se observa el número de piezómetros y su profundidad. Los diseños muestran la codificación de cada uno de ellos.

Sondaje	Nro. Piezómetros	Profundidad de instalación (m)	Descripción geológica
Geotech_OP_001	PZ1	196.00	Dolomias masivas intercaladas con ocasionales horizontes de limoarcillistas.
	PZ2	170.00	Limoarcillitas gris verdosa oscuras masivas al tope de la secuencia intercalados con delgados tramos dolomíticos varvados y masivas de color negro.
	PZ3	140.00	Dolomias gris amarillentas claras intercaladas con delgados horizontes limoarcillitas de color gris medio.
Geotech_OP_002	PZ1	110.00	Dacitas porfiríticas con alteración propilítica.
	PZ3	81.00	Dacitas con alteración filica predominante, con ocurrencia alternadas irregulares de alteración propilítica.
	PZ3	60.00	Dacitas con intercalación filica.
Geotech_OP_006	PZ1	296.00	Brechas freatomagmáticas polimíctica, constituida con líticos de areniscas.
	PZ2	240.00	Tobas finas, craqueladas por tramos, con silificación intensa y alteración argílica avanzada.

Geotech_OP_008	PZ1	128.00	Secuencia de margas intercaladas con limolitas.
	PZ2	113.00	Tobas de grano grueso a fino con limoarcillitas de color gris pardo.
	PZ3	97.00	Chert vetado muy fracturada, con impregnación de limolitas.
	PZ4	85.00	Secuencia de dolomítica alterada por oxidación, silificación leve y descarbonatación ocasional.

Tabla 24. Número de piezómetros y su profundidad.

Resultados

Sondaje	De (m)	Hasta (m)	Profundidad promedio	Tipo de ensayo	Tipo de packer	k (cm/s)	k (m/d)	Unidad de	Tipo de Flujo	Comentario / Litología
Geotech_OP_001	195	200.2	197.6	Carga constante, PCC-1	Doble	2.04E-06	1.76E-03	-	-	Dolomias masivas intercaladas con ocasionales horizontes de limoarcillitas.
	178	200.2	189.1	Carga constante, PCC-2	Doble	1.48E-06	1.28E-03	-	-	Limoarcillitas gris verdosas oscuras masivas al tope de la secuencia, intercalados con delgados tramos dolomíticos varvados en el medio y gris oscuras a negras también masivas a la base de la unidad.
	153	200.2	176.7	Carga constante, PCC-3	Doble	1.75E-05	1.51E-02	-	-	
	141	200.2	170.35	Carga constante, PCC-4	Doble	2.64E-05	2.28E-02	-	-	
Geotech_OP-002	93	98	95.5	Carga variable, PCV-1	Triple	2.27E-06	1.96E-03	-	-	Se obturó con triple packer y este actuó como casing. Pertenecen a

										dacitas con alteración fílica predominante y fílica menos notable.
	78	83	80.5	Carga variable, PCV-2	Triple	6.15E-07	5.31E-04	-	-	Se obturó con triple packer y este actuó como casing. Pertenecen a dacitas con alteración fílica predominante.
	23	28	25.5	Prueba de lugeon, PL-1	Triple	8.49E-06	7.34E-03	2	Dilatación	Dacitas intensamente alteradas por hidratación, aunque se preserva la textura de la roca presentando una alteración propilítica. Se ejecutó un ensayo en este tramo, por presentar una zona de falla a 23.50 metros.
	55	60	57.5	Prueba de lugeon, PL-2	Triple	1.14E-05	9.86E-03	1.6	Turbulento	Dacita con alteración fílica, en el cual se tiene venilleo ocasional de calcita asociada a las discontinuidades. Además, presenta fracturas paralelas al eje del core.
Geotech_OP-006	261	266.4	263.9		Triple			1.5	Turbulento	

				Prueba de lugeon, PL-1		7.36E-06	7.36E-06			Calizas varvadas con tramos cortos de brechas. El ensayo se ejecutó en una zona no saturada, por estar seco el pozo.
	72.2	77.2	74.7	Prueba de lugeon, PL-2	Triple	2.20E-05	1.90E-02	5.5	Turbulento	Dacitas porfíricas con tramos de alteración leve. El ensayo se ejecutó en un tramo donde se pierde el nivel de agua por completo. Es probable que las fracturas encontradas en este tramo conecten con alguna labor antigua, que, de acuerdo al proyecto, este se ubicaría a 7 metros de distancia de la perforación.
Geotech_OP-008	112	130.3	121.1	Prueba de lugeon, PL-1	Doble	3.53E-07	3.05E-04	0	Dilatación	Secuencia de tobas y limoarcillitas e intercalaciones de margas y limolitas.

4.2. Presentación y análisis e interpretación de resultados

Los ensayos hidráulicos realizados en los sondajes geotécnicos permitieron determinar la conductividad hidráulica del macizo rocoso en el sector del Tajo Norte. Para ello se ejecutaron pruebas de carga constante, carga variable y ensayo Lugeon con

empaquetadores dobles y triples en los sondeos Geotech OP 001, Geotech OP 002, Geotech OP 006 y Geotech OP 008.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los valores representativos de conductividad hidráulica obtenidos durante los ensayos realizados.

Sondaje	Tipo de ensayo	Conductividad hidráulica (cm/s)	Litología predominante
Geotech OP 001	Carga constante	2.04E-06 – 2.64E-05	Dolomías y limoarcillitas
Geotech OP 002	Carga variable / Lugeon	6.15E-07 – 1.14E-05	Dacitas con alteración fílica
Geotech OP 006	Lugeon	7.36E-06 – 2.20E-05	Calizas varvadas y dacitas
Geotech OP 008	Lugeon	3.53E-07	Tobas y limoarcillitas

Tabla 25. Resumen de resultados de conductividad hidráulica

A partir de estos resultados se observa que los valores de conductividad hidráulica presentan variaciones dependiendo del tipo de roca y del grado de fracturamiento del macizo rocoso. Las unidades compuestas por dacitas y calizas fracturadas muestran valores relativamente mayores de permeabilidad, mientras que las secuencias de tobas y limoarcillitas presentan valores más bajos.

4.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis general

El ensayo Lugeon mediante empaquetadores en perforaciones diamantinas permite determinar de manera confiable la conductividad hidráulica del macizo rocoso en el Tajo Norte de la Mina Colquijirca.

Hipótesis específicas

- La conductividad hidráulica del macizo rocoso varía en función del tipo litológico y del grado de fracturamiento de las rocas.

- b) Los ensayos Lugeon realizados con empaquetadores dobles y triples permiten obtener valores representativos de la permeabilidad del macizo rocoso.

4.4. Discusión de resultados

Cárdenas (2016), en su proyecto caracterizó el macizo rocoso frente a las cargas hidráulicas y sísmicas donde el macizo rocoso presenta una calidad media a buena, con una resistencia a la compresión uniaxial promedio de 87 MPa y un módulo de deformación promedio de 18 GPa, en nuestro estudio se ha caracterizado el macizo rocoso para determinar la permeabilidad media y mala en el sector estudiado.

Rojas Verasay Felipe E. (2022), utiliza el instrumento llamado televiwer, para obtener imágenes digitales de las paredes de los sondajes para caracterizar el macizo rocoso, en nuestro estudio se usó el televiwer para determinar la geometría, inclinación de las fisuras, diaclasas del macizo rocoso.

Ricci Valdés Miguel E. (2018). Realizo una campaña de ensayos geotécnicos in situ y de laboratorio, que permitieron obtener los parámetros geomecánicas de las rocas, para conocer la estabilidad aceptable, en nuestro proyecto se ha logrado establecer la permeabilidad para conocer la calidad del macizo rocoso y con ella la estabilidad del mismo, tal como podemos explicar a continuación:

En el Sondaje Geotech OP 001

Se realizaron 04 ensayos con los siguientes resultados:

En el tramo 195 a 200,20 m se realizó una prueba de Carga constante, con doble empaquetadura se determinó la conductividad hidráulica de $2.04E-06$ cm/s en dolomias masivas intercaladas con ocasionales horizontes de limoarcilitas.

En rocas limoarcillitas gris verdosas oscuras masivas al tope de la secuencia intercalados con delgados tramos dolomíticos varvados en el medio y gris oscuras a negras también masivas a la base de la unidad, se realizaron tres ensayos: En el tramo 178 a 200,20 m se realizó un ensayo de carga constante con doble packer donde se obtuvo una conductividad hidráulica de $1,48\text{E}-06$ cm/s , el otro también de carga constante, en el tramo 153.20 a 200.20 m la conductividad hidráulica fue de $1,75\text{E}-05$ cm/s y el otro en el tramo 140.50 a 200.20 m. con doble empaquetadura se halló la conductividad hidráulica $2.64\text{E}-05$ cm/s.

En el sondaje Geotech OP 002

Se realizaron dos ensayos de carga variable y dos de Lugeon, la primera se realizó un ensayo de carga variable con triple packer en dacitas con alteración fílica, en el tramo 93 al 98 m, obteniéndose una conductividad hidráulica de $2,27\text{E}-06$ cm/s.

La segunda también fue en dacitas con alteración fílica de carga variable con packer triple obteniéndose una conductividad de $6,15\text{E}-07$ cm/s, en el tramo 78 a 83 m.

El tercer ensayo fue el ensayo de Lugeon con triple packer en dacitas intensamente alteradas, cerca de una falla que se encuentra a 23,50 m. en el tramo 23 a 28 m, presentándose flujo de dilatación y una conductividad hidráulica $8,49\text{E}-06$ cm/s. Es de 2 unidades Lugeon, Es favorable.

El cuarto ensayo fue también de Lugeon con triple packer en dacitas con alteración fílica, que tiene vetillas ocasionales de calcita asociada a las discontinuidades. Además, presenta fracturas paralelas al eje del core, presento flujo turbulento, en el tramo 55 a 60 m, con una conductividad hidráulica de $1,14\text{E}-05$ cm/s. Es 1,60 unidades Lugeon. Es favorable.

En el Sondaje Geotech OP 006

Se realizo dos ensayos la primera en el tramo 261,40 a 266,40, zona no saturada, el ensayo Lugeon, con triple packer obteniéndose una conductividad hidráulica de $7.36E-06$ cm/s de flujo turbulento en calizas varvadas con tramos cortos de brechas. Es de 1,50 unidades Lugeon. Es favorable.

El segundo ensayo de Lugeon, con triple packer, en el tramo 72,20 a 77,20 m. se obtuvo una conductividad hidráulica de $2.20E-05$ cm/s de flujo turbulento, en dacitas porfíricas con tramos de alteración leve. Este se ejecutó en un tramo donde se pierde el nivel de agua por completo. Es de 5,50 unidades Lugeon, es desfavorable.

En el sondaje Geotech OP 008

Se realizo el ensayo de Lugeon, de packer doble en una serie de tobas y limoarcillitas e intercalaciones de margas y limolitas, presentado una conductividad hidráulica de $3,53E-07$ cm/s presentando un flujo de dilatación en el tramo 111,90 al 130,30 m. Es de 0 unidades Lugeon. Se puede decir que es muy favorable.

CONCLUSIONES

- Se ejecutaron ocho perforaciones diamantinas, dos en interior mina y seis en el tajo; de estas, cuatro sondajes (Geotech OP 001, OP 002, OP 006 y OP 008) fueron instrumentados para la realización de ensayos hidráulicos mediante empaquetadores dobles y triples.
- Los ensayos Lugeon se realizaron de forma ascendente al finalizar cada perforación, permitiendo determinar la conductividad hidráulica del macizo rocoso a partir de los valores de flujo registrados en cada tramo evaluado.
- Los resultados muestran variabilidad en la conductividad hidráulica según la litología. Las limoarcillitas presentaron valores entre $1.75\text{E-}05$ y $1.48\text{E-}06$ cm/s, mientras que las dacitas registraron valores entre $1.14\text{E-}05$ y $8.49\text{E-}06$ cm/s, evidenciando mayor permeabilidad asociada a fracturamiento y alteración hidrotermal.
- Las calizas varvadas con brechas presentaron una conductividad hidráulica de $7.36\text{E-}06$ cm/s, mientras que las tobas intercaladas con limoarcillitas mostraron el valor más bajo con $3.53\text{E-}07$ cm/s, indicando un comportamiento prácticamente impermeable.
- En términos generales, el macizo rocoso del sector estudiado presenta baja permeabilidad, con incrementos localizados en zonas asociadas a dacitas porfíricas y estructuras fracturadas.
- Los registros de nivel de agua durante la perforación evidenciaron que algunos sondajes presentan descensos significativos del nivel freático, debido a la intercepción de labores mineras antiguas y sistemas de fracturas conectadas, lo cual influye en el comportamiento hidráulico del macizo rocoso.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios hidrogeológicos complementarios en zonas donde las dacitas presentan mayor fracturamiento, con el fin de evaluar posibles flujos de agua subterránea y requerimientos de drenaje.
- Implementar sistemas de drenaje adecuados en sectores donde se identifiquen macizos rocosos con mayor conductividad hidráulica.
- Considerar la influencia de labores mineras antiguas y estructuras geológicas en futuras campañas de perforación e investigación hidrogeológica.
- Utilizar equipos de medición y monitoreo hidrogeológico de mayor precisión para mejorar la confiabilidad de los ensayos hidráulicos.
- Desarrollar programas de monitoreo del nivel freático durante las perforaciones para identificar posibles conexiones hidráulicas con labores mineras existentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ángeles, C. (1993). Geología de Colquijirca y Alrededores, para Sociedad Minera El Brocal S.A.
- Ángeles, C. (1999). Revisión de la Geología de Algunos Sectores del Distrito de Colquijirca, para Sociedad Minera El Brocal S.A.
- Bendezu, R. (2007). Shallow polymetallic and precious metal mineralization associated with a Miocene diatreme-dome complex: Colquijirca district in the Peruvian Andes.
- Cárdenas et. (2016) Estudio geomecánico del macizo rocoso de la presa de Chaglla. Huánuco, Perú.
- Rodríguez, R.; Cueva, E. & Carlotto, V. (2011). - Geología del cuadrángulo de Cerro de Pasco, hoja 22-k, escala 1:50,000. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 144, 160 p, 4 mapas.
- Rojas Verasay Felipe E.(2022) en la Memoria intitulada. Análisis estructural de vetillas mediante mediciones de televiwer para su uso en la geología de exploración en la mina Los Bronces. Memoria. Título de Geólogo. Universidad Mayor Chile.
- SRK Consulting Perú S.A. (2021). Logueo de taladros geomecánico orientados, Emitido para Sociedad Minera el Brocal.
- SRK Consulting Perú S.A. (2021). Metodología para la caracterización geotécnica de los testigos de perforación diamantina – Protocolo de logueo geotécnico, Emitido para Sociedad Minera el Brocal.
- SRK Consulting Perú S.A. (2021). Metodología para la descripción de suelos en el terreno – Protocolo de descripción de suelos, Emitido para Sociedad Minera el Brocal.
- SRK Consulting Perú S.A. (2021). Protocolo de toma de muestras para ensayos de mecánica de rocas en núcleos o testigos de roca – Protocolo de muestreo, Emitido para Sociedad Minera el Brocal.
- Velásquez Urán, L. Restrepo Serna, L. Arango, L.M. Echeverry, A. (2012) Ensayo Lugeon para evaluar el valor de permeabilidad en campo. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia.
- Packer testing. página web, 15/08/2023
- <https://www.soils.co.uk/images/downloads/SSL-Packer-Testing-service.pdf>. Structural Soils limitada.
- <https://meczghq.blogspot.com/2011/05/metodos-de-medicion-depermeabilidad.html>

ANEXOS

Testigos de perforación en Tajo Norte



Foto de la última corrida Geotech_OP_001



Foto de la última caja Geotech_OP_001



Foto de la primera caja Geotech_OP_002



Foto de la última caja Geotech_OP_002



Foto de la última corrida Geotech_OP_003



Foto de la última caja Geotech_OP_003



Foto de la última corrida Geotech_OP_006



Foto de la última caja Geotech_OP_006



Foto de la última corrida Geotech_OP_007



Foto de la última caja Geotech_OP_007



Foto de la última corrida Geotech_OP_008



Foto de la última caja Geotech_OP_008