

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica




TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Análisis geológico-geotécnico en rocas sedimentarias para la
adecuada impermeabilización de presa de relaves**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo.


Elaborado por

Octavio Fermín Alcántara Chuco

 0009-0000-0272-0982

Asesor

MSc. Manuel Martín Ego Aguirre Madrid

 0000-0003-4636-7580

LIMA – PERÚ

2023

Citar/How to cite	Alcantara Chuco [1]	
Referencia/Reference	[1]	O. Alcantara Chuco, " <i>Análisis geológico-geotécnico en rocas sedimentarias para la adecuada impermeabilización de presa de relaves</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE 2020)		

Citar/How to cite	(Alcantara, 2023)	
Referencia/Reference		Alcantara, O. (2023). <i>Análisis geológico-geotécnico en rocas sedimentarias para la adecuada impermeabilización de presa de relaves</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)		

Dedicatoria

A mis padres, Felicia y Glicerio que desde siempre me apoyan incondicionalmente y mis hermanos. Alan, Juan, Mari y Antonio, mis queridos hermanos que siempre han estado a mi lado en todo momento. A mi esposa Fiorella, por su amor y paciencia que me demuestra cada vez que tengo que estar lejos de casa y a mis hijos Leonardo y Rafaela, motores y motivos para poder seguir adelante.

Agradecimiento

Expreso mi agradecimiento al Profesor Asesor de la Tesis de investigación M Sc. ING. Manuel Martín Ego Aguirre Madrid por sus valiosas sugerencias y orientaciones para culminar el presente tema. A la Universidad Nacional de Ingeniería, por su invaluable labor en la enseñanza y la investigación, mi agradecimiento a los Ingenieros Dr. Luis Humberto Chirif Rivera y la ING. Nora Nelly Revollé Álvarez por la colaboración prestada en la elaboración de este trabajo.

Resumen

El estudio geológico-geotécnico para la construcción de la presa consiste en la caracterización geológica geotécnica y el análisis de los materiales que se utilizaron para su construcción. La zona de estudio está ubicada en la zona Sureste del distrito de San Marcos, provincia de Huari, región de Ancash. El relieve montañoso es empinado a escarpado, modelado por la acción glacial. Los afloramientos de arenisca cuarzosa y cuarcita forman farallones subverticales a verticales de hasta 100 m de altitud, los afloramientos de lutitas, limolitas y arenisca fina tienen relieves ondulados a moderadamente escarpados.

El basamento está conformado por la formación Chicama, a la que sobreyacen las formaciones Oyón, Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Pariahuanca, Chúlec, Pariatambo, Jumasha y Celendín, al tope de la secuencia.

El objetivo del presente trabajo de suficiencia profesional es el análisis del estudio geológico-geotécnico para una adecuada impermeabilización de presa de relaves, para ello se requiere evaluar el potencial desarrollo de un nuevo depósito de relaves en la zona denominada "Nueva Área de Soporte – NAS, ubicada en el valle de Ganyas, a 18 km al sur, dentro de los límites de San Marcos.

La metodología consistió en realizar un mapeo geológico superficial para identificar y definir los contactos geológicos, las estructuras y los tipos de rocas, además, se realizó un análisis geológico y geotécnico de la perforación diamantina vertical de 1005.8 mm de profundidad ubicado en rocas sedimentarias, para determinar sus características realizaremos las Calicatas y los ensayos de hidráulicos determinando la permeabilidad del terreno.

Palabras claves — NAS, Dique, Sills, formación

Abstract

The geological-geotechnical study for the construction of the dam consists of the geological and geotechnical characterization and analysis of the materials used for its construction. The study area is located in the southeast area of the district of San Marcos, Huari province, Ancash region. The mountainous relief is steep to steep, shaped by glacial action. The outcrops of quartz sandstone and quartzite form subvertical to vertical cliffs up to 100 m of altitude, the outcrops of lutites, limolites and fine sandstone have undulating to moderately steep reliefs.

The basement is formed by the Chicama Formation, which is superimposed by the Oyón, Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Pariahuanca, Chúlec, Pariatambo, Jumasha and Celendín Formations, at the top of the sequence.

The aim of this professional work is the analysis of the Geological-Geotechnical study for an adequate waterproofing of tailings dams, for this it is necessary to evaluate the potential development of a new tailings deposit in the area called New Support Area – NAS, located in the Ganyas Valley, 18 km to the south, within the limits of San Marcos.

The methodology consisted of carrying out a surface geological mapping to identify and define the geological contacts, the structures, and the types of rocks, in addition, a geological and geotechnical analysis of the vertical diamond drilling of 1005.8m m deep located in sedimentary rocks was carried out, to determine its characteristics we will carry out the Calicata and hydraulic tests determining the permeability of the soil.

Keywords — NAS, Dike, Sills, training.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xii
Capítulo I. Introducción	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	2
1.3 Objetivos del estudio	6
1.4 Antecedentes investigativos	6
1.4.1 Investigaciones internacionales	6
1.4.2 Investigaciones nacionales	9
Capítulo II. Marco teórico y conceptual	11
2.1. Marco teórico	11
2.1.1. Mapeo geológico-geotécnico	11
2.1.2. Logueo geológico-geotécnico	12
2.1.3. Clasificación geomecánica RMR	13
2.1.4. Concepto de calidad de roca	14
2.1.5. Ensayos de conductividad hidráulica	14
2.1.6. Criterios de diseño de presa de relaves	20
2.1.7. Marco conceptual	20
2.2. Hipótesis y operacionalización de variables	20
2.3. Metodología de la investigación	21
2.3.1. Tipo y diseño de la investigación	21
2.3.2. Matriz de consistencia	25
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	27
3.1. Recolección de datos	27

3.2.	Procesamiento de la información.....	30
3.2.1.	Geología y geomorfología	30
3.2.2.	Perforaciones hidrogeológicas (conductividad hidráulica)	43
3.2.3	Calicatas	44
3.2.4	Criterios de diseño de presa.....	47
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados		51
4.1.	Diseño de las instalaciones a nivel de pre-factibilidad	51
4.2.	Evaluación geotécnica.....	53
4.2.1.	Fundación presa principal.....	53
4.2.2.	Fundación dique de cierre	55
4.3.	Resultados	58
Conclusiones		64
Recomendaciones		66
Referencias bibliográficas.....		68
Anexos		1

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Fallas en las presas de tierra	3
Figura 2: Presas falladas por sifonamiento en el mundo.....	5
Figura 3: Ensayo Lugeon.....	15
Figura 4: Condiciones de los ensayos de permeabilidad	17
Figura 5: Ensayo Lefranc constante.....	18
Figura 6: Ensayo Lefranc variable.....	19
Figura 7: Mapeo geológico superficial en el área del proyecto NAS.....	28
Figura 8: Recolección de información de la perforación diamantina.....	28
Figura 9: Recolección de información de ensayos de permeabilidad	29
Figura 10: Recolección de información de calicatas	30
Figura 11: Columna estratigráfica del área de interés	38
Figura 12: Capacidad máxima de NAS	47
Figura 13: Conductividad hidráulica suelo - presa principal.....	54
Figura 14: Conductividad hidráulica suelo – dique cierre	56
Figura 15: Conductividad hidráulica – dique cierre	57
Figura 16: Conductividad hidráulica – dique de cierre.....	58
Figura 17: Sección de presa principal	60
Figura 18: Cortina de inyecciones de la presa principal	60
Figura 19: Sección del dique de cierre.....	61
Figura 20: Cortina de inyecciones del dique de cierre.....	62
Figura 21: Vista en planta del depósito de relaves NAS.....	63

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Fallas en presas de tierra, características y causas principales	4
Tabla 2: Calidad de roca en función al RMR	14
Tabla 3: Resumen de pruebas de conductividad hidráulica	25
Tabla 4: Matriz de consistencia.....	26
Tabla 5: Perforaciones geotécnicas	44
Tabla 6: Calicatas en presa principal y dique de cierre	45
Tabla 7: Criterios de diseño de presas principal y dique de cierre.....	49

Lista de Mapas

Mapa 1: Mapa de ubicación del área de estudio	23
Mapa 2: Ubicación de la perforación.....	24
Mapa 3: Geología regional NAS	34
Mapa 4: Secciones geología regional NAS	35
Mapa 5: eología local – proyecto NAS	37
Mapa 6: Ubicación de calicatas ejecutadas en proyecto NAS.....	46
Mapa 7: Vista en planta del depósito de relaves NAS.....	52

Introducción

El presente trabajo de suficiencia tiene como aporte visualizar el análisis geotécnico aplicado a la construcción de presa de relaves mediante el análisis de resultados de la geología, perforación geotécnica y Calicatas realizado en rocas sedimentarias.

El presente trabajo de suficiencia identifica el problema, en los accidentes recientes de presas a nivel mundial, entre ellos los estudios geotécnicos deficientemente desarrollados en las zonas de construcción; asimismo se observa y describen las características del terrenos y parámetros para determinar una clasificación geomecánica a partir del análisis litológico de la zona de estudio, así como la perforación vertical y los ensayos de permeabilidad.

El contenido del presente trabajo de investigación se divide en cinco capítulos, los cuales se definen a continuación:

El Capítulo I, titulado, introducción, se divide de la siguiente forma:

- Generalidades: Donde se describe el alcance del trabajo de investigación, el problema para solucionar y la finalidad de la investigación.
- Descripción del problema de investigación: Donde se detalla la problemática de fallas de presas de relaves en marco mundial y local, se describen las causas de la problemática y las consecuencias que provocan. Se plantea el problema a solucionar en la investigación en forma de pregunta.
- Objetivos el estudio: Donde se detalla la finalidad del trabajo de investigación;
- Hipótesis: Donde se plantea brindar el mejor método de impermeabilización en rocas sedimentarias para construcción de una presa de relaves.

Antecedentes investigativos: Donde se menciona las fallas de presas de relaves a nivel global y local y cómo han sido estudiados.

En el capítulo II, se presenta el marco teórico y el marco conceptual, describiendo los diferentes tipos de conceptos a utilizar.

En el capítulo III, se establece la hipótesis, así como la determinación de las

variables y la operacionalización de éstas.

En el capítulo IV, se describe la metodología de la investigación utilizada, detallando el tipo y diseño de la investigación, la unidad de análisis y la matriz de consistencia.

En el capítulo V, se presenta el desarrollo del trabajo de investigación a partir de la forma en la cual se recolectaron los datos, el procesamiento de estos y el análisis de toda la información.

En el capítulo VI, se realiza el análisis y discusión de los resultados en función a las Calidades de roca, los ensayos hidráulicos y costos que representan para el proyecto. Se determina finalmente conclusiones y recomendaciones en función al análisis realizado en el presente trabajo de suficiencia.

Capítulo I. Introducción

1.1 Generalidades

La minería en el Perú se conoce desde tiempo inmemoriales, los primeros en realizar minería fueron las culturas preincaicas que empezaron a trabajar con materiales como el oro, plata y cobre desarrollando piezas de orfebrería y metalurgia. Convirtiéndose en 1950 recién en una industria y comenzando su expansión al mercado en 1990 constituyéndose a partir de estas fechas en una de las principales fuentes de economía para el país, pues existe en la actualidad una gran demanda de minerales lo que con lleva a que el Perú se convierta en una atracción para la inversión minera.

Entre las actividades mineras la eliminación de los relaves constituye un grave problema ambiental. Las minas tienen la necesidad de diseñar su capacidad de almacenamiento usando métodos convencionales. El recuento de fallas durante la historia nos obliga a investigar y/o proponer nuevos sistemas de construcción que cumplan con los factores de seguridad luego de un exhaustivo análisis de la estabilidad física.

El tema de los relaves se encuentra en situación crítica, y es debido al reciente accidente catastrófico en Minas Gerais, en Brasil: el colapso de la relavera de Vale, la principal productora de hierro del mundo. Además de los inmensos daños a la propiedad y el entorno, el colapso de la relavera, que aún es estudiado, ha causado la muerte de cientos de lugareños y la desaparición de otras tantas decenas, los hallazgos indican que las condiciones actuales en el ambiente del estuario y la solubilización de los oxihidróxidos

de hierro pueden desencadenar la liberación progresiva de metales tóxicos, con alta probabilidad de causar una contaminación ambiental crónica en el área.

El desastre de Brumadinho es el más fresco en la memoria colectiva, por otra parte, no el único. En agosto de 2014, la presa de la empresa Metal Corp., productora de oro y cobre a cielo abierto, se derrumbó, sucedió en el estado de la Columbia Británica, en Canadá. Se conoce como la falla del Monte Polley. De igual importancia no se llevó por delante ninguna vida humana, la ola de lodo de 25 millones de metros cúbicos contaminó el río Cariboo, lagos y un arroyo.

Los antecedentes de fallas de presas de relaves en el Perú son diversas, en algunos casos no registrados bibliográficamente, podemos mencionar algunos casos como el derrame y deslizamiento de 50 mil metros cúbicos de relaves mineros en la Región Ancash o la más reciente falla de presa de relaves donde el derrame del relave llegó a afectar a las aguas del río Mantaro, el impacto ambiental de estos acontecimientos nos conlleva a la búsqueda de nuevos sistemas que puedan disminuir el riesgo de falla. En consecuencia, la integración de nuevos materiales como el geo sintético para el refuerzo impermeabilización del dique y el subsuelo reduciendo la infiltración, dicho material puede favorecer a la reducción de la probabilidad de fallas que pueden ser inducidas por diferentes factores.

Con el presente trabajo de suficiencia, la comunidad estudiantil y sobre todo los investigadores sobre el campo referente a construcción de presas de relaves, tendrán un mejor conocimiento para tener en cuenta como se involucra el mapeo geológico, los ensayos de conductividad hidráulica y Calicatas en la impermeabilización de presa de relaves.

1.2 Descripción del problema de investigación

La magnitud del fallo de una presa es un término relativo, pueden llegar a ser fallas de tipo catastrófica, que es cuando ocurre el colapso total de la estructura pudiendo provocar pérdidas de vidas humanas y la afectación de renglones económicos; o de tipo no catastrófica que son las que no provocan el derrumbe total de la presa y demás

componentes.

Las fallas graves o catastróficas en presas de materiales locales son:

- Rebase de la cortina
- Deslizamiento de taludes
- Agrietamiento
- Sismos
- Licuación
- Pérdidas por filtración
- Sifonamiento

En la Figura 1, se muestra la ocurrencia de estas fallas en porcentaje, según informe del ICOLD, hasta 1995.

Figura 1

Fallas en las presas de tierra



Nota: Peña (2008)

Hay que destacar de la Figura 1, que, de acuerdo con los estudios de Middlebrooks (1953), considera que la falla por sifonamiento es la segunda de mayor ocurrencia en el mundo, después de la falla por rebase de la cortina, además de ser una de las fallas a priorizar en el diseño.

Armas, y Horta (1987) menciona que el diseño para construcción de una presa se deben tomar medidas para evitar que ocurran fallas catastróficas a lo largo de su vida útil. La prioridad y ordenamiento para tener en cuenta en el diseño va a depender de muchos factores, asimismo entre los más comunes y determinantes está la selección del tipo de

suelo a utilizar en la construcción de la cortina y la forma de colocar éstos en cuanto a humedad, peso específico seco, energía y tipo de compactación a emplear en la construcción, por lo que se hace tan importante el conocimiento profundo y la aplicación práctica de la teoría de compactación de los suelos.

En la Tabla 1, se muestran las características de las fallas mencionadas con anterioridad y sus causas principales, con el objetivo de una mayor comprensión del desastre que pueden ocasionar las mismas.

Tabla 1

Fallas en presas de tierra, características y causas principales

Falla	Características	Causas
Rebase de la cortina	El agua rebasa la cortina y escurre por el talud aguas abajo.	Presencia de materiales erosionables en la presa o el vertedor (aliviadero). Inadecuado diseño del aliviadero. No atención a tiempo a los asentamientos excesivos del cimient o y/o el terraplén.
Deslizamiento de taludes	Deslizamiento de los taludes de la presa. Pueden provocarse durante la construcción, operación o luego de un desembalse rápido.	Producción de esfuerzos cortantes mayores a la resistencia que puede movilizar el suelo a lo largo de una determinada superficie de falla (más susceptible en suelos finos).
Agrietamiento	Formación de grietas y fisuras que no pueden pasar inadvertidas en el cuerpo de la presa. El agrietamiento puede ser longitudinal y/o transversal	Esfuerzos de tracción originados por asentamientos diferenciales del suelo, sea por el propio peso del terraplén o de la cimentación.
Sismos	Formación de grietas longitudinales y transversales en la corona de la presa y asentamiento de esta.	Temblores de tierra (sismos), principalmente por la componente horizontal de los mismos en dirección transversal al eje de la cortina.
Licuación	Derrame de los materiales de la cortina en grandes áreas, hasta adoptar taludes irregulares y muy tendidos, excepcionalmente > 10:1.	Utilización de materiales licuables en la construcción de presas (ejemplo: limos y arenas no plásticas).
Pérdidas por filtración	Infiltración del agua del embalse a través del cimient o de la cortina.	Construcción del embalse en presencia de zonas cársticas, fallas o suelos dispersivos. Inadecuado diseño de

Falla	Características	Causas
Sifonamiento	Fuga de agua que se concentra y erosiona el suelo progresivamente hasta formar un conducto que une al embalse con el pie del talud aguas abajo.	los elementos de control de infiltraciones (drenes, colchones, etc.) del terraplén. Formación de grietas y fisuras no muy grandes (agrietamiento) Presencia de suelos dispersivos en la cortina.

Nota: Elaboración propia

Sifonamiento

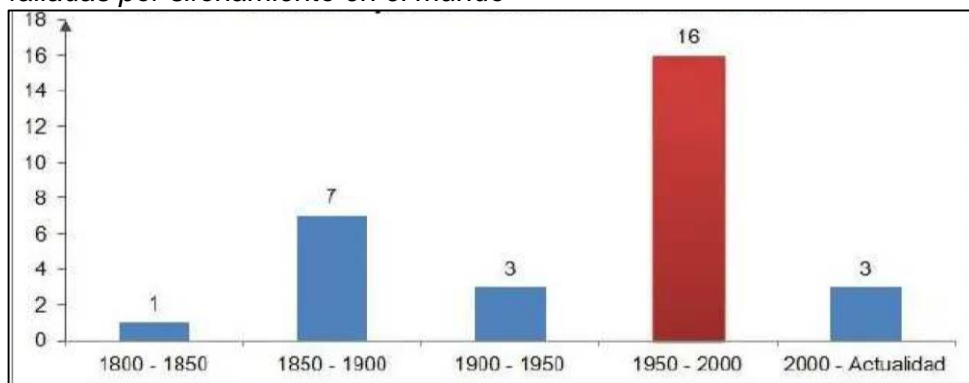
Armas y Horta (1987) señalan que el sifonamiento se produce cuando una fuga de agua se concentra y erosiona el suelo progresivamente hasta formar un conducto que une al embalse con el pie del talud aguas abajo. El sifonamiento constituye la causa más frecuente de fallo catastrófico en las presas después del desbordamiento.

Sosa (2016) indica que el sifonamiento es una de las fallas más grandes y preocupantes para los ingenieros de presas de tierra, ya que de producirse sería una gran catástrofe, donde es complejo dado la magnitud del fallo reconstruir la misma. Por eso muchos de los requerimientos constructivos que hoy en día se exigen en las presas son medidas para disminuir la posibilidad de fallo por sifonamiento.

Es importante destacar entre los períodos de 1950 hasta el 2000, como el período en han fallado la mayor cantidad de presas a nivel mundial. Esta figura 2, representa un número aproximado de fallos por sifonamiento, es necesario destacar que puede que existan otros fallos los cuales no estén contemplados en la figura 2.

Figura 2

Presas falladas por sifonamiento en el mundo



Nota: Peña (2008)

En la figura 2, se muestra el fallo de presas grandes y pequeñas por sifonamiento, es necesario destacar que la mayoría de los fallos producidos desde el 2000 hasta la actualidad se debe a presas pequeñas.

Por eso es importante contar con el sistema de impermeabilización ya sea en el dique como en la cimentación del vaso de presa y así mejorar la estabilidad propia. Por tal motivo se considera su importancia para su estudio, el presente trabajo de suficiencia profesional radica en la importancia del análisis geológico-geotécnico para una adecuada impermeabilización de presa de relaves.

¿En qué medida afecta el mal análisis geológico-geotécnico en la impermeabilización de una presa de relave?

1.3 Objetivos del estudio

Analizar geotécnicamente a las rocas sedimentarias y cuál es el método más eficiente de impermeabilización en la construcción de una presa de relaves.

1.4 Antecedentes investigativos

El presente trabajo es uno de los temas importantes asociados a los trabajos mineros que corresponde a todo aquello relacionado con el relave, las obras constructivas de disposición, en la superficie de la tierra conocida como depósitos de relave que son los residuos producto de actividades minero - metalúrgicas. Los proyectos mineros son ejecutados normalmente en cortos plazos, presentan alta complejidad en técnica y logística, con frecuentes cambios en su alcance y con gran impacto en el control de la seguridad y Calidad. Debido al aumento de los precios de los metales en años recientes, la industria ha incrementado su producción de minerales y por consiguiente la emisión de los residuos (relave), ocasionando que muchos depósitos alcancen su máxima capacidad de almacenamiento con anticipación al tiempo para el que fueron diseñados.

1.4.1 Investigaciones internacionales

De La Cruz (2017) tiene como objetivo principal definir una metodología con el árbol de fallos que permita determinar las causas que condicionan el fallo de las presas de relaves y su liberación catastrófica al medio ambiente. Para este trabajo se han analizado

e integrado una serie de bases de datos y comisiones internacional de grandes presas que son un subconjunto de 9 casos reales de incidentes de presas de relaves en el mundo, luego de hacer verificación actualizada de la información estudiada se identifican un total de 407 casos de falla de presa de relave dentro de esto 300 previos al 2000 y 69 eventos posteriores donde una parte significativa de los fallos reportados 38 casos fueron catastróficos, el pico más alto de falla se produjo en los años 1965. El tipo de investigación tiene una metodología cuantitativa numérica aplicados a la investigación experimental. Los resultados obtenidos en la presente tesis se concluyen que las presas mineras de relave generalmente se desarrollan con muy mala ingeniería de diseño y construcción debido principalmente a los escasos de recurso y personal técnico calcificados. con el resumen de resultados y datos se llegan han concluir seis mecanismos de fallos por deslizamientos del talud o inestabilidad de la pendiente, desbordamiento o sobrepeso, eventos sísmicos, filtración subterránea, erosión interna, licuación estática por estos factores o mecanismos se presenta los fallos de presa de relave. El autor concluye para poder mitigar las fallas de las presas de relaves mineros se requiere un monitoreo y constante capacitación al personal y estudios hidrológicos, hidráulicos y mecánica de suelos. Finalmente, esta tesis tiene un análisis de investigación exploratoria a través de estos ensayos y estudios se puede diagnosticar y conocer las fallas más frecuentes y así poder mejorar en la parte constructiva de las presas de relave. Se concluye que la falta de ingeniería en esos tiempos hace que las aguas en el vaso de presa de relave se filtren y crean erosiones internas, para evitar esto se debió utilizar geomembranas lo cual no se hizo. Tampoco se realizaron estudios de perforación de diamantina para poder conocer los estratos de la roca y suelo y el material de préstamo o afirmado para la elaboración de la presa no tenía un estudio de mecánica de suelo adecuado evitar que fallen las presas de relave.

Jorquera (2019) sudeterminolos pasivos ambientales mineros son un foco de conflicto ambiental para la población de Cabildo, para ello los investigadores realizaron un estudio de 3 etapas. La primera, enfocada en la caracterización de su potencial contaminante y de riesgo para la salud, para la cual se aplicó la ficha de identificación de

sitios con potencial presencia de contaminantes (SPPC); una segunda, enfocada en recopilar antecedentes y datos estadísticos del perfil epidemiológico de la población y una tercera, que evaluó a través de una encuesta de percepción los diferentes valores o significados que la población próxima le otorga al sitio “El Escorial”. El tipo de investigación tiene una metodología cuantitativa, descriptiva y experimental. Los resultados obtenidos por los investigadores posicionaron a “El Escorial” como un sitio de alta jerarquía, es decir, con un alto potencial de presencia de contaminantes; situación que difiere de los resultados de la encuesta, los que mostraron un alto grado de desconocimiento del sitio. Los autores concluyen que la población de Cabildo identifica otros tipos de conflictos ambientales como más relevantes para su población que los 3 estudios hechos por los investigadores esto debido a la desinformación que pueden dejar los pasivos ambientales mineros. Finalmente, la tesis del investigador muestra la importancia del análisis y estudio de los pasivos ambientales mineros y como estos afectan a la población, lo cual es un punto clave para la tesis presentada debido que, en caso de ruptura de presa, generaría gran contaminación en los poblados cercanos que con el pasar de los años podrían dejar secuelas en el medio ambiente y población.

Ortiz y Portilla (2014) tuvieron como objetivo conocer y garantizar la estabilidad del talud de la presa de suelo y roca a lo largo de su vida útil. Concluyeron que hacer estudios de equilibrio limite en tensiones efectivas, a través de ensayo triaxial no drenado podremos obtener sus parámetros de resistencia del suelo la cohesión y fricción con estos datos podemos hacer una simulación con el programa ELIDE podremos conocer su factor de seguridad de la presa de tierra, usando método pseudo estático sísmico. Finalmente, con estos resultados obtenido podremos conocer la estructura del talud y conocer su resistencia al esfuerzo corte, así evitar falla catastrófica de vidas humanas y medios ambiental. Con el estudio de mecánica de suelo podremos conocer el tipo de suelo que existe en la zona y saber sus parámetros resistencia y su porcentaje de compactación en el talud, donde será resistente a los empujes horizontales del agua o evento sísmicos que puede provocar una falla al esfuerzo cortante en la base o corona del talud de tierra

compactada. Por lo tanto, se concluye para obtener mejor estabilidad del talud no están considerando estudios de factor de seguridad del dique con los softwares Max Srtas. en lo cual podremos obtener los valores de factor de seguridad por métodos pseudoestático y dinámico que nos van a garantizar las fallas ante un e vento sísmico. En esta investigación también falto el uso de geomallas para obtener los suelos reforzados con mayor compactación el dique donde se tendrá mejor resistencia y rigidez que va a dar mayor estabilidad y confinamiento al talud del dique donde estos suelos van a resistir esfuerzos de compresión y tensión.

1.4.2 Investigaciones nacionales

Cruzado (2014) mantuvo como objetivo realizar la zonificación geotécnica de suelos y rocas del lugar donde se va a cimentar la presa de relaves Fraylones, que muestra una serie de estudios previos a la construcción de presa y concluye que con base en recopilación de estudios, cartografiado geológico-geomorfológico-estructural, 13 líneas de refracción sísmica, 07 sondajes geotécnicos y 24 estaciones geomecánicas se determinó 11 unidades geotécnicas en suelo y roca que dieron favorable para la cimentación de la presa de relaves Fraylones.

Yalán (2015) tiene como objetivo principal, comparar los diferentes métodos de equilibrio límite utilizados en el análisis de estabilidad de taludes de una presa de tierra del depósito de relaves de minera Bateas, con ello determinar la influencia de los diferentes parámetros tomados en cuenta para dicha comparativa. En este proyecto se concluye que no existe un procedimiento que proporcione un factor de seguridad totalmente confiable, por lo que se realizó el análisis de estabilidad usando los métodos de Janbú, Fellenius, Bishop modificado, Spencer y Morgenstem –Price; en los que el menor fue resultado de Fellenius y el mayor por Bishop. El factor de seguridad estático mínimo resultante la presa de relaves de minera Bateas fue de 1.586, pudiendo concluir que la presa auditada es estable.

Quispe y Zúñiga (2020) tienen como objetivo general identificar la susceptibilidad y factor de seguridad de los taludes en estudio , en la cual los investigadores utilizaron

diferentes métodos de análisis cuyo método específico para emplear para este análisis es el método mora vahrson , dando como resultado una susceptibilidad media en condiciones normales para factores internos (topografía ,geología y humedad del suelo) y una susceptibilidad mediana en la intervención con los factores externos (lluvia y sismo). El tipo de investigación tiene como metodología experimental descriptiva. Los resultados obtenidos por los investigadores fueron los métodos determinísticos para el cálculo del factor de seguridad de los taludes en los subsectores de estudio basándose en especificaciones en el análisis estático y dinámico, por lo que se emplea los métodos de estático, dinámico y métodos de elementos finitos, teniendo en cuenta los resultados mediante los análisis obtenidos en campo son:

condición estática es 1.66, condición pseudo estático es 1.49, condición pseudo 12 dinámico 1.32, condición dinámicos es 1.16, los autores concluyen que los resultados son muy deficientes a la norma lo cual requiere realizar mejoras dentro de esta presa de relave y las medidas de mitigación de riesgo como la construcción con geomembrana, los cuales los resultados de los investigadores fueron los siguientes: condición estática es 1.85, condición pseudo estático es 1.75, condición pseudo dinámico 1.57, condición dinámico es 1.39.

Finalmente, esta tesis se basa en un análisis de taludes y los métodos comparativos para caso de contener una represa de relave.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1. Marco teórico

2.1.1. Mapeo geológico-geotécnico

González, Ferrer, Ortuño y Oteo, (2002) señalan que los mapas geotécnicos constituyen un método en ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológica geotécnica con fines de planificación, uso del territorio y para el proyecto, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería. Los mapas aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una determinada zona para evaluar su comportamiento y prever los problemas geológicos y geotécnicos.

Los mapas geotécnicos deben considerar los siguientes aspectos generales de interés en el campo de la ingeniería geológica:

- Descripción y clasificación geotécnica de suelos y rocas
- Propiedades físicas y mecánicas de los materiales
- Condiciones hidrogeológicas y distribución del agua
- Condiciones y procesos geomorfológicos
- Procesos dinámicos

Los mapas geotécnicos incluyen información descriptiva sobre materiales y procesos geológicos, datos cuantitativos de los diferentes componentes del medio geológico y de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales e información interpretativa para su aplicación geotécnica o ingenieril.

Estos documentos no reemplazan una investigación para una obra concreta, por otra parte, son una ayuda insustituible para el diseño racional de las obras, para prever los problemas geológicos-geotécnicos en una zona, planificar las investigaciones in situ e interpretar los resultados de ensayos de campo y laboratorio.

2.1.2. Logueo geológico-geotécnico

Castilla y Herrera (2012) indican que los testigos obtenidos de la perforación proporcionan una información valiosa para la identificación de la geología de una zona. Asimismo, el manejo de los testigos se debe realizar de manera sistemática y muy cuidadosa para no proporcionar información confusa o errónea. Además, la cantidad de metros de testigo obtenido es tal que se necesita una infraestructura que permita su almacenamiento para poder localizar cada perforación realizada.

Para ello, la profundidad de la perforación recuperada se coloca en las llamadas “cajas portatestigos” que serán aquellos elementos que permitirán almacenar las muestras obtenidas de manera ordenada para su posterior reconocimiento y reconstrucción de la secuencia obtenida.

Realizando una primera evaluación sobre la caja portatestigos de roca se observan estructuras litológicas a gran escala, asimismo para observar formaciones más a detalle hay que extraer el testigo de la caja y rotarlo para incidirle luz en diferentes direcciones. Una vez determinado el tipo de roca, se identifican la orientación de las estructuras encontradas para correlacionarla con la estructura del macizo rocoso.

El logueo geológico consiste en registrar los datos de la perforación misma ya sea número de sondeo, ubicación, coordenadas, altitud, rumbo, ángulo de perforación, fecha de inicio y fin del sondeo, datos de la empresa perforista. Existen dos formatos ya sea un registro en suelo o en roca.

Para el logueo geológico en suelo, se utiliza la clasificación SUCS, en donde se colocarán los datos como el tipo de suelo, el color con una tonalidad si corresponde, la consistencia o densidad, estructura, humedad, plasticidad, forma de los clastos, el tamaño máximo de las gravas, los porcentajes de cada material granular ya sea grava, arenas y

finos, alguna anotación complementaria, características y finalmente los ensayos in situ.

Para el logueo geológico en roca, se describirá la litología, el color con una tonalidad si corresponde, dureza, meteorización, estructura, textura, porosidad, fracturamiento, anotaciones y ensayos in situ si se realizan.

2.1.3. Clasificación geomecánica RMR

Bieniawski (1989) señala que sistema de clasificación se ha desarrollado con base a otras clasificaciones existentes, la mayor limitación de esta clasificación está en su aplicación en rocas expansivas y fluyentes. El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (Rock Mass Rating), que indica la Calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- a) Resistencia a la compresión simple de la roca intacta, es decir de la parte de la roca que no presenta discontinuidades estructurales.
- b) RQD, este parámetro se considera de gran interés, para seleccionar el revestimiento de los túneles.
- c) Espaciado de las diaclasas o discontinuidades, que es la distancia medida entre los planos de discontinuidad de cada familia.
- d) Naturaleza de las diaclasas el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:
 - Apertura de las caras de la discontinuidad.
 - Continuidad de las diaclasas o discontinuidad según su rumbo y buzamiento.
 - Rugosidad.
 - Dureza de las caras de la discontinuidad.
 - Relleno de las juntas.
- e) Presencia del agua, en un macizo rocoso diaclasado, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, las descripciones utilizadas para este criterio son: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.
- f) Orientación de las discontinuidades.

Para obtener el índice RMR de Bieniawski se realiza lo siguiente:

- Se suma las 5 variables o parámetros valorados, eso da como resultado un

valor.

- El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades, es un parámetro desfavorable, por lo tanto, su valor se resta del valor índice obtenido cuando se suma los 5 primeros parámetros, obteniéndose el valor final del índice RMR y se busca ese valor en la tabla para su clasificación.

2.1.4. Concepto de calidad de roca

Bieniawski (1989) señaló que, la calidad de la roca se mide partir de la incidencia de los parámetros del RMR, se expresa la condición de la excavación con un índice cuya valoración varía de 0 a 100, siendo calcificación como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

Calidad de roca en función al RMR

Clase	Calidad	Valoración Índice RMR
Roca Tipo I	Muy Buena	100 - 81
Roca Tipo II	Buena	80 - 61
Roca Tipo III	Regular	60 - 41
Roca Tipo IV	Pobre	40 - 21
Roca Tipo V	Muy Pobre	≤ 20

Nota: Bieniawsky (1979)

2.1.5. Ensayos de conductividad hidráulica

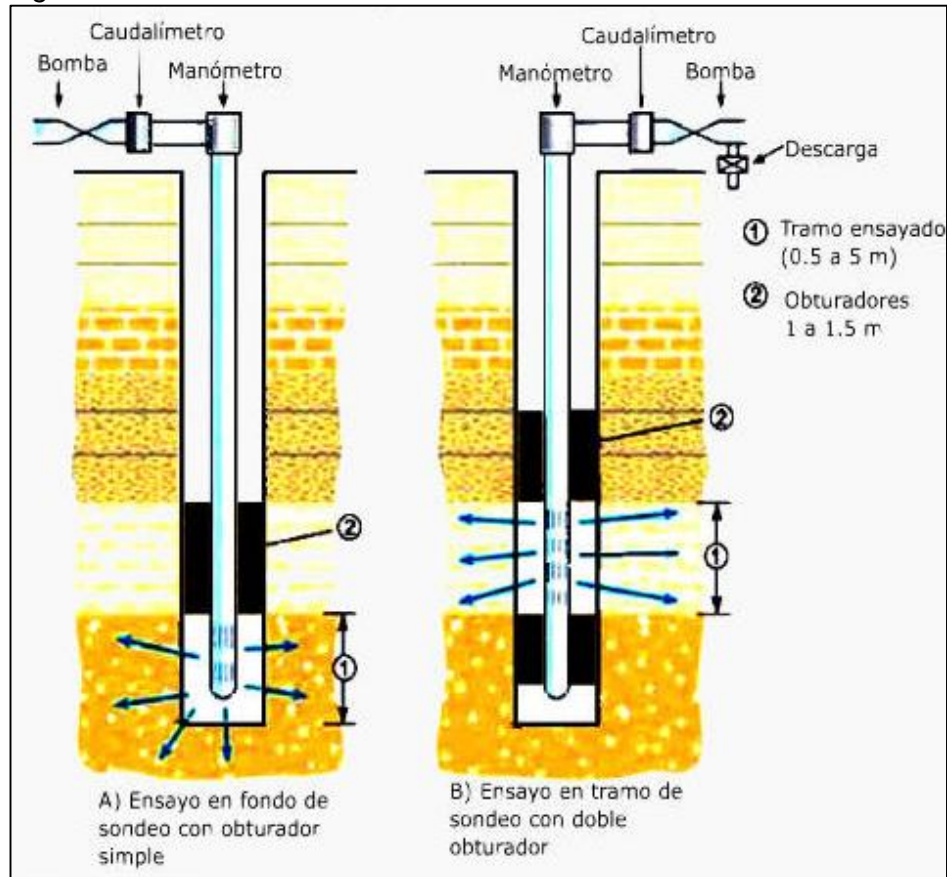
2.1.5.1 Ensayo Lugeon. Lugeon (1933) señalan que este ensayo nació como un método de medir la permeabilidad del terreno para proyectos de presa, sobre todo para las inyecciones de cemento. La prueba se utiliza para medir la cantidad de agua inyectada en un segmento del hoyo perforado a una presión constante, el valor se define como la pérdida de agua en litros por minuto y por metro de pozo en un exceso de presión de 1 MPa. Posteriormente se realiza con gran profusión para determinar la permeabilidad de rocas consolidadas en todo tipo de estudio.

Este es un ensayo de tipo de carga constante que tiene lugar en una parte aislada del terreno por medio de un pozo de sondeo. El agua a presión constante se inyecta en la masa de suelo a través de una tubería delimitada por los neumáticos Packer como se

muestra en la figura 3, un obturador o Packer es un mango de goma inflable que se expande radialmente para sellar el espacio anular entre las barras de perforación y las paredes.

Figura 3

Ensayo Lugeon



Nota: Configuración de la prueba de Lugeon.

Las unidades en las que se mide la permeabilidad son centímetros por segundo [cm/s]. Para mostrar los resultados de los ensayos se utiliza la unidad denominada Lugeon, que equivale a un litro por metro por bar de presión ensayada a una presión de 10 bar.

$$1.3 \times 10^{-5} [cm/s] = 1 \text{ Lugeon}$$

Algunos autores que han definido pruebas donde la presión puede ser constante o variable; siendo estas últimas las más comunes.

Weaver y Bruce (2007) consideran que, al inicio de la permeabilidad si el ensayo da valores iguales o superiores a 10^{-3} cm/s con presiones bajas, no es necesario ensayar a presiones mayores.

Littlejohn (1992) sugiere que para rocas débiles o suaves se debe usar intervalos o estadios de presión de 2-4-6-4-2 bares, y para rocas duras intervalos de 10-20-40-20-10 bares. El tiempo de inyección es de 5 a 10 minutos para cada intervalo; y el tramo ensayado debe estar entre 3 y 5 m.

Ewert (1985) indica que cinco estadios de presión no son suficientes para tener una idea precisa; los estadios serían a-b-c-d-c-b-a. Los intervalos de tiempo son de 10 minutos y el tramo de ensayo no debe ser mayor a 5 m.

Houlsby (1990) indica utilizar cinco estadios de presión: a-b-c-b-a aplicados durante 10 minutos. Hace también un análisis de los resultados para cada estadio y presenta un modelo para cada ensayo. Describe cinco condiciones básicas que se pueden dar:

Flujo Laminar: Valores Lugeon similares para cada estadio de presión, usualmente indica un flujo suave en fracturas finas. Como valor Lugeon final indica usar cualquier valor de los 5 obtenidos o hacer un promedio de estos.

Flujo Turbulento: Valores simétricos decrecientes mientras aumenta la presión. Indica un flujo rápido a través de fracturas gruesas. El valor Lugeon considerado es el que corresponde a la presión máxima.

Dilatación: El valor Lugeon más alto corresponde a la presión máxima. Indica una dilatación local de fracturas por compresión de materiales suaves adyacentes o que fracturas adyacentes paralelas se cierran. El valor Lugeon considerado es el que corresponde a la presión más baja o intermedia.

Erosión: Los valores Lugeon incrementan incluso al bajar la presión. Indica un lavado del material que rellena las fracturas. El valor Lugeon considerado es el de la presión final del ensayo. Si se repite con frecuencia durante un sondeo puede indicar que la presión máxima utilizada es demasiado grande.

Relleno: Los valores Lugeon decrecen durante todo el ensayo. Lo que indica que se llenan los vacíos presentes en la roca. El valor Lugeon utilizado es el más bajo de todo el ensayo.

Figura 3

Condiciones de los ensayos de permeabilidad

		PATRONES TIPOS DE RESULTADOS DE PRUEBAS LUGEON			
TIPO DE FLUJO	ETAPAS	PATRONES LUGEON	INTERPRETACION DE LOS PATRONES	VALOR A USAR COMO UNIDAD LUGEON	CURVA DE INTERPRETACION
Flujo Laminar	1°		Los 5 valores Lu - geon son aproximadamente iguales	Se usa el promedio de los 5 valores	
	2°				
	3°				
	4°				
	5°				
Flujo turbulento	1°		El valor Lugeon mas bajo ocurre en la presión máxima	Se usa el valor Lugeon para la presión máxima	
	2°				
	3°				
	4°				
	5°				
Flujo dilatación	1°		El valor Lugeon más alto ocurre en la presión máxima	Se usan los valores Lugeon para las presiones mínimas y/o medias	
	2°				
	3°				
	4°				
	5°				
Flujo erosión	1°		Los valores Lugeon aumentan en el proceso de la prueba (por cambios en el medio rocoso)	Se usa el valor Lugeon más alto	
	2°				
	3°				
	4°				
	5°				
Flujo relleno	1°		Los Lugeones decrecen en el proceso de la prueba (los vacíos son gradualmente rellenados)	Se usa el valor Lugeon más bajo	
	2°				
	3°				
	4°				
	5°				

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

AUTOR : HOULSBY 1976

Nota: Análisis del ensayo de Lugeon modificado por Houlsby (1976).

Ewert (2003) considera en su estudio, con datos de experiencias en algunos proyectos y haciendo un análisis comparativo presenta algunas correlaciones del valor Lugeon (Lu) y la posibilidad de inyección en la roca:

- Valores entre <math><1 - 5 Lu</math> indican roca no inyectable.
- Valores entre $5 - 10 Lu$ indican roca pobremente inyectable.
- Valores mayores a $10 Lu$ indican roca inyectable.

Houlsby (1990) indica que se debe inyectar la roca cuyos valores de permeabilidad sean mayores a $10 Lu$.

2.1.5.2 Ensayo Lefranc. Sánchez San Román (2011) considera que el ensayo Lefranc y ensayo de Lugeon el método más practicado para determinar el coeficiente de

permeabilidad de un suelo en el campo (in-situ), dado que es una técnica sencilla en cuanto a costos y trabajo y para su realización se realizan perforaciones de pocos metros (de 2 a 15 metros dependiendo la obra).

Para obtener resultados con un alto nivel de confianza este ensayo se realiza en suelos permeables o semipermeables, de tipo granular, situados por debajo del nivel freático, y en rocas muy fracturadas, existen dos métodos para realizar el ensayo, a nivel constante o a nivel variable.

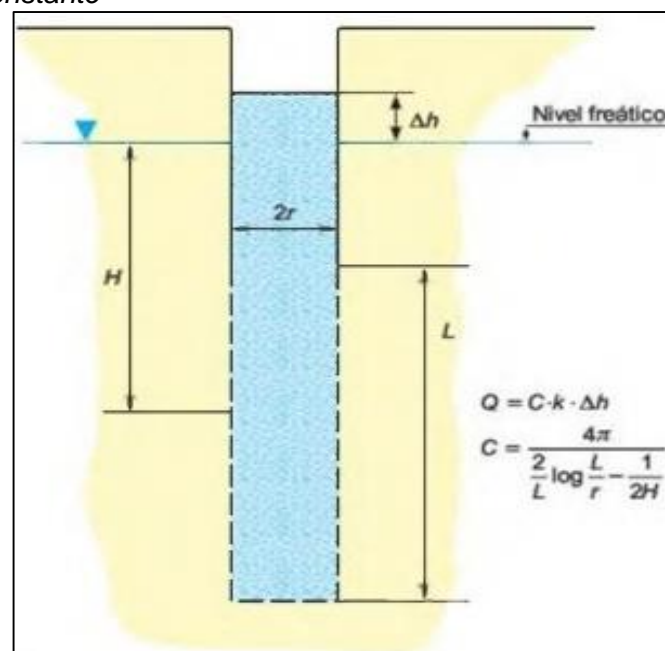
Ensayo de Lefranc con nivel constante:

Su procedimiento consiste en rellenar de agua el sondeo y medir el caudal necesario para que el nivel permanezca constante. La medida del caudal de admisión debe realizarse cada 5 minutos manteniendo el nivel constante durante 45 minutos. Si la admisión es muy alta debe medirse cada minuto durante los 20 primeros minutos y después cada 5 hasta llegar a los 45 minutos.

La realización del ensayo requiere que, antes de medir tiempos y caudales, se rellene el sondeo de agua, observando que el aire es expulsado y que se estabiliza el nivel y la velocidad de descenso, lo que indica que se alcanzó un régimen constante.

Figura 5

Ensayo Lefranc constante



Nota: Hipótesis de cilindro alargado (Olalla y Sopeña, 1991).

Ensayo de Lefranc con nivel variable:

Jiménez, De Justo y Serrano (1981) considera que este método es poco confiable y meramente indicativo, aquí pueden presentarse dos casos: que la zona filtrante tenga un diámetro igual o distinto que la entubación del piezómetro (ver figura 6).

Se hace subir el nivel de agua hasta una altura determinada, y posteriormente se miden dos niveles, h_1 y h_2 , entre las que ha transcurrido un tiempo t . El coeficiente de permeabilidad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{d_e^2 \ln(2L/d)}{8Lt} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (1)$$

Donde:

K =Coeficiente de permeabilidad

h_1 y h_2 =Altura de agua al principio y al final del ensayo

t = Tiempo transcurrido entre la observación de los niveles de agua h_1 y h_2 . L = longitud zona filtrante

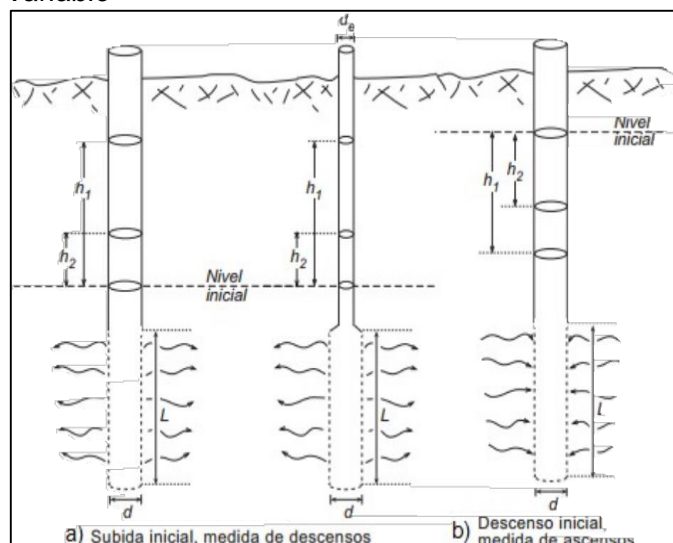
d =Diámetro de la zona filtrante

d_e = Diámetro de la entubación (puede ser igual a d)

La siguiente figura 6, muestra de manera clara el diseño del sondeo para el ensayo, así como las distancias necesarias para el cálculo del coeficiente de permeabilidad.

Figura 4

Ensayo Lefranc variable



Nota: Esquema del sondeo para realizar el ensayo de Lefranc con nivel variable.

2.1.6. Criterios de diseño de presa de relaves

Los criterios de diseño se basan en los códigos y normativas nacionales e internacionales aplicables al estándar actual de la industria indicados líneas abajo.

- Guías Ambientales del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), incluyendo:
- Volumen IX “Guías Ambientales para el Cierre y Recuperación de Minas” (publicado por MINEM en 1997).
- Volumen XVI “Estabilidad de Residuos Mineros de Actividades de Minas” (publicado por MINEM en 1998).
- Guías para la Seguridad de Presas de la Asociación Canadiense de Presas: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams of the Canadian Dam Association (CDA) 2019.
- Estándar del manejo de relaves del Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM) 2020.

2.1.7. Marco conceptual

- Testigo. – Muestra cilíndrica de roca, de pequeño diámetro que se recupera para alcanzar zonas inaccesibles desde la superficie mediante un proceso de perforación.
 - Estructura. – Configuración geométrica de las rocas y la geología estructural se ocupa de estudiar dicha configuración cuando las rocas han sufrido alguna deformación.
 - Sección. – Representación gráfica de la intersección de los cuerpos geológicos en el subsuelo con un plano vertical de una orientación determinada.
 - Intrusivo. – Cuerpo rocoso que resulta de la solidificación del magma ascendente entre rocas sólidas de la corteza terrestre ya existentes.
- Sondeo. – Medir los niveles de agua en una perforación diamantina.

2.2. Hipótesis y operacionalización de variables

Al evaluarse adecuadamente la geología, la conductividad hidráulica (Lugeon y

Lefranc) y el análisis geológico-geotécnico en calicatas, se podrá determinar las permeabilidades de las rocas y así plantear la mejor impermeabilización para la construcción de presa de relaves.

Variable independiente: Análisis geológico geotécnico de las perforaciones diamantinas para presa de relaves.

Variable dependiente: cómo influye la conductividad hidráulica (Lugeon y Lefranc) en la construcción de presa de relaves

2.3. Metodología de la investigación

2.3.1. Tipo y diseño de la investigación

Enfoque

El tipo de la presente investigación con respecto al enfoque es una investigación CUANTITATIVA considerando que seis de las siete características epistemológicas son de naturaleza cuantitativa (Objetiva, Excluyente, Deductivo contrasta hipótesis, Comprobación confirmación reducción, Al resultado, Particulariza y Desde afuera) y uno es de naturaleza cualitativa (Interacción de factores).

Alcance

El tipo de la presente investigación con respecto al alcance corresponde a una Investigación explicativa, porque en el proceso de investigación se obtiene resultados de campo y las cuales se analizan para brindar de forma cuantitativa de la conductividad hidráulica in situ del macizo rocoso.

El trabajo de investigación se delimita en brindar la mejor forma de impermeabilización del macizo rocoso con los resultados obtenidos de la geología, los ensayos de permeabilidad (Lefranc y Lugeon) y calicatas obtenidas en campo de 13 perforaciones diamantinas.

Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación corresponde a un diseño experimental, porque se realizan perforaciones diamantinas; dentro de ellas se realizan cada 5m. los ensayos de permeabilidad.

Unidad de análisis

Golder Associates Perú S.A. desarrolla el Estudio de la nueva área de soporte (Presa de Relave), considera el estudio, construcción y operación de un depósito que permita contener y almacenar los relaves que se generarán por la explotación minera en el Tajo abierto.

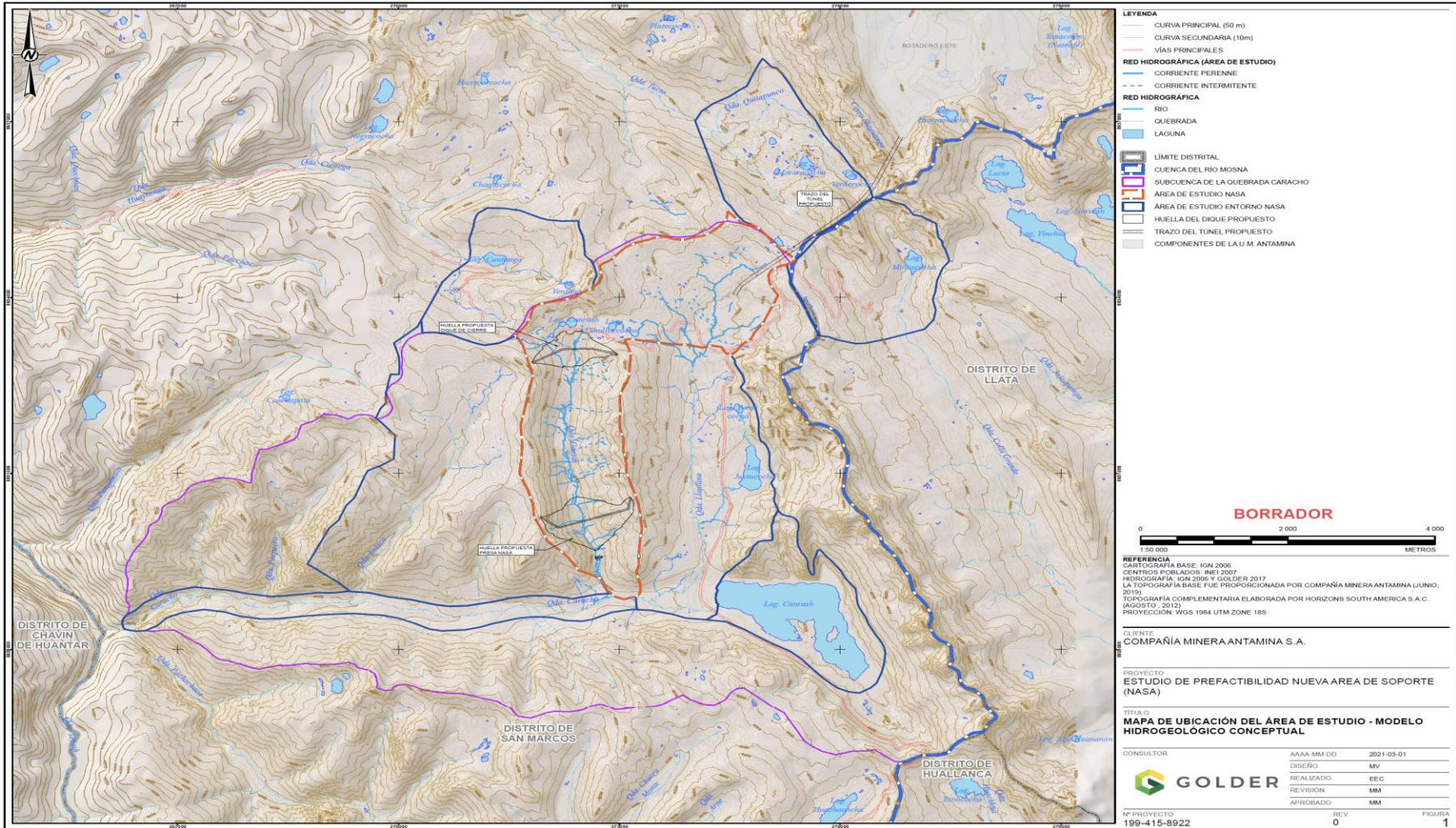
Las potenciales zonas de préstamo identificadas se ubican en la zona sur del distrito de San Marcos, provincia de Huari, región Ancash. Se sitúa en la parte norte del Perú, en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes, dentro del área que comprende el cuadrángulo de Recuay. La referencia de la geología regional se detalla en el boletín N° 76 de la Serie A de la Carta Geológica Nacional (hoja 20-I; INGEMMET, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico).

El lugar de estudio se encuentra ubicado en el norte del Perú, a una altura promedio de 4300 m.s.n.m. La mina está ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari en la región Ancash, en el área del proyecto se diferencian dos estaciones claramente marcadas en el año: la estación lluviosa, entre noviembre y abril, y la estación seca, entre los meses de mayo hasta octubre. La temperatura promedio en la zona es de 5°C. En la Mapa 1, se observa la ubicación del proyecto NAS, con los detalles a nivel regional y local.

La unidad de análisis del presente trabajo de suficiencia es la perforación NAS de 1005.8m que forma parte de la campaña de investigaciones geognósticas para la Nueva Área de Soporte del año 2021, la misma se visualiza en la Mapa 2.

Mapa 1

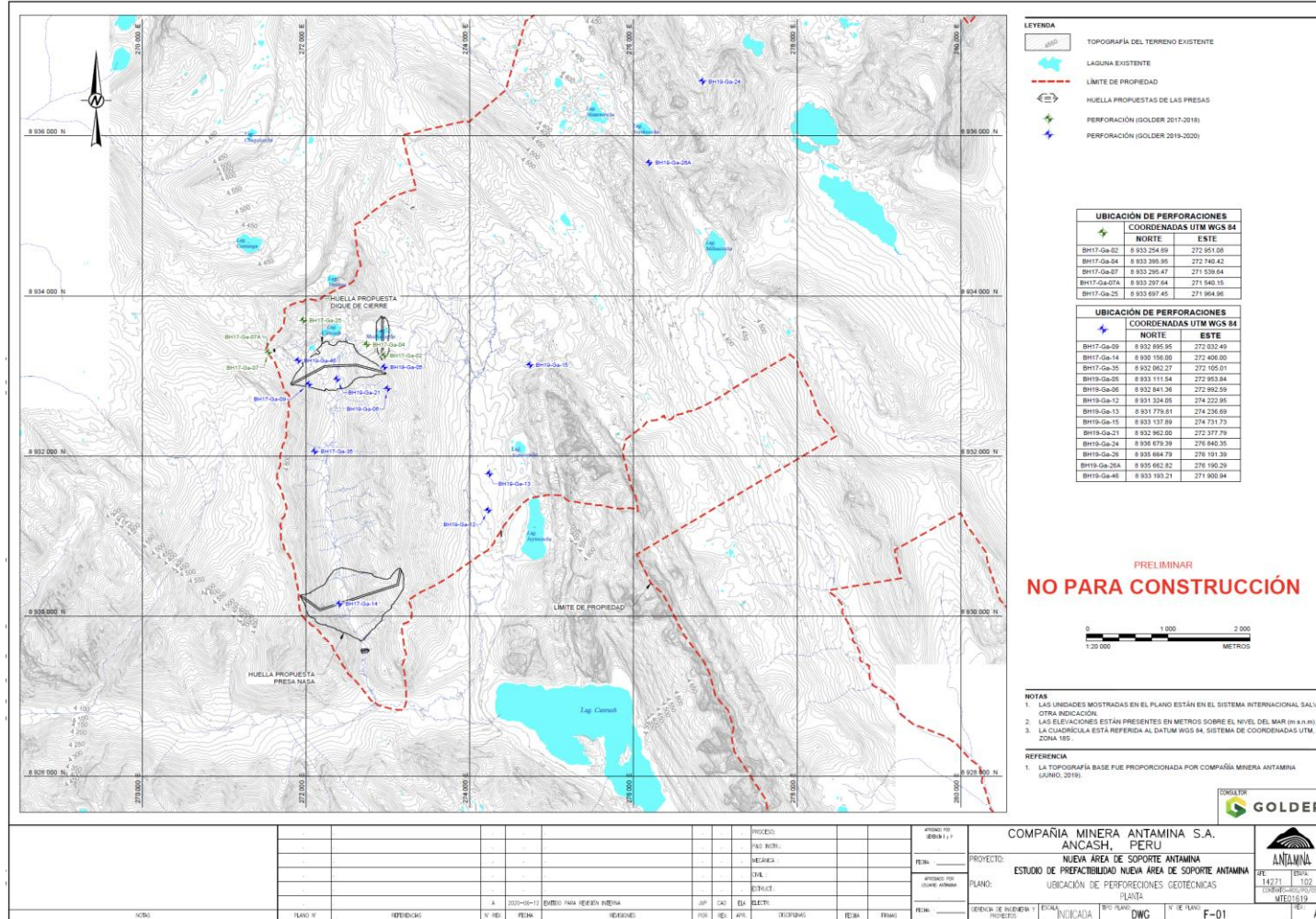
Mapa de ubicación del área de estudio



Nota: Golder Associates

Mapa 2

Ubicación de la perforación



Nota: Golder Associates S.A. (2021)

Las perforaciones diamantinas fueron ejecutadas por la empresa Explomin, con máquinas Sandvik, modelo DE710. La perforación se realizó con diámetro HQ3 (triple tubo) y con agua limpia como fluido de perforación, como se observa en la tabla 3.

Tabla 2

Resumen de pruebas de conductividad hidráulica

N°	Código	Zona	Coordenadas UTM (WGS-84)		Cota (msnm)	Inclinación	Profundidad Total (m)
			Este	Norte			
1	BH19-GA-14	Presa Principal	272406	8930156	4,327.22	-90	29.4
2	BH19-GA--05	Cantera I	272953	8933111	4,594.67	-90	70.1
3	BH19-GA--21	Presa Auxiliar	272377	8932962	4,439.68	-90	100
4	BH19-GA--09	Presa Auxiliar	272032	8932895	4,524.65	-90	71
5	BH19-GA--35	Vaso	272105	8932062	4,423.10	-75	100
6	BH19-GA--15	Cantera Ingreso	274731	8933137	4,463.89	-90	80
7	BH19-GA--06	Cantera I	272992	8932841	4,607.20	-90	70
8	BH19-GA--12	Cantera Llaullina	274222	8931324	4,386.75	-90	100.2
9	BH19-GA--13	Cantera Llaullina	274236	8931779	4,398.24	-90	50.3
10	BH19-GA--24	Túnel NAS	276840	8936679	4,500.08	-90	80
11	BH19-GA--26	Túnel NAS	276191	8935664	4,503.64	-60	120
12	BH19-GA--26A	Túnel NAS	276190	8935662	4,503.64	-90	64.2
13	BH19-GA--46	Presa Auxiliar	271900	8933193	4,536.76	-90	100
TOTAL							1005.8

Nota: Elaboración Propia

2.3.2. Matriz de consistencia

Título: Análisis geológico-geotécnico en rocas sedimentarias para la adecuada impermeabilización de presa de relaves. En la Tabla 4, se observa la matriz de consistencia.

Tabla 3

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables		Indicadores	Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos
			dependiente	independiente		
		Evaluar adecuadamente				
¿En qué medida afecta el mal análisis geotécnico en la impermeabilización de una presa de relaves?	Análisis geotécnico en rocas sedimentarias y cuál es el método más eficiente de impermeabilización en la construcción de una presa de relaves	la geología, perforación diamantina y calicatas permite determinar las permeabilidades de la roca y brindar el mejor método de impermeabilización	¿Cómo influye la conductividad hidráulica en la construcción de presa de relaves?	Análisis geológico-geotécnico de las perforaciones diamantinas para presa de relaves	RMR, perforación diamantina, ensayo de permeabilidad, calicatas	Perforación geotécnica, ensayos Lugeon, Lefranc y calicatas

Nota: Elaboración propia

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. Recolección de datos

Previo a la recolección de datos se realizó un trabajo de gabinete en el cual se investigó la geología regional de la zona de estudio en base a los boletines del Ingemmet a una escala 1:100 000 y 1:50 000, así como la geomorfología con ayuda del programa Google Earth para la identificación de zonas con presencia de suelos y basamentos rocosos de manera preliminar, se describen las características geológicas, estratigráficas y estructurales halladas en el mapeo geológico, regional y local, realizado en la quebrada Ganyas y las quebradas aledañas del proyecto NAS.

Posteriormente se realizaron las actividades de campo para la recolección de datos los cuales se clasificaron en:

- Mapeo geológico superficial.

Se realizó a partir de la evaluación geológica superficial de la zona de estudio, se utilizó un GPS marca Garmin modelo 65S para ubicar los puntos en los planos con topografía y así proyectar los contactos y litologías del terreno, para estructuras geológicas se empleó una brújula marca Brunton para determinar el rumbo y buzamiento de los principales planos de estratificación.

Figura 7

Mapeo geológico superficial en el área del proyecto NAS



Nota: Elaboración propia

- Logueo geológico

Esta información fue registrada en campo, el formato en el cual se recopiló la información contiene: descripción de suelo (plasticidad, consistencia o compacidad, humedad, color, % de bolos y bloques, % partículas < 3", estructura, angularidad, petrología de las partículas y origen) y rocas (litología, color, tamaño del grano, meteorización, resistencia, fracturamiento, forma de la fractura, características de las fracturas como rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno).

Figura 8

Recolección de información de la perforación diamantina



Nota: Elaboración propia

- Ensayo de conductividad hidráulica

Se realizaron los ensayos tipo Lugeon y Lefranc que nos permiten determinar la (permeabilidad) tanto del macizo rocoso como de los suelos respectivamente. Estos ensayos se realizarán esencialmente dentro de la perforación de sondajes de investigación geotécnica y/o hidrogeológica a determinados tramos de este.

La conductividad hidráulica en el macizo rocoso se mide a través de la infiltración por los poros, fracturas y/o cavidades de la roca, en cambio la conductividad hidráulica en los suelos se mide por la infiltración ocurrida entre los granos (poros) del suelo.

Figura 9

Recolección de información de ensayos de permeabilidad



Nota: Elaboración propia

- Calicatas

Con la finalidad de conocer las propiedades y condiciones de los suelos se deben realizar (46) calicatas hasta una profundidad de 5m, de esta profundidad se ha extraído las muestras para los respectivos ensayos de laboratorio, las calicatas se realizarán cada (6 a 8m) dependiendo de los materiales encontrados NORMA ASTM D 420.

Muestreo de suelos en calicatas excavadas según Norma ASTM D 420: En las calicatas se ha efectuado la toma de muestras de los estratos que conforman el suelo de cimentación acorde a las recomendaciones de la Norma.

Figura 5

Recolección de información de calicatas



Nota: Elaboración propia

3.2. Procesamiento de la información

3.2.1. Geología y geomorfología

Se realizó el mapeo geológico regional y local del área de estudio en la etapa conceptual del estudio. Este mapeo comprendió los predios Ganyas e Ichic Colla I, la cuenca alta y media de la quebrada Llaullina, Estaca y Caracho y las nacientes de las microcuencas Tucto y Ciénaga - Memorandos técnicos:

Geología regional, local y de detalle de la nueva área de soporte -NAS (Golder, 2017) y Geología del área de estudio entorno NAS (Golder, 2018).

3.2.1.4 Geología Regional. La geología del área de estudio regional presenta una sucesión de secuencias sedimentarias del Jurásico y Cretáceo, y cuerpos intrusivos de diferente composición. Las secuencias sedimentarias se encuentran plegadas en el área,

los pliegues son cerrados, de alto ángulo y sus ejes siguen la orientación SE–NO y N–S. Los pliegues se observan volcados en algunos sitios, invirtiendo la secuencia estratigráfica.

La microcuenca de la quebrada Ganyas, tiene una forma típica de valle glacial, con sección en U, fondo de valle amplio y alargado y flancos moderadamente empinados a escarpados. Las nacientes de la quebrada se ubican en un circo glacial ubicado al sur del cerro Damián Punta. Este circo se encuentra abierto hacia el este y conectado con el predio Ichic Colla I. Presenta pequeñas lagunas aisladas, represadas por depósitos morrénicos o afloramientos de arenisca y lutitas intercaladas. El fondo del valle está cubierto por materiales coluviales y fluvioglaciares, con algunos depósitos morrénicos en la parte superior y central de la quebrada. La sección del valle se va estrechando hacia la desembocadura en la quebrada Llaullina, sin embargo, no pierde su característica forma de U. Los flancos en ambas márgenes de la quebrada son empinados a moderadamente escarpados. Presentan afloramientos de arenisca, lutita, lutita carbonosa, cuarcita y monzonita; sin cobertura o con una cobertura coluvial que varía entre 0.5 – 10.0 m de espesor. Se observan pequeñas quebradas tributarias en ambas márgenes, sin embargo, no se observa formación de valles colgados en ninguno de los flancos.

La disposición de los estratos, los plegamientos y las intrusiones monzoníticas tienen un fuerte control estructural con orientación promedio N 120° a 150°. Los cuerpos intrusivos presentes en la quebrada Ganyas son de tipo monzonítico, fresco a ligeramente alterado y moderada a intensamente fracturado. Los contactos entre los intrusivos monzoníticos y la secuencia sedimentaria generan afloramientos de manantiales y formación de bofedales. Los depósitos morrénicos en la quebrada Ganyas se restringen a la zona superior de la misma. Los depósitos coluviales se encuentran en las partes bajas de ambos flancos de la quebrada Ganyas.

La zona de Ichic Colla I presenta una topografía suave y semicircular, debido a la acción glacial durante el Pleistoceno que formó un circo glacial. Las pendientes del terreno varían entre 5° – 15°, con un aumento en las pendientes a 20° - 60° en los afloramientos rocosos del extremo noroeste y sureste del predio Ichic Colla I. En el predio se observan

amplios bofedales, ubicados sobre rocas de baja permeabilidad (de acuerdo con la observación de las condiciones litológicas y estructurales en campo durante el mapeo realizado), delimitados por lomadas alargadas y de poca elevación y orientación sureste-noroeste; estas lomadas suelen ser de arenisca o caliza, con una débil cobertura vegetal. La erosión fluvial ha originado la formación de pequeñas gargantas entre el límite de las lomadas y la zona central del circo glacial. La presencia de fallamientos de orientación SE-NO y SO-NE ha influido en la morfología del predio Ichic Colla I. Las quebradas alimentadoras de Llaullina siguen estas direcciones principales.

En la microcuenca de la quebrada Llaullina, los depósitos cuaternarios tienen espesores significativos, los depósitos morrénicos en la parte alta de la cuenca pueden servir como potenciales canteras de material de baja permeabilidad (de acuerdo con la observación de las condiciones litológicas y estructurales en campo durante el mapeo realizado). La zona presenta una marcada división litológica y estructural en ambos lados de la Falla Canrash, que puede ser seguida a lo largo de toda la quebrada Llaullina, donde el alineamiento de la estructura es N – S, desde el sur de la laguna Canrash hasta las nacientes de esta quebrada. En este sector, la falla cambia a orientación E – O. Se observan buenas condiciones de estanqueidad en el predio de Ichic Colla I, como consecuencia de la sucesión de secuencias finas de baja permeabilidad (lutita, lodolita calcárea) intercaladas con secuencias medias a gruesas de permeabilidad moderada (arenisca, cuarcita, caliza).

Asimismo, las microcuencas en el entorno NAS presentan características típicas de valles glaciales, asimismo con diferentes orientaciones: las quebradas Llaullina y Estaca tienen orientación norte – sur, las quebradas Tucto y Ciénaga tienen orientación sureste – noroeste, y la quebrada Caracho tiene una orientación este – oeste.

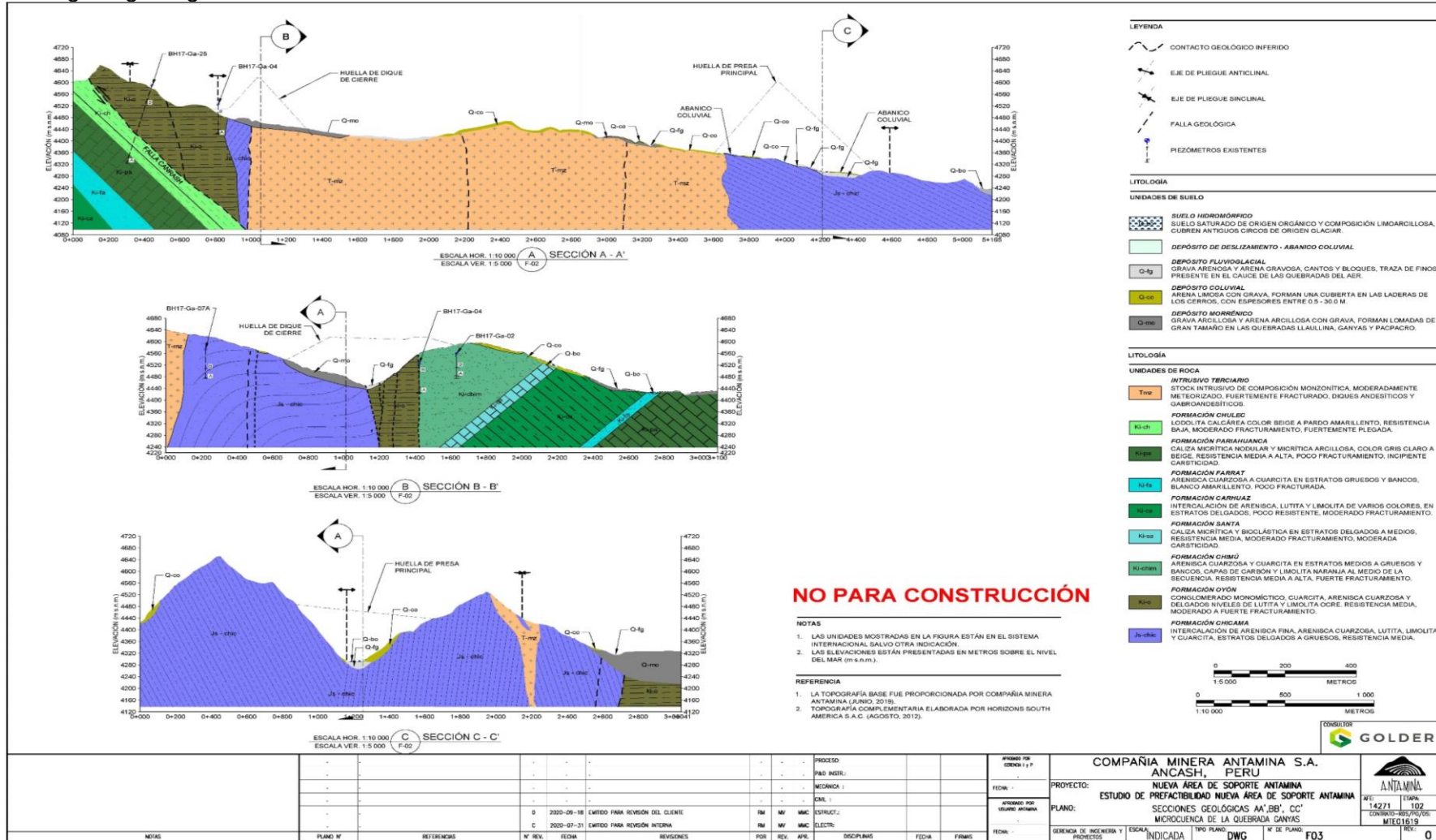
Estas quebradas presentan características típicas de valles glaciares, con amplios circos glaciales cubiertos de suelos hidromórficos, flancos abruptos y fondos de valle amplios, que se van estrechando hacia la desembocadura. En los flancos predominan los depósitos morrénicos y coluviales, intercalados con afloramientos rocosos. En el fondo de

los valles predominan los depósitos fluvioglaciares y morrénicos. Las quebradas Estaca y Caracho se estrechan en sus desembocaduras, formando paisajes de tipo valle – cañón.

En general, el relieve montañoso a muy abrupto, como consecuencia del modelado glacial de las formaciones del Jurásico Superior al Cretáceo Superior, intensamente deformadas por los procesos tectónicos andinos que han dado lugar a fallas regionales de gran extensión y plegamientos intensos, que siguen la dirección NO – SE. Los afloramientos de arenisca cuarzosa, cuarcita y caliza micrítica presentan farallones subverticales a verticales de hasta 100 m de altura, como se observa en la margen derecha de la laguna Canrash, o en el flanco norte del cerro Damián Punta. En contraste, los afloramientos de lutitas, arenisca fina, intrusivos monzoníticos, margas y caliza delgadas presentan relieves ondulados a moderadamente escarpado.

Mapa 3

Secciones geología regional NAS



3.2.1.5. Geología local

Quebrada Ganyas:

La quebrada Ganyas tiene dirección N-S y forma típica de valle glacial, con sección en U, fondo de valle amplio y alargado y flancos moderadamente empinados a escarpados. Las nacientes de la quebrada se ubican en un circo glacial ubicado al sur del cerro Damián Punta. Los flancos en ambas márgenes de la quebrada son empinados a moderadamente escarpados, sin cobertura o con una cobertura coluvial que se estima menor que 5.0 m de espesor. Se observan pequeñas quebradas tributarias en ambas márgenes.

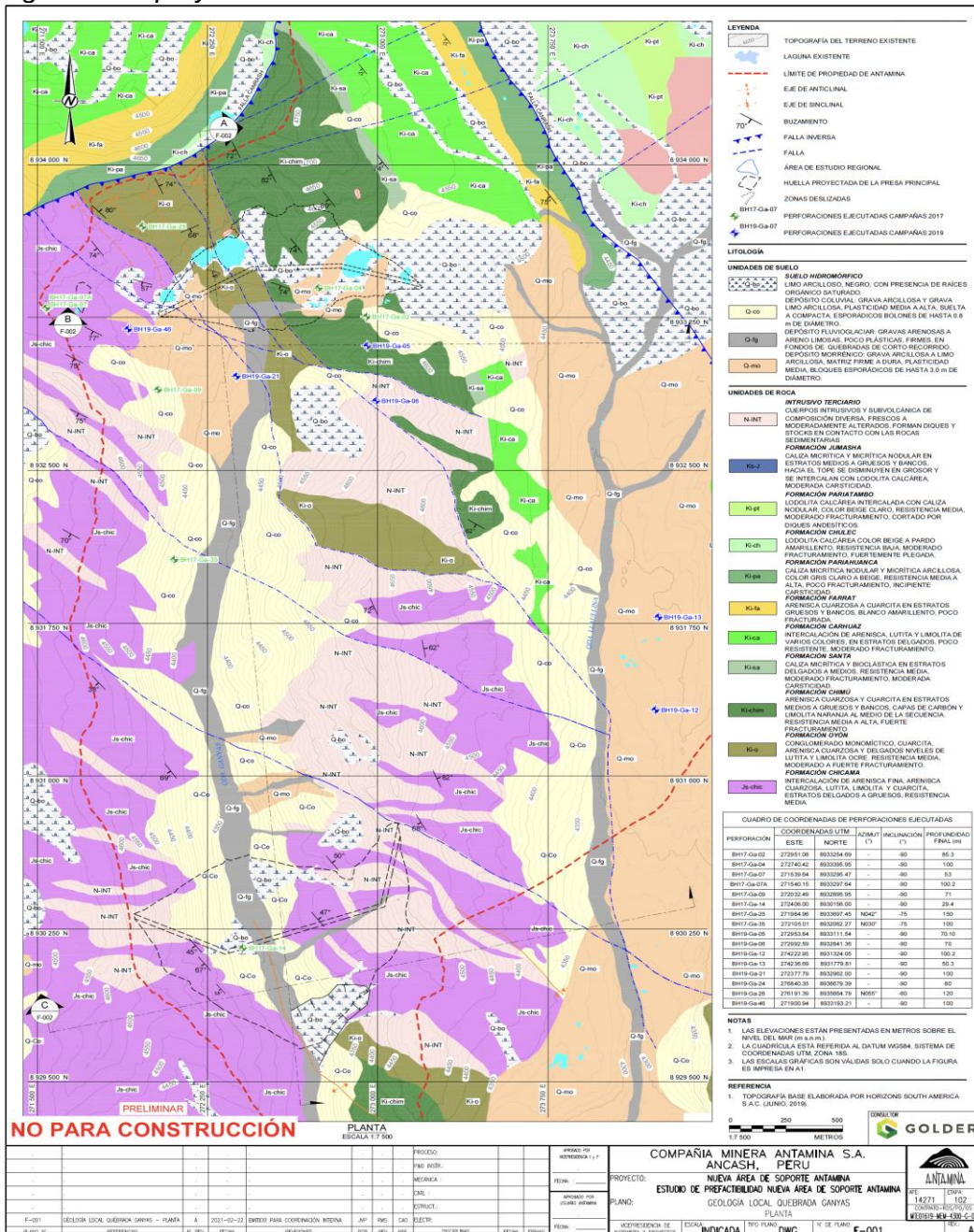
Estratigráficamente, la quebrada Ganyas se caracteriza por una sucesión de unidades de areniscas, lutitas y pizarras de la Formación Chicama en la parte inferior de la quebrada, en la zona central de la quebrada afloran areniscas cuarzosas y lutitas de la Formación Oyón, y en la zona superior se tiene areniscas cuarzosas y cuarcitas de la Formación Chimú. Se tiene, además, cuerpos intrusivos a manera de diques con orientación promedio N 130° que cortan la secuencia estratigráfica, y un stock de composición diorítica a monzonítica en el flanco izquierdo de la zona central de la quebrada. Los depósitos cuaternarios están conformados por depósitos morrénicos en la parte superior de la quebrada y depósitos coluviales, fluvio-glaciares e hidromórficos en la parte central e inferior de la misma.

La quebrada está dividida en dos zonas bien definidas: la zona de nacimiento y la zona intermedia y de desembocadura, ambas zonas están separadas por una falla de orientación aproximada N 110° - 130°. La zona de nacimiento presenta un circo glacial separado con respecto al resto del valle por un desnivel de entre 50 – 80 m, formado sobre un pliegue anticlinal tumbado y fallado, cuyo núcleo lo constituyen capas de arenisca cuarzosa y cuarcita de las formaciones Oyón y Chicama. La zona intermedia del valle está dominada por fallas paralelas de orientación N 130° - 150°, que afectan la secuencia de arenisca y lutita de la Formación Chicama y propician la intrusión de cuerpos monzoníticos en ambas márgenes de la quebrada. En la parte inferior del valle, la secuencia sedimentaria se presenta moderadamente plegada formando un anticlinal y un sinclinal

bien diferenciados. El eje del anticlinal pasa por el cauce de la quebrada, mientras que el eje del sinclinal pasa por el borde izquierdo de la huella de la presa propuesta y baja hacia el cauce de esta. La orientación de los estratos es en promedio N 145°, con buzamiento al suroeste en el flanco derecho, y al NE en el flanco izquierdo. Fallas de orientación N 220° han generado una disposición en bloques en la parte superior de la quebrada, desde Damián Punta en el este hasta Togana Punta en el oeste.

Mapa 4

Geología local – proyecto NAS



Nota: Golder Associates

3.2.1.6. Estratigrafía

Figura 6

Columna estratigráfica del área de interés

Era/Período	Serie	Unidad	Litología	Descripción	
CENOZOICO	Cuaternario	Pleistoceno/Holoceno	Suelos hidromorfos	Q-bof	Suelo saturado de origen orgánico y composición limoarcillosa. Cubre antiguos circos de origen glacial
			Depositos aluviales	Q-al	Grava arenosa con bloques, ubicada en la zona oeste de AER en el cauce de la quebrada Llaullinita
			Depositos fluvioglaciares	Q-fe	Grava arenosa y arena gravosa, algo de cantos y bloques traza de finos, presente en el cauce de las quebradas de AER
			Depositos coluviales	Q-co	Arena limosa con grava, forman una cubierta en las laderas de los cerros, con espesores entre 0.5-30.0m
			Depositos morrénicos	Q-mo	Grava arcillosa y arena arcillosa con grava, forman lomadas de gran tamaño en las quebradas Llaullinita, Ganyas y Parpacro
Neógeno	Mioceno/Plioceno	Intrusivos monzoníticos y andesíticos	T-mz/and	Stock intrusivo de composición monzonítica, moderadamente meteorizado, fuertemente fracturado, diques andesíticos y gabroandesíticos	
MESOZOICO	Cretáceo	Superior	Formación Jumasha	Ks-j	Caliza micrítica y micrítica nodular en estratos medios a gruesos y bancos, hacia el tope disminuye en grosor y se intercalan con lodolitas calcareas, moderada casticidad
		Medio	Formación Pariatambo	Km-pt	Lodolita calcarea intercalada con caliza nodular, color beige claro, resistencia media, moderado fracturamiento, cortado por diques andesíticos
			Formación Chúlec	Km-ch	Lodolita calcarea color beige a pardo amarillento, resistencia baja, moderado fracturamiento, fuertemente plegado
			Formación Pariahuanca	Km-pa	Caliza micrítica nodular y micrítica arcillosa, color gris pardo a beige, resistencia media a alta, poco fracturado, incipiente carticidad
		Inferior	Formación Farrat	Ki-fa	Arenisca cuarzosa a cuacita en estratos gruesos y bancos, blanco amarillento, poco fracturado
			Formación Carhuaz	Ki-ca	Intercalación de arenisca, lutita y limolita de varios colores, en estratos delgados, poco resistente, moderado fracturamiento
			Formación Santa	Ki-sa	Caliza micrítica bioclastica en estratos delgados a medios, resistencia media, moderado fracturamiento, moderada carticidad
			Formación Chimú	Ki-chim	Arenisca cuarzosa y cuarcita en estratos medios a gruesos y bancos, capas de carbón y limolita naranja al medio de la secuencia, resistencia media a alta, fuerte fracturamiento
			Formación Oyon	Ki-o	Conglomerado monocritico, cuacita, arenisca cuarzosa y delgados niveles de lutita y limolita ocre, resistencia media, moderado a fuerte fracturamiento
		Jurásico	Medio/Superior	Formación Chicama	Js-chic

Nota: Golder Associates

Se ha identificado litologías desde el Jurásico medio hasta el cuaternario. La descripción de las unidades, desde la más moderna a la más antigua, se realiza a continuación:

Depósitos Cuaternarios

Se han identificado cinco (5) tipos principales de depósitos cuaternarios:

- Suelos Hidromórficos (Q-bo)

Compuestos por limo orgánico con poca arena y arcilla, compresibles, se encuentran principalmente en los circos glaciales ubicados en las nacientes de las quebradas y en la zona superior de la quebrada Llaullina. Su espesor aproximado varía de 0.5 m–10 m.

- Depósitos Fluvioglaciares (Q-fg)

Suelos compuestos por grava y arena limosa con poca arcilla, sueltos a compactos, color beige claro. Se encuentran en los cauces antiguos y actuales de las quebradas Llaullinita y Caracho. Su espesor aproximado es de 2m-30m.

- Depósitos Coluviales (Q-co)

Compuestos por grava, cantos y bloques sueltos y grava limo arenosa, suelta a compacta, de color gris claro a beige, muy suelta a firme. Se encuentra en las zonas bajas e intermedias de los flancos de los cerros en ambas márgenes de las microcuencas Llaullina, Ganyas, Estaca, Pacpacro, Shucococha y Caracho. Sus espesores aproximados van desde 0.5 m – 30 m.

- Depósitos Morrénicos (Q-mo)

Compuestos por grava y arena arcillosas, de color gris claro y matriz de compacidad firme a dura. Se encuentran principalmente en la margen izquierda de la quebrada Llaullina hasta las inmediaciones de la laguna Canrash, y en menor medida en las nacientes y parte media de las quebradas Tucto y Ciénaga, en las nacientes y parte media de las quebradas Ganyas y Pacpacro. Sus espesores aproximados varían de 3 m – 30 m.

- Depósitos Residuales (Q-re)

Unidad no cartografiada que se observa en toda el área de estudio, conformado por limo arenoso y arcilla, sus espesores son menores a 0.5 m y cubren los afloramientos rocosos de menor resistencia a la erosión, presenta una delgada capa de suelos orgánicos que sustentan la vegetación en la zona.

Intrusivos Terciarios (T-mz)

El principal cuerpo intrusivo existente en el Entorno NAS es un stock, de composición monzonítica, que aflora entre la margen izquierda de la quebrada Llaullina y la margen derecha de la quebrada Ganyas. La monzonita presenta un color blanco crema a blanco amarillento, moderada presencia de ortosa y poco cuarzo. Los afloramientos del stock se presentan como cuerpos controlados por fallas y lineamientos de orientación N140°.

Otros intrusivos tabulares se presentan como diques y sills, de composición andesítica a gabrodiorítica, con espesores entre 0.5 m – 5 m; cortan las secuencias sedimentarias en el límite de las microcuencas Estaca y Ciénaga, y en la microcuenca Tucto.

Formación Jumasha (Ks-j)

Estratos medios, gruesos y bancos de caliza micrítica y caliza nodular, de color gris azulado claro a gris claro. Se han identificado tres miembros principales determinados por Jacay (2010) en el Estudio Estratigráfico en NAS:

- Jumasha Inferior – Jumasha 1

Conformado por caliza micrítica, micrítica nodular y arcillosa en estratos medios a gruesos, karsticidad ligera.

- Jumasha Medio – Jumasha 2

Conformado por bancos de caliza micrítica y micrítica nodular, karsticidad moderada a fuerte.

- Jumasha Superior –(Sucesión Marcadora, Jumasha 3 y 4)

Conformado por intercalaciones de caliza micrítica, micrítica nodular, arcillosa y lodolita calcárea, en estratos delgados a medios, con mayor contenido de arcilla hacia el tope de la secuencia.

La definición del grado de karsticidad aquí mencionado está basado en el conocimiento de estas unidades litológicas en estudios previos, sin embargo, debe ser evaluado con mayor detalle mediante un mapeo kárstico en la zona.

Sus afloramientos se presentan a lo largo de una franja ubicada al este de las Fallas

Canrash y Colla Grande, en las microcuencas Llaullina y Tucto. Su espesor aproximado en la zona de Canrash es de 700 m, mientras que en la zona de Colla Grande – Shaguanga – Huayoc se tiene una secuencia de casi 1200 m. de espesor.

Formación Pariatambo (Ki-pt)

Conformada por caliza micrítica arcillosa, caliza nodular y lodolita calcárea, de color pardo claro a gris claro. Sus afloramientos se encuentran en la zona de Ichic Colla, en las nacientes de la Quebrada Llaullina. Su espesor aproximado es de 250 m y se encuentra cortado por varios diques de composición andesítica a dacítica.

Formación Chúlec (Ki-ch)

Conformado por lodolita calcárea de color beige a marrón claro, intercalada con delgados paquetes de caliza micrítica arcillosa, en estratos delgados, de color beige claro a amarillento. Su afloramiento principal se observa en la zona de la laguna Ventana, de la microcuenca Ciénaga y en las nacientes de la quebrada Llaullina. Su grosor aproximado es de 100 m. La secuencia se encuentra muy plegada en el contacto con la falla Canrash, en la parte Norte del área de estudio regional.

Formación Pariahuanca (Ki-pa)

Conformado por caliza nodular y caliza micrítica nodular, de color gris claro a beige, en estratos medios a gruesos. Presenta incipiente karsticidad a manera de lápices. Sus afloramientos se ubican en la zona de Ichic Colla I, en las nacientes de la quebrada Llaullina, al norte del cerro Damián Punta, aguas debajo de la laguna Ventana y en la microcuenca Ciénaga. Su grosor aproximado se estima en 100 m.

Grupo Goyllarisquizga

El grupo Goyllarisquizga se encuentra aflorando en el área de estudio con sus cuatro unidades. La descripción de estas formaciones es la siguiente:

- Formación Chimú (Ki-chim)

Arenisca cuarzosa y cuarcita, de color blanco grisáceo a blanco amarillento, en estratos medios a gruesos y en bancos. La arenisca es de grano grueso, blanca, de granos bien redondeados y con ligeras pátinas de óxidos en fracturas. Se observan capas de

carbón en la parte intermedia de la formación. Sus afloramientos se observan en la margen izquierda de la quebrada Llaullina, en una franja que va desde la quebrada Colla Grande hasta la quebrada Tucto, en el cerro Damián Punta (nacientes de la quebrada Ganyas), y en una franja entre las quebradas Shucococha y Llaullina. Su espesor aproximado es de 600 m.

- Formación Santa (Ki-sa)

Secuencia de 35 m – 50 m de espesor conformada por caliza micrítica y micrítica nodular de grano fino, de color gris a gris azulado claro. Presenta fósiles de bivalvos en algunas capas. La karsticidad de esta formación es ligera, manifestada principalmente por la formación de dolinas. Sus afloramientos se ubican en la microcuenca Tucto y en una estrecha franja al este del cerro Damián Punta, cuyos contactos al piso con la Formación Chimú y al techo con la Formación Carhuaz son concordantes.

- Formación Carhuaz (Ki-ca)

Intercalación de arenisca gris parduzca en estratos delgados a medios, con lutita y limolita beige a ocre. Aflora principalmente en las microcuencas Tucto y Ciénaga, en la margen izquierda de la quebrada Llaullina y al norte del cerro Damián Punta. Presenta una topografía suave a ondulada, cubierta por vegetación y con afloramientos aislados. Su espesor aproximado en la zona es de 700 m.

- Formación Farrat (Ki-fa)

Conformado por capas gruesas y bancos de arenisca cuarzosa y cuarcita, blanca grisácea, de grano medio a grueso, con ligeras pátinas de óxidos en fracturas. Su espesor aproximado es de 80 m – 100 m. El afloramiento de la Formación Farrat se observa aguas abajo de la laguna Ventana, en la microcuenca Ciénaga y en las nacientes de la quebrada Llaullina.

Formación Oyón (Ki-o)

Arenisca cuarzosa, conglomerado monomítico y cuarcita de color gris claro, intercalada con delgados estratos de lutita y limolita color beige a ocre. Sus afloramientos

se ubican en una estrecha franja al sur y al norte de la laguna Canrash, en la microcuenca Llaullina. Los afloramientos están controlados por fallas de orientación Sureste-Noroeste.

Formación Chicama (Js-chic)

Intercalaciones de lutita, lutita carbonosa, arenisca fina gris y arenisca cuarzosa en estratos delgados a medios, con algunos bancos de cuarcita en los niveles superiores de la formación de color gris oscuro a blanco grisáceo, presentan pátinas de óxidos en fracturas. En el Entorno NAS esta formación aflora principalmente en las microcuencas de Estaca y Caracho, y en la zona sur de las microcuencas Llaullina y Ciénaga. El espesor aproximado de la secuencia en la zona es de 1 000 m.

3.2.2. Perforaciones hidrogeológicas (conductividad hidráulica)

Las perforaciones geotécnicas e hidrogeológicas fueron ejecutadas por la empresa contratista de perforación Explomin del Perú S.A. (Explomin). Se realizaron trece perforaciones, del total de 28 investigaciones propuestas. La profundidad final de las perforaciones varió de 50.3 m a 120 m. La longitud total de perforación ejecutada es 1005.80 m como se observa en la Tabla 5 Perforaciones Geotécnicas.

En seis de los trece taladros perforados, donde se encontraron las mejores condiciones para evaluar niveles y calidad de agua, se instalaron piezómetros dobles de tipo Casagrande, a diferentes profundidades.

Las perforaciones en el área fueron cinco distribuidas en la siguiente forma: Tres en la huella del Dique de Cierre, una en el vaso del depósito y una inconclusa, debido a la paralización de los trabajos, en la huella de la Presa Principal, por lo que la caracterización de la fundación de la Presa presenta incertidumbre debido a que no se cuenta con la suficiente información geotécnica. Una evaluación geológica basada en un mayor número de investigaciones geotécnicas será parte del siguiente nivel de ingeniería.

Como parte de los trabajos, se realizaron ciento sesenta y siete ensayos de permeabilidad: 90 ensayos Lugeon y 77 ensayos Lefranc.

Tabla 4*Perforaciones geotécnicas*

N°	Código	Zona	Coordenadas UTM (WGS-84)		Cota (msnm)	Inclinación	Profundidad total (m)
			Este	Norte			
1	BH19-GA-14	Presa Principal	272406	8930156	4,327.22	-90	29.4
2	BH19-GA-05	Cantera I	272953	8933111	4,594.67	-90	70.1
3	BH19-GA-21	Presa Auxiliar	272377	8932962	4,439.68	-90	100
4	BH19-GA-09	Presa Auxiliar	272032	8932895	4,524.65	-90	71
5	BH19-GA-35	Vaso	272105	8932062	4,423.10	-75	100
6	BH19-GA-15	Cantera Ingreso	274731	8933137	4,463.89	-90	80
7	BH19-GA-06	Cantera I	272992	8932841	4,607.20	-90	70
8	BH19-GA-12	Cantera Llaullina	274222	8931324	4,386.75	-90	100.2
9	BH19-GA-13	Cantera Llaullina	274236	8931779	4,398.24	-90	50.3
10	BH19-GA-24	Túnel NAS	276840	8936679	4,500.08	-90	80
11	BH19-GA-26	Túnel NAS	276191	8935664	4,503.64	-60	120
12	BH19-GA-26A	Túnel NAS	276190	8935662	4,503.64	-90	64.2
13	BH19-GA-46	Presa Auxiliar	271900	8933193	4,536.76	-90	100
TOTAL							1005.8

Nota: Elaboración propia

3.2.3 Calicatas

Se excavaron en total 46 calicatas, distribuidas en la zona del Dique de Cierre, las canteras Ganyas Morrena I y Llaullina Morrena I, y la Presa Principal, tal como se muestra en Tabla 6 calicatas.

Para la excavación de calicatas se utilizó una excavadora CAT modelo 320, con un alcance de brazo máximo de 5 m. Las investigaciones mediante calicatas tuvieron el propósito de caracterizar el material de las áreas de canteras y la superficie de las áreas de la Presa Principal y Dique de Cierre a fin de evaluar si estos sectores se pueden emplear como materiales con propósitos de relleno.

Se tomaron en total 98 muestras de suelo de las calicatas excavadas y se realizaron siete ensayos de densidad in-situ.

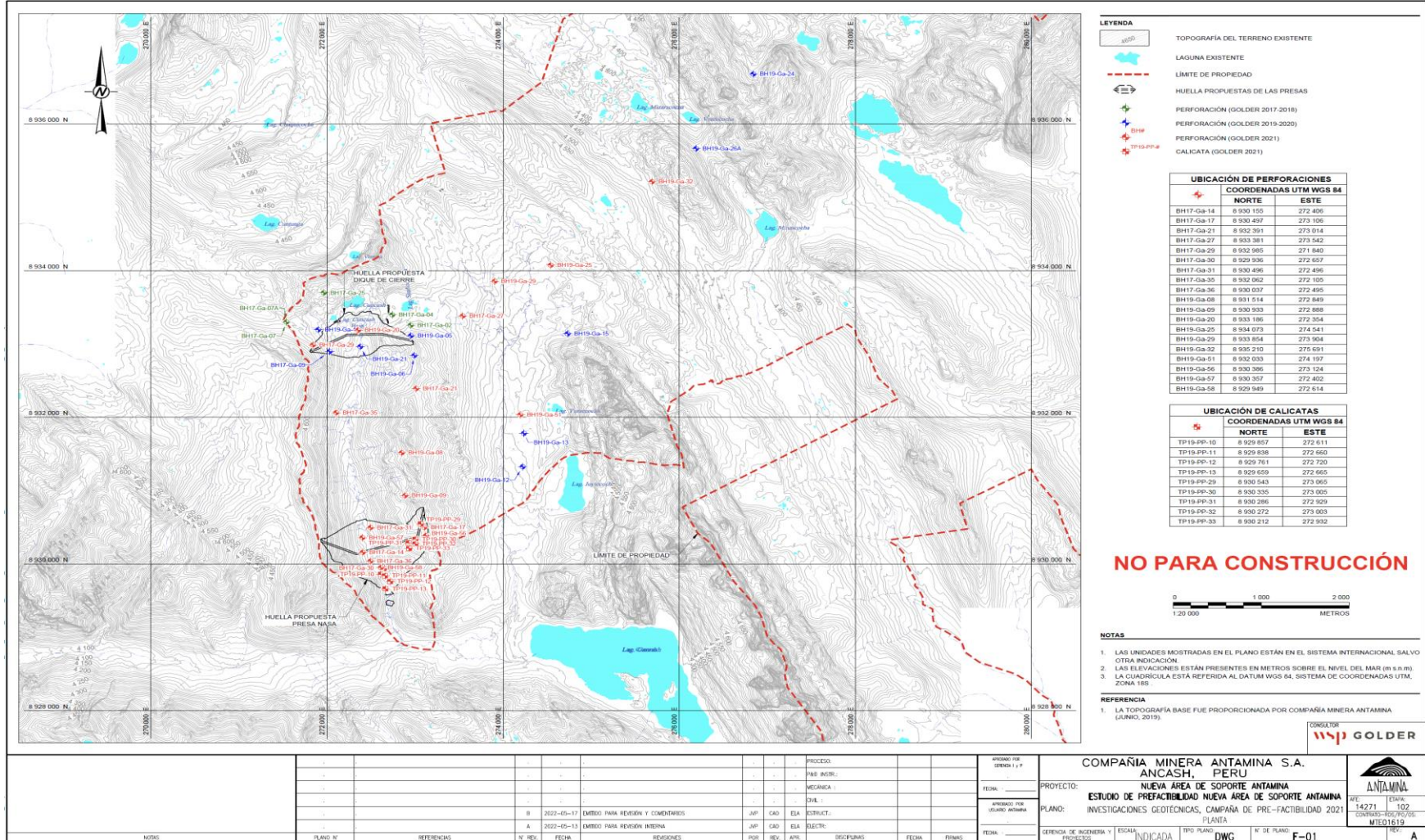
Tabla 5*Calicatas en presa principal y dique de cierre*

N°	Área	Calicata	Sistema de Coordenadas WGS 84		Profundidad (m)	Contacto Suelo/Roca (m)
			Norte (m)	Este (m)		
1		TP19-01	8,933,050	271,754	4	4
2		TP19-02	8,932,961	271,826	3	2.8
3		TP19-03	8,933,052	271,878	5	-
4		TP19-06	8,933,150	271,980	4.8	-
5		TP19-07	8,932,694	272,164	2.6	-
6		TP19-08	8,932,700	272,331	5	-
7		TP19-09	8,933,170	272,200	3	-
8		TP19-10	8,932,852	272,282	4	-
9		TP19-11	8,932,959	272,259	5	-
10		TP19-12	8,932,971	272,340	5	-
11	Presa de Cierre	TP19-13	8,933,025	272,208	5	-
12		TP19-14	8,933,120	272,119	5	-
13		TP19-15	8,933,163	272,036	5	-
14		TP19-16	8,933,241	272,037	5	-
15		TP19-17	8,933,214	272,128	4.8	-
16		TP19-18	8,933,110	272,147	3	3
17		TP19-19	8,933,210	272,255	1.3	-
18		TP19-20	8,933,020	272,310	3	-
19		TP19-21	8,933,072	272,384	2.3	-
20		TP19-22	8,933,353	272,636	1.8	1.8
21		TP19-23	8,933,364	272,727	1.9	-
22		TP19-24	8,933,311	272,695	2.9	-
23		TP19-25	8,933,270	271,780	2.9	1.7
24	Presa	TP19-24	8,930,252	272,476	2.5	-
25	Principal	TP19-25	8,930,306	272,474	2.5	-

Nota: Elaboración propia

Mapa 5

Ubicación de calicatas ejecutadas en proyecto NAS

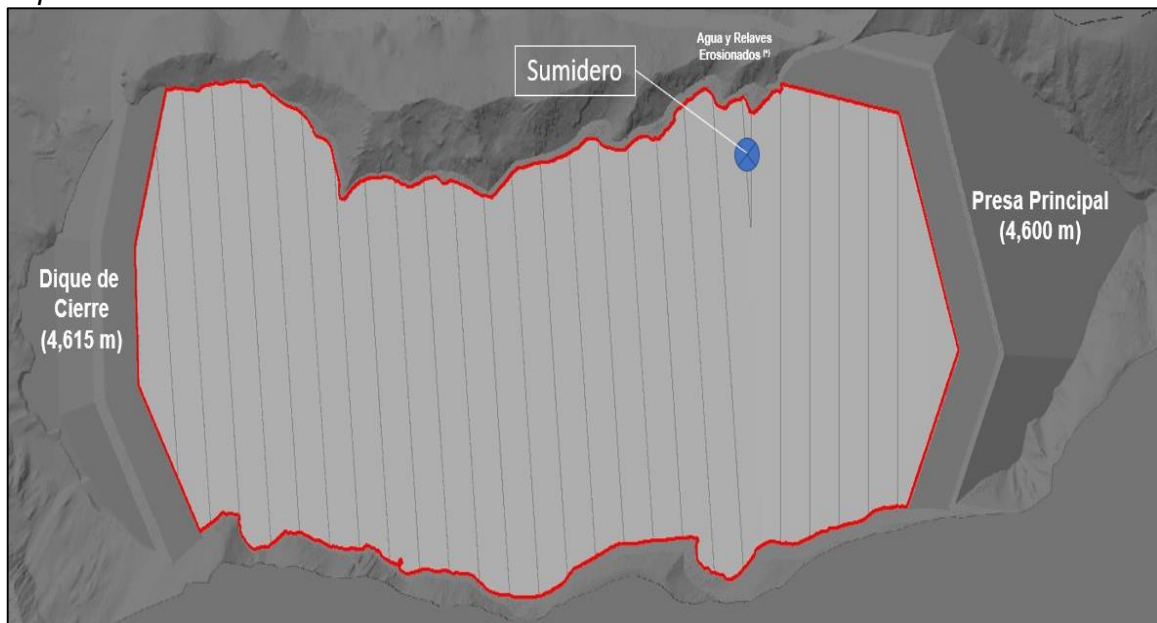


3.2.4 Criterios de diseño de presa

3.2.4.1. Capacidad de la presa. La máxima capacidad de la presa es (389 Mm³ / 817 Mt) se observa en la Figura 12, debido a la naturaleza de los relaves filtrados se puede maximizar la capacidad de almacenamiento durante la última etapa de operación, disponiendo relaves filtrados en la laderas este y oeste, aumentando su capacidad a 398 Mm³ / 836 Mt de relaves filtrados.

Figura 7

Capacidad máxima de NAS



Nota: Golder Associates

3.2.4.2. Criterios de Diseño. Los criterios de diseño se basan en la experiencia de la actual presa de relaves de Antamina y en el esquema y configuración del diseño Conceptual (Golder Associates S.A., 2018).

Durante el proceso de diseño la información empleada podrá ser ajustada. Esta por lo que el presente documento se actualizará según sea necesario durante la ejecución del estudio. La información utilizada incluye:

- Guías de Diseño.
- Características de Diseño.
- Datos Operacionales y de Diseño.

La definición de estos términos se presenta a continuación:

Guías de Diseño

Los criterios de diseño son elaborados con base a información derivada de regulaciones, normas, directrices, requisitos del cliente y condiciones del proyecto. Las guías y documentación de referencia considerados son:

- Criterios de diseño de presas y Diques basados en las guías, regulaciones, directrices y estándares (GISTM (2020), CDA (2014), MEM (1997)).
- Plan de producción de relaves.
- Guías Ambientales del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), incluyendo:
 - Volumen IX “Guías Ambientales para el Cierre y Recuperación de Minas” (publicado por MINEM en 1997).
 - Volumen XVI “Estabilidad de Residuos Mineros de Actividades de Minas” (publicado por MINEM en 1998).
- Guías para la Seguridad de Presas de la Asociación Canadiense de Presas: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams of the Canadian Dam Association (CDA) 2019.
- Estándar del manejo de relaves del Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM) 2020.

Características de Diseño

Durante la etapa anterior del diseño Conceptual las estructuras e instalaciones se desarrollaron con las características de diseño definidas para esa etapa. Estas características se han aceptado dentro del marco del proyecto y podrían requerir cambios significativos una vez definidos o investigados los parámetros. Algunos ejemplos de características de diseño son:

- Ubicación de instalaciones.
- Notas de material de construcción.
- Etapas de construcción de las estructuras de cierre.

Datos Operacionales y de Diseño

La información de diseño y operación son datos de entrada para el proceso de diseño, incluida la información que se ha estimado, derivado o extraído de notas de información externas. Este tipo de información también puede incluir suposiciones basadas en la experiencia de un proyecto similar. Los datos de diseño y funcionamiento serían:

- Datos hidrológicos (el estudio para el proyecto NAS se encuentra en progreso).
- Datos sísmicos.
- Áreas de captación.
- Propiedades geotécnicas de los materiales.

En el Tabla 5.3 se presentan las bases y criterios de diseño para la presa principal y Dique de cierre proyectadas en el área de NAS. mayor detalle se presenta en el Anexo estos criterios de diseño son aplicables a las alternativas de relaves espesados y convencionales.

Tabla 6

Criterios de diseño de presas principal y dique de cierre

Descripción	Criterios		Nota / Comentarios
	Presa Principal	Dique de Cierre	
Clasificación según consecuencia de Falla	Extrema	Alta	CDA (2019), GISTM (2020)
Cota de cresta final	4 600 m	4 615 m	Golder (2018)
Ancho de cresta mínimo	20 m	20 m	Golder/
Largo de Cresta Aproximado	1500 m	1250 m	Golder (2018)
Altura Máxima	315 m	176 m	Golder (2018)
Periodo de Vida	Permanente	Permanente	
Taludes de Presa	Talud aguas arriba: 1.4H:1V Talud aguas abajo: 1.7H:1V	Talud aguas arriba: 1.5H:1V Talud aguas abajo: 1.5H:1V	Golder

Descripción	Criterios		Nota / Comentarios
	Presa Principal	Dique de Cierre	
Configuración interna	Configuración hasta la cota 4 600 m: <ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo de enrocado Zonas de filtro y transición, aguas arriba. • Geomembrana en talud aguas arriba. 	Configuración hasta la cota 4 615 m: Espaldones de enrocado <ul style="list-style-type: none"> • Núcleo inclinado de material de baja permeabilidad. Zonas de filtro y transición a ambos lados del núcleo.	Golder
Sistema de Impermeabilización y Control de Filtraciones	Sistema impermeabilización: Cimentación: Cortina de Inyecciones. Presa: Geomembrana en la cara aguas arriba de la presa. Control de Filtraciones: Poza colectora de filtraciones.	Sistema impermeabilización: Cimentación: Cortina de Inyecciones. <ul style="list-style-type: none"> • Dique: Núcleo impermeable inclinado. Control de Filtraciones: Poza Colectora de filtraciones	Golder, 2018
Nota de enrocado	Roca estéril de canteras de roca.	Roca estéril de canteras de roca y canteras de morrena.	Golder/
FS mínimos: <i>Equilibrio Límite</i> - Estático - Pseudo-Estático - Post sismo	- 1.5 - 1.0 - 1.2	- 1.5 - 1.0 - 1.2	CDA (2019)
Sismo de Diseño	Sismo Máximo Creíble (MCE), percentil 84	Sismo Máximo Creíble (MCE), percentil 84	Golder
Aceleración horizontal del Sismo de Diseño - Sitio Clase B	0.48 g	0.48 g	Golder, 2017
Coefficiente sísmico	50% del PGA	50% del PGA	Ministerio de Energía y Minas, 1997
Borde Libre (operación)	2 m sobre la PMF o sobre el nivel de relave, el que sea mayor.	2 m sobre el nivel de relave. (la PMF es controlada en la Presa Principal)	, Golder
Borde Libre (cierre)	2 m sobre el nivel de relave	2 m sobre el nivel de relave	, Golder
Requerimientos/ Restricciones operacionales	La presa almacenará relaves bajo toda condición.	El dique almacenará relaves bajo toda condición.	Golder /

Nota: Golder Associates S.A. (2018)

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

Luego de recopilar la información de campo y realizar el procesamiento, se diseña la presa que se describe a continuación:

4.1. Diseño de las instalaciones a nivel de pre-factibilidad

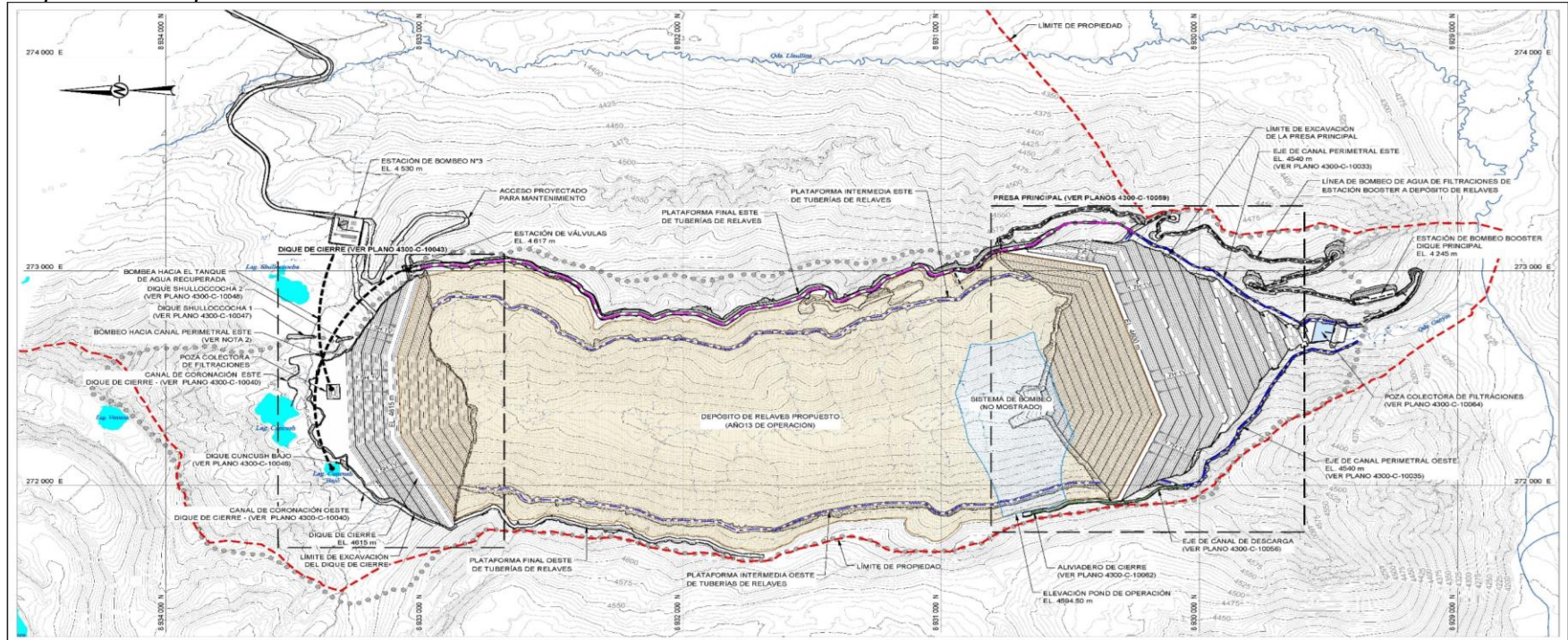
Los diseños a nivel de pre-factibilidad de las presas y obras conexas relacionadas con el manejo de aguas, que serán emplazadas para conformar el depósito de relaves NAS.

La máxima capacidad de la presa es ($389 \text{ Mm}^3 / 817 \text{ Mt}$) se observa en la Figura 12, debido a la naturaleza de los relaves filtrados se puede maximizar la capacidad de almacenamiento durante la última etapa de operación, disponiendo relaves filtrados en la laderas este y oeste, aumentando su capacidad a $398 \text{ Mm}^3 / 836 \text{ Mt}$ de relaves filtrados.

El Mapa 7, muestra la disposición general de instalaciones del Depósito de Relaves de NAS. En el sector sur se muestra la Presa Principal; mientras que, en el sector norte se ubica el Dique de Cierre.

Mapa 6

Vista en planta del depósito de relaves NAS



DISPOSICIÓN GENERAL DEL PROYECTO
ESCALA 1:7 500

- NOTAS**
- ES RESPONSABILIDAD DEL USUARIO DE ESTE PLANO ASEGURARSE DE USAR LA VERSIÓN MAS RECIENTE DEL MISMO.
 - LAS UNIDADES MOSTRADAS EN LOS PLANOS ESTÁN EN METROS.
 - NORTE Y ESTE SON PRESENTADAS EN COORDENADAS UTM ZONA 18 SUR, DATUM WGS 84.
 - LAS ELEVACIONES ESTÁN PRESENTADAS EN METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m s.n.m.).
 - LAS ESCALAS NUMERICAS MOSTRADAS EN LOS PLANOS APLICAN SOLO CUANDO ESTOS SON IMPRESOS EN TAMAÑO ISO A1.
 - EL NOMBRE DE LAS LAGUNAS SE HAN OBTENIDO DEL DOCUMENTO 101-14271-LTE1816-MEM-401-G-00130-p01, ITEM 4.1.1.3.
 - SISTEMA DE MANEJO DE AGUA SUPERFICIAL NO MOSTRADO.

LEYENDA

	TOPOGRAFIA DEL TERRENO EXISTENTE		LAGUNA EXISTENTE
	TOPOGRAFIA PROPUESTA		LÍMITE DE PROPIEDAD ANTIMINA
	DEPÓSITO DE RELAVES PROPUESTO		LÍMITE DE CUENCA
	ACCESOS EXISTENTES		CANAL PERIMETRAL - ETAPA OPERACIÓN HASTA EL 4540m
	RÍO		CANAL PERIMETRAL - ETAPA OPERACIÓN HASTA EL 4800 m
	QUEBRADA		CANAL DESCARGA - ALVIADERO DE CIERRE

NO PARA CONSTRUCCIÓN



<p>NOTAS</p>		<p>PROCESO:</p> <p>P&D INSTR:</p> <p>MECANICA:</p>		<p>PROYECTO:</p> <p>ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD NUEVA ÁREA DE SOPORTE ANTIMINA</p>		<p>COMPAÑÍA MINERA ANTIMINA S.A.</p> <p>ANCASH, PERU</p>		<p>CONSEJERO</p> <p>GOLDER</p> <p>MEMBER OF WSP</p>								
<p>4300-C-10056</p>	<p>CANAL DE DESCARGA - PLANIA Y PERIL LONGITUDINAL</p>	-	-	-	-	<p>FECHA:</p>	<p>PLANO:</p>	<p>PRESENCIA DE INGENIERIA Y PROYECTOS</p>	<p>ESCALA</p>	<p>INDICADA</p>	<p>TIPO PLANO</p>	<p>DWG</p>	<p>Nº DE PLANO</p>	<p>4300-C-10050</p>	<p>REV.</p>	<p>0</p>
<p>4300-C-10040</p>	<p>CANALES DE CORONACIÓN - DIQUE DE CIERRE</p>	-	-	-	-	<p>APROBADO POR USUARIO ANTIMINA</p>	<p>ESTRUCT.</p>	<p>INGENIERIA Y PROYECTOS</p>	<p>INDICADA</p>	<p>DWG</p>	<p>DWG</p>	<p>DWG</p>	<p>4300-C-10050</p>	<p>REV.</p>	<p>0</p>	<p>0</p>
<p>4300-C-10036</p>	<p>CANAL PERIMETRAL ESTE EL 4800 M - PRESA PRINCIPAL</p>	0	2021-04-22	EMITIDO PARA CIERRE DE ESTUDIO	<p>ING</p>	<p>TL</p>	<p>JCO</p>	<p>DISCIPLINA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>
<p>4300-C-10035</p>	<p>CANAL PERIMETRAL ESTE EL 4540 M - PRESA PRINCIPAL</p>	II	2021-01-25	EMITIDO PARA REVISIÓN Y COMENTARIOS	<p>ING</p>	<p>TL</p>	<p>JCO</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>
<p>4300-C-10032</p>	<p>CANAL PERIMETRAL ESTE EL 4540 M - PRESA PRINCIPAL</p>	A	2021-01-15	EMITIDO PARA COORDINACIÓN INTERNA	<p>ING</p>	<p>TL</p>	<p>JCO</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>	<p>FECHA</p>

Nota: Golder Associates

4.2. Evaluación geotécnica

De acuerdo con la caracterización geológica, en la fundación de la Presa Principal y el Dique de Cierre, aflora material cuaternario en el fondo del valle y hasta por lo menos media altura de los estribos y basamento rocoso en la parte superior de los estribos.

4.2.1. Fundación presa principal

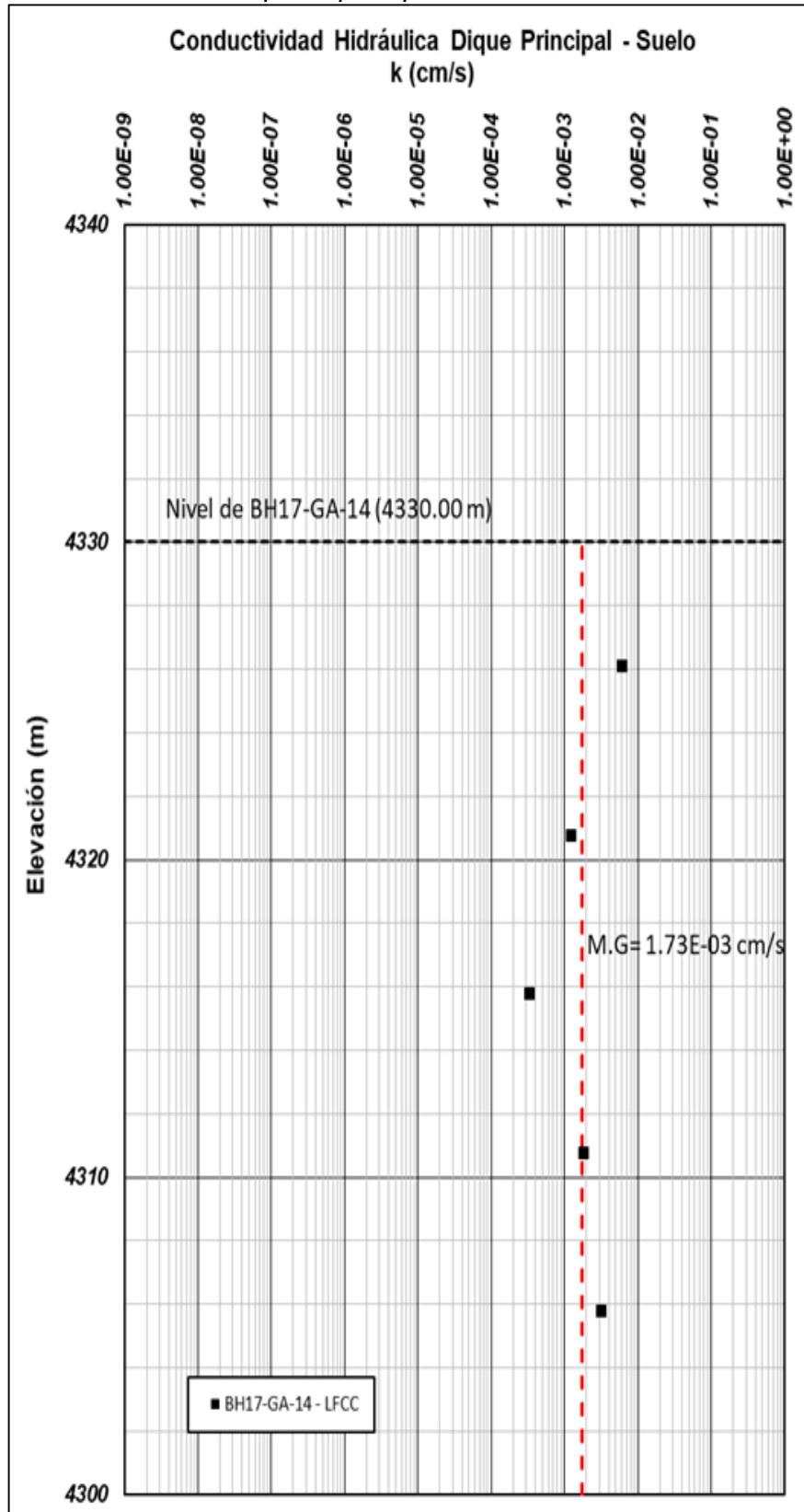
Según la evaluación geológica los suelos de la fundación de la Presa Principal están constituidos por depósitos hidromórficos, coluviales y fluvioglaciares y se encuentran en el fondo del valle y parte del estribo derecho; mientras que, en el estribo izquierdo aflora el basamento rocoso, conformado por intercalación de arenisca, cuarcita y lutita carbonosa. Las investigaciones con Calicatas y la perforación BH19-GA-14 indican que los suelos hidromórficos y coluviales tienen una potencia entre 2 m y 5 m de profundidad. Los suelos fluvioglaciares tienen potencias entre 2 m y 15 m.

De acuerdo con la clasificación visual manual del material durante la excavación de Calicatas, el suelo de la fundación de la Presa Principal presenta clastos de hasta 5". La distribución de partículas está entre 15% - 20% para las gravas, 25%-30% de arenas y 55% de finos aproximadamente. La plasticidad de la matriz es baja. En las Calicatas CALP-24 y CALP-25 (el grado de saturación para profundidades mayores a 2.5 m es de 100% debido a que a este nivel se encontró el nivel de agua; encima de esta profundidad el material se encuentra húmedo).

4.2.1.1 Conductividad Hidráulica. La evaluación de la conductividad hidráulica de la perforación ubicada en un punto hacia la margen derecha del valle en la zona donde se emplazará la Presa Principal se realizó considerando los ensayos in-situ de la perforación BH19-GA-14. Los ensayos realizados en esta perforación únicamente fueron en la cobertura de suelo (ensayos Lefranc). Los ensayos realizados se presentan la figura 13, la media geométrica de la permeabilidad del suelo en el lugar ensayado hacia la derecha del valle sería $1.7 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \approx 133 \text{ Lug}$. Este resultado se puede aplicar desde la superficie hasta los 25 m de profundidad.

Figura 8

Conductividad hidráulica suelo - presa principal



Nota: Golder Associates S.A. (2021)

El valor medio de permeabilidad obtenido no puede replicarse a todo el suelo de la

fundación de la Presa Principal debido a la escasa cantidad de investigaciones realizadas en este sector. La información disponible será incorporada al diseño, considerando las limitaciones presentadas, sin embargo, esto no significará perjuicio al desarrollo del proyecto. A la fecha, no se han realizado ensayos de permeabilidad in-situ en la roca.

4.2.2. Fundación dique de cierre

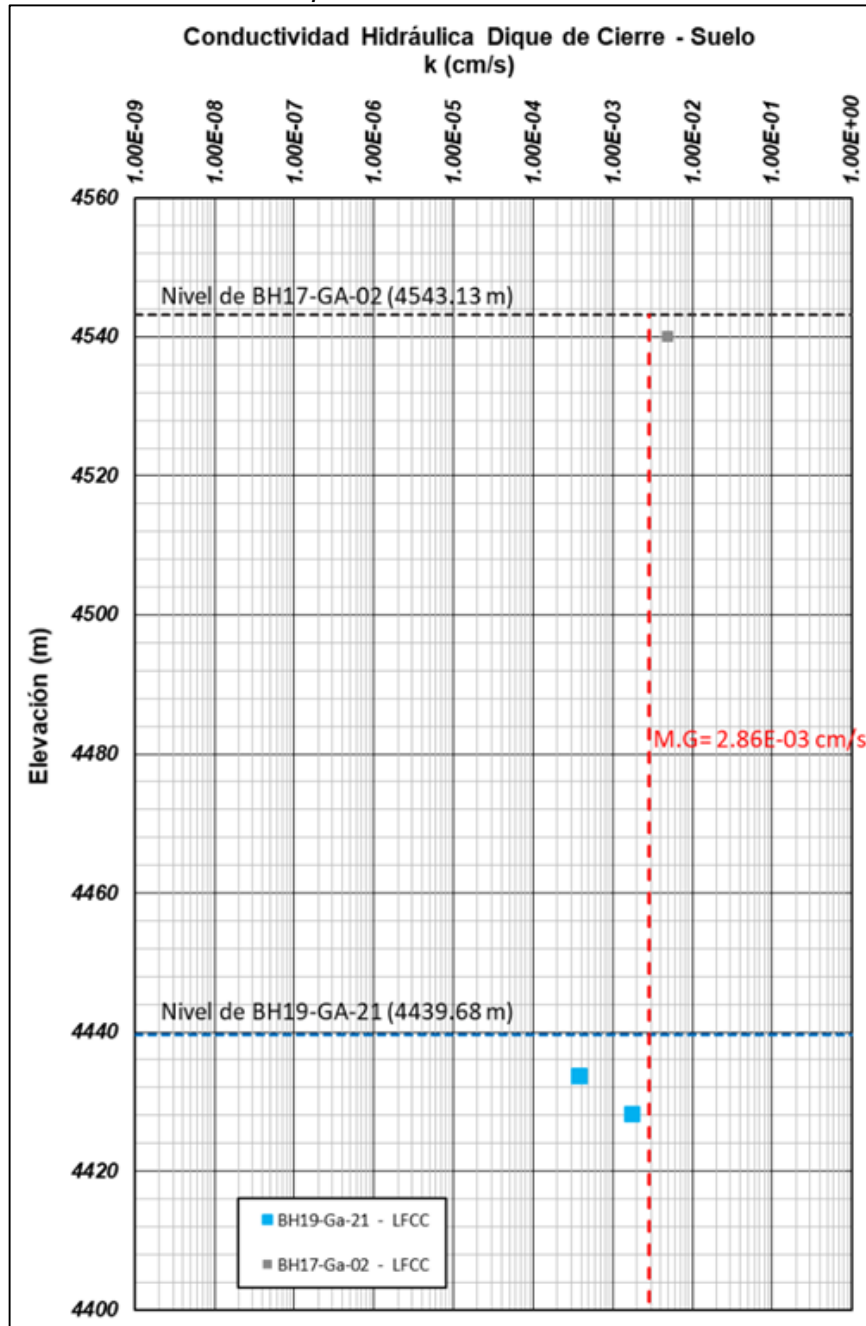
De acuerdo con la evaluación geológica, los suelos de fundación del Dique de Cierre, estos están conformados por depósitos fluvioglaciares, coluviales y morrénicos que se encuentran en el fondo del valle y el estribo derecho, sobre yaciendo a las formaciones rocosas de la zona. En el estribo derecho aflora el basamento rocoso. La potencia de los suelos fluvioglaciares y morrénicos varían entre los 5 m y 20 m. La potencia del suelo coluvial se encuentra entre 2 m y 10 m.

Para la evaluación del material cuaternario del área de cimentación Dique de Cierre se realizaron 9 Calicatas en el dique principal y dique de cierre. Los suelos que cubren las formaciones rocosas en la zona se caracterizan por ser grava limo arcilloso, con algo de arena, con distribución de partículas entre 39%-62% de gravas, 24% - 40% de arena y 10%-31% de finos. El valor promedio de gravedad específica de 2.66 g/cm³. Es de color gris pardo a beige, firme a duro, húmedo (3.3% – 13.3%) y presentan bloques y clastos mayores a 3” en un porcentaje promedio de 10%. Cabe mencionar que este material puede ser usado como relleno impermeable.

4.2.2.1 Conductividad Hidráulica. La evaluación de la conductividad hidráulica de material en el área de cimentación del Dique de Cierre se dividió en suelo y roca. Para el suelo se usaron los resultados de ensayos de permeabilidad Lefranc realizados en las perforaciones BH19-GA-02 y BH19-GA-21. En la figura 14, muestra los valores de permeabilidad obtenidos en estas perforaciones y su variación con la profundidad. La media geométrica de estos valores es 2.9×10^{-3} cm/s. \approx 223 Lug.

Figura 9

Conductividad hidráulica suelo - dique cierre



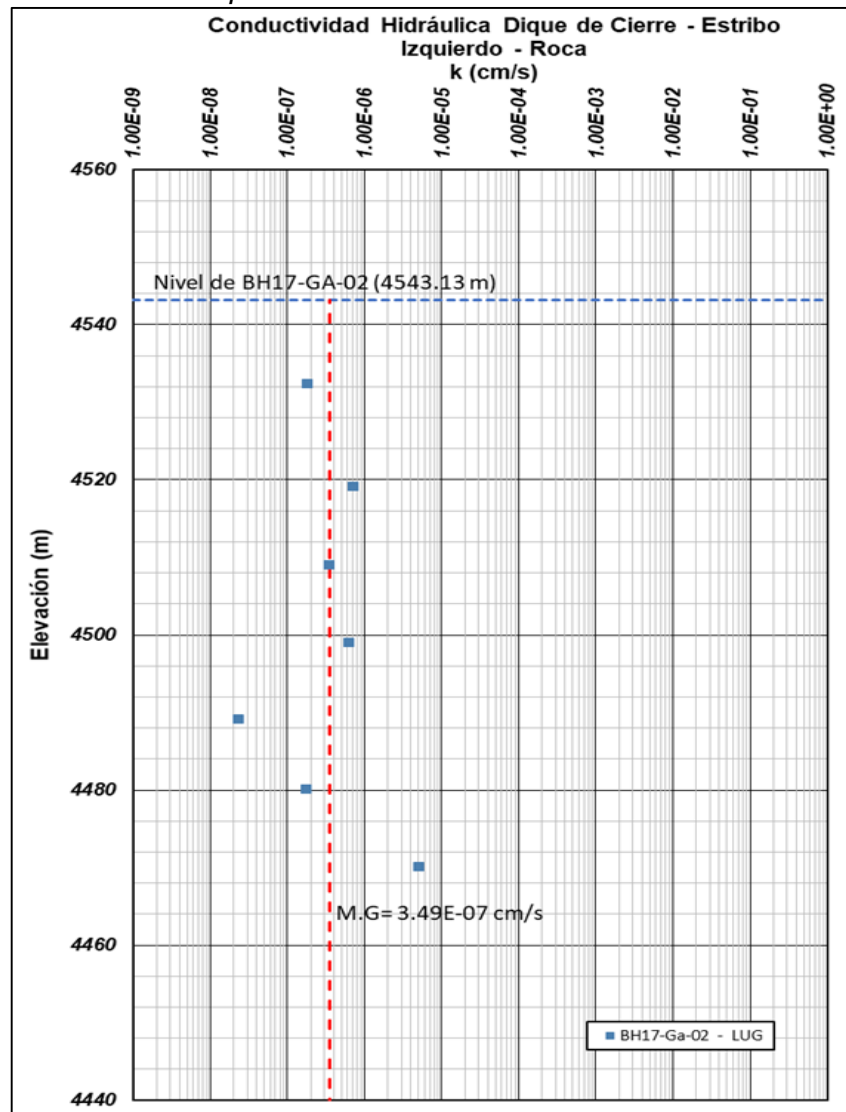
Nota: Golder Associates S.A. (2021)

Sobre la base de la ubicación de las perforaciones, para la evaluación de conductividad hidráulica del basamento rocoso se dividió en dos, permeabilidad del macizo del estribo izquierdo y permeabilidad del macizo del fondo del valle y estribo derecho. En la figura 15, muestra los resultados de ensayos de permeabilidad Lugeon ejecutados para el sector del estribo izquierdo (BH19-GA-06), siendo su media geométrica igual a 3.5×10^{-7} cm/s. ≈ 0.67 Lug. Este valor aplica desde el contacto suelo-roca hasta una profundidad

de 70 m aproximadamente.

Figura 10

Conductividad hidráulica - dique cierre

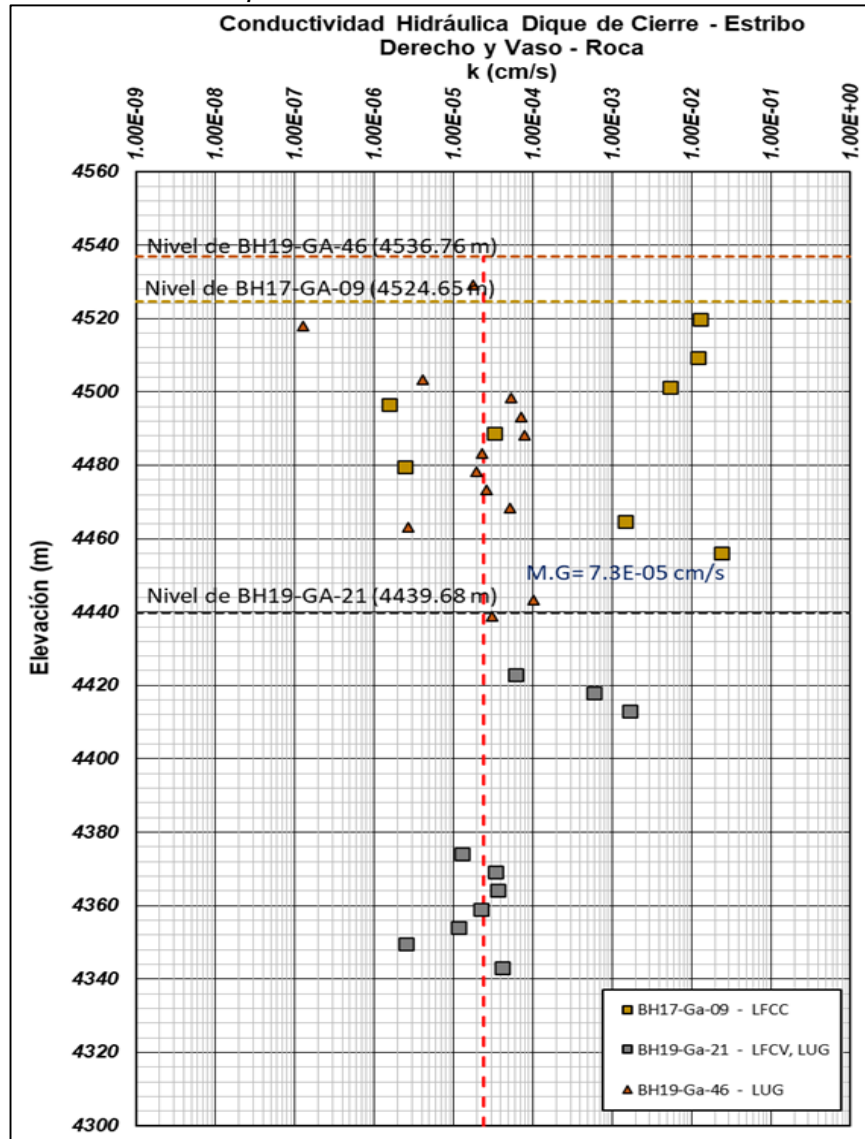


Nota: Golder Associates S.A. (2021)

Para el macizo del fondo del valle y el estribo derecho se evaluaron los ensayos de permeabilidad de las perforaciones BH19-GA-09, BH19-GA-21 y BH19-GA-46. En la figura 16, muestra los resultados de ensayos para estas perforaciones y su media geométrica. Descartando los valores de permeabilidad fuera de la tendencia, por lo cual, el promedio de conductividad hidráulica para este sector sería 2.4×10^{-5} cm/s. ≈ 1.8 Lug. Este valor aplica desde el contacto suelo-roca hasta una profundidad de 90 m aproximadamente.

Figura 11

Conductividad hidráulica – dique de cierre



Nota: Golder Associates S.A. (2021)

Los logueos de perforación indican que el tipo de roca donde se realizaron los ensayos corresponde a lutita,

4.3. Resultados

Golder (2021) de acuerdo con el diseño conceptual, el depósito de relaves almacenará relaves alcanzando 698 Mm³ de capacidad máxima (equivalente a 25 años) y operará a partir del año 2048

El resultado de la evaluación geológica-geotécnica (geología, conductividad hidráulica y calicatas) para el sistema de impermeabilización del Dique principal, Dique de

Cierre y su cimentación consta de:

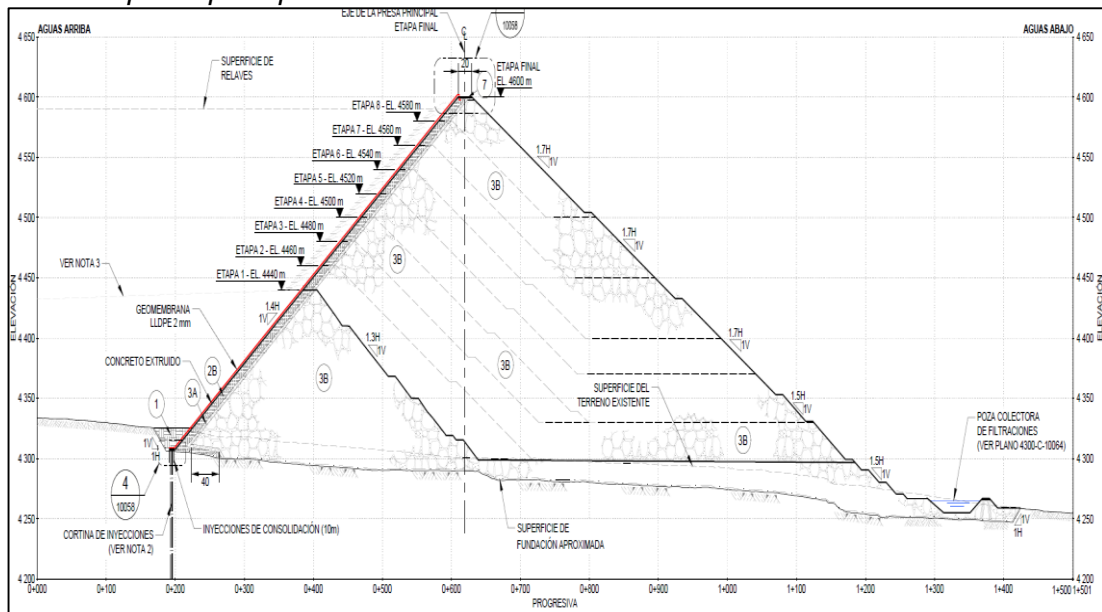
Dique Principal

- La excavación para la construcción de la presa se realizará hasta alcanzar la roca, cuya mayor profundidad se encuentra en el cauce y en la margen derecha donde se han identificado depósitos coluviales y bofedales con profundidades de más de 30 m
- La cimentación estará ubicada en la cota estimada aproximada en el cauce de 4290 m. La etapa inicial estará constituida por una presa de enrocado (presa de arranque) hasta la cota 4440 m con ancho de cresta de 20 m, taludes aguas arriba 1.4H:1V y aguas abajo 1.3H:1V (*taludes locales*) con banquetas intermedias.
- La etapa final estará a la cota 4600 m con un ancho de cresta de 20 m, y taludes aguas arriba 1.4H:1V y aguas abajo 1.7H:1V con banquetas intermedias. La altura máxima de la presa principal será de 310 m medidos desde el nivel promedio de excavación hasta la cresta.
- El método de recrecimiento será aguas abajo con material de enrocado. La presa se cimentará sobre roca y la excavación requerida para su construcción se realizará a una mayor profundidad en el cauce y margen derecha donde se han identificado depósitos coluviales y bofedales con profundidades de más de 30 m.
- Como parte del sistema de impermeabilización, se prevé la instalación de una geomembrana LLDPE de 2 mm en el talud aguas arriba de la presa colocada sobre concreto extruido y donde se ubicarán los materiales de Filtro 2B y Transición 3A con anchos horizontales de 12 m y 5 m respectivamente los cuales permitirán evitar la migración de finos y controlar las gradientes. La geomembrana se anclará en una zanja rellena con material de baja permeabilidad ubicada a lo largo del pie aguas arriba de la presa donde se ubicará el plinto de concreto para la ejecución de la cortina de inyecciones, lo que dará continuidad al sistema de impermeabilización.
- Se consideró la colocación de una cortina de inyecciones de 100 m de profundidad emplazada a lo largo del pie aguas arriba de la presa para la impermeabilización de

la roca de cimentación de la presa. En el tramo de la cortina desde la base de la cimentación hasta la cota 4440 m (correspondiente a cota de la presa de arranque) se prevé la instalación de tres líneas de inyecciones con un ancho de plinto de 7.5 m. A partir de la cota 4440 m y hasta la cota 4600 m las líneas de inyecciones en el sector de los estribos de la presa se reducen a una sola línea colocada en un ancho de plinto de 5 m.

Figura 12

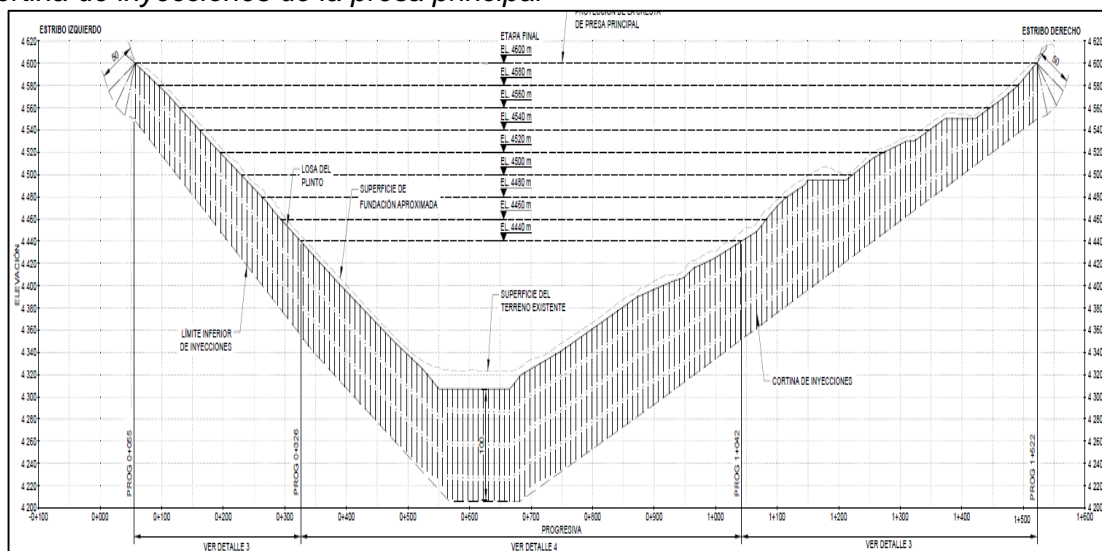
Sección de presa principal



Nota: Golder Associates S.A. (2021)

Figura 13

Cortina de inyecciones de la presa principal



Nota: Golder Associates S.A. (2021)

Dique de Cierre

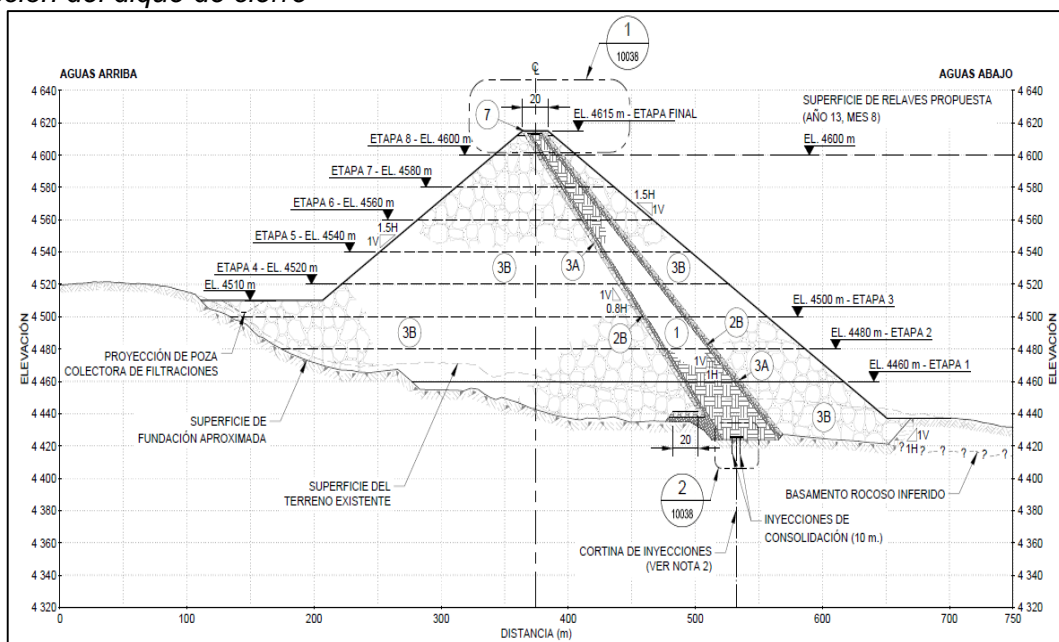
Se ubicará en la parte alta del depósito de relaves y será construido con el objetivo de proteger las lagunas naturales ubicadas en el sector Norte de la cuenca Ganyas. El diseño del Dique de Cierre ha considerado el empleo de material de enrocado, filtro, transición y material de baja permeabilidad.

Presenta las siguientes características:

- La cimentación del Dique estará ubicada en la cota 4439 m (promedio en el cauce) y la cota de la etapa final será 4615 m, con una altura total de 176 m, medidos en eje desde nivel de excavación hasta la cresta. Tendrá un ancho de cresta de 20 m con taludes aguas arriba (en dirección a las lagunas) y aguas abajo de 1.5H:1V (ver Figura 19)
- Estará conformado por un núcleo inclinado de material de baja permeabilidad, zonas de Filtro 2B y Transición 3A a ambos lados de este, y espaldones de enrocado.
- El dique se cimentará sobre roca y la excavación requerida para su construcción se realizará a una mayor profundidad en el sector central hacia el Este con profundidades de entre 20 a 30 m.

Figura 14

Sección del dique de cierre



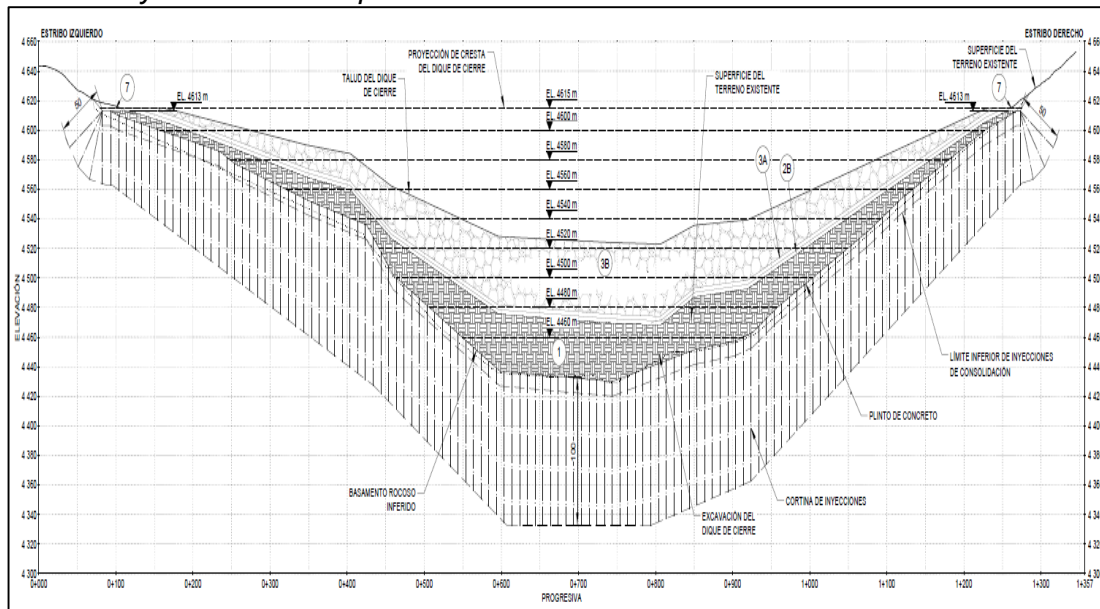
Nota: Golder Associates S.A. (2021)

El sistema de impermeabilización del Dique de Cierre y su cimentación consta de:

- Una cortina de inyecciones y plinto para el tratamiento de impermeabilización de la roca de cimentación del dique (ver figura 20) ser ejecutada en la base del núcleo impermeable con una profundidad de 100 m. Se prevé la instalación de una línea de inyecciones a lo largo del eje longitudinal del dique en un ancho de plinto de 5 m.
- Un núcleo inclinado conformado con material de baja permeabilidad, el cual sería construido considerando la protección de este con la colocación de materiales adecuados aguas arriba y aguas abajo del núcleo.

Figura 15

Cortina de inyecciones del dique de cierre



Nota: Golder Associates S.A. (2021)

Impermeabilización de Zonas Cársticas

Dentro del depósito de relaves, las zonas cársticas se ubican en el área norte (52 400 m²), oeste (1 814 000 m²), este (548 400 m²).

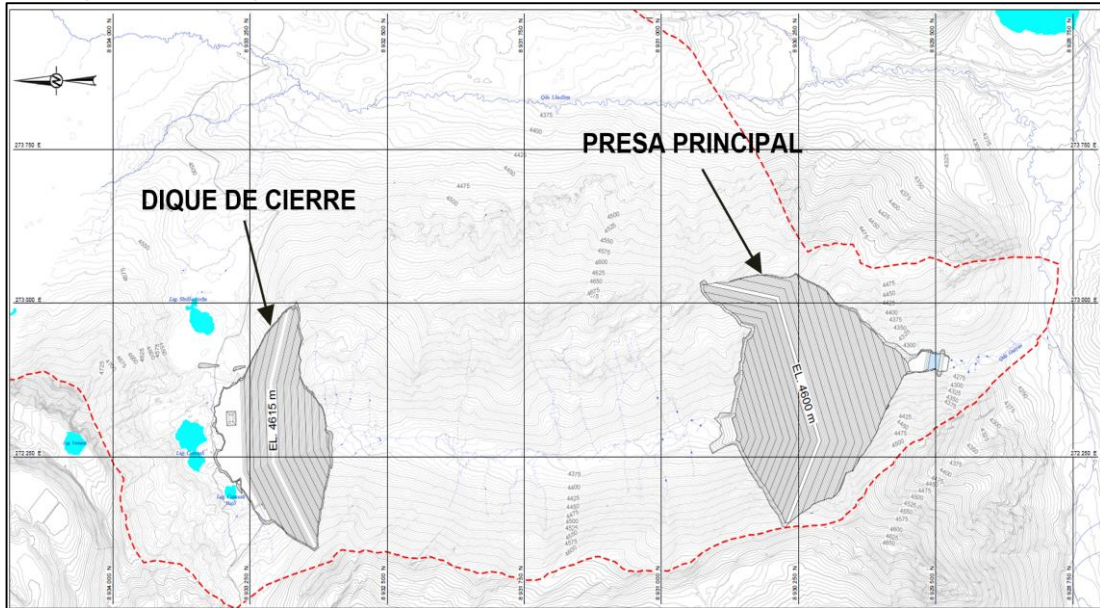
El tratamiento para la impermeabilización de estas zonas consiste en la colocación de un revestimiento (blanket), el cual presentará un sistema de drenaje conformado por grava dren y una red de tuberías, cuya función será evacuar las filtraciones hacia las pozas de filtraciones correspondientes, con la finalidad de mantener una carga hidráulica baja en la roca; una capa de material de filtro, que evitará el taponamiento del drenaje; y una capa

de material de baja permeabilidad, que controlará las filtraciones.

Para la construcción de este sistema, previamente se deberá excavar hasta alcanzar la superficie de roca, se deberá realizar un mapeo geológico de la zona excavada y, finalmente, se deberá rellenar las posibles cavidades cársticas con concreto dental.

Figura 16

Vista en planta del depósito de relaves NAS



Nota: Golder Associates S.A. (2021)

Conclusiones

- Los diseños geotécnicos de las instalaciones de la presa y el dique de cierre de NAS se ha realizado a partir del diseño actual de la presa de Antamina. La nueva información. No obstante, la nueva información generada en el presente estudio muestra una actualización de los diseños propuestos en el estudio conceptual, reflejan una optimización de la configuración geométrica y ha involucrado un mayor alcance de los trabajos y un nivel de detalle requerido para un estudio de pre-factibilidad.
- Tanto la Presa Principal como el Dique de Cierre serán estructuras que se cimentarán en roca por lo que la caracterización de los depósitos superficiales presentes en el fondo del valle y área de estribos permitirá establecer si éstos son adecuados como potenciales materiales de construcción como relleno.
- En la huella de la Presa Principal se ha ejecutado dos calicatas y una perforación que alcanzó casi los 30 m sin encontrar roca.
- La perforación BH19-GA-14 ubicada en la Presa Principal identificó el nivel de agua a 10 m, a su vez, las perforaciones BH19-GA-21 y BH19-GA-46 localizadas en el Dique de Cierre establecieron la profundidad del nivel de agua a 1 m y 2.5 m. de igual importancia se requieren mayores investigaciones para definir el nivel de agua en toda el área de las componentes, de forma preliminar debe considerarse que la posibilidad de nivel de agua superficial puede impactar en el avance de construcción de las presas.
- Hacia el cauce, la profundidad del bofedal ha sido estimada entre 30 m y 40 m con base en el mapeo geológico.
- En la huella del Dique de Cierre se realizaron 46 calicatas y tres perforaciones. El suelo que cubre la roca en el área de cimentación del dique corresponde a una grava limo arcillosa con bloques de hasta 60", el índice de plasticidad de la matriz está en el rango de 2 y 10. La permeabilidad promedio del basamento rocoso en el fondo del

valle y el estribo derecho es de 2.4×10^{-5} cm/s y la del estribo izquierdo es 3.5×10^{-7} cm/s (perforación BH19-GA-02). Los ensayos permeabilidad realizados en suelo se consideran escasos para replicar los resultados a todo el suelo de la fundación del Dique de Cierre. Sin embargo, de acuerdo con los resultados de los ensayos estándar en suelos se recomienda investigarlos con el objetivo de poder usarlos como materiales de construcción de las presas. Del mismo modo, en las calicatas se han identificado gravas limosas, por lo cual se recomienda la estimación del volumen disponible y la evaluación de si el material pudiera procesarse para su uso como material de filtro.

- Se realizó una perforación (BH19-GA-35) en el sector noroeste de depósito de relaves. El valor promedio de los ensayos de permeabilidad en roca es 7.8×10^{-5} cm/s. No se realizaron ensayos para caracterizar el suelo de este sector y el contacto suelo/roca se identificó a una profundidad de 4.6 m.
- A la fecha se han propuesto mayores investigaciones en el área de la presa Principal y Dique de Cierre, con las cuales que se podrá realizar una mejor caracterización de los cuaternarios y el bofedal que cubren el basamento rocoso, así como definir la permeabilidad del macizo.

Recomendaciones

- De acuerdo con los resultados obtenidos de las conductividades hidráulicas realizadas en la presa principal y dique de cierre se recomienda el uso de INYECCIONES para la impermeabilización de estas.
- Tomando en cuenta que el sitio de presa y los valores por zonas de la permeabilidad, se recomienda tratar por separado los sectores de roca buena (pobremente inyectables) y las zonas de falla. Así mismo deberá ser necesario implementar una variante de inyección que resulta de la aplicación del método GIN y el método tradicional de inyección. Esta variante consistirá en la aplicación de lechadas con diferentes relaciones de agua-cemento.
- Se recomienda mantener un reporte de registro a futuro de tomas y reporte gráfico actualizados diariamente en campo, ya que ello permitirá una visión clara del comportamiento de las inyecciones en las fundaciones y plantear soluciones rápidas ante algún problema.
- Se recomienda también que, según la dimensión de la presa a evaluar, las presiones de las cortinas de inyección juntamente con la evaluación geológica, geotécnica e hidrogeológica, se realice estudios de permeabilidad para contar con datos referenciales para poder determinar qué tipo de inyección se va a utilizar.
- Se recomienda la ejecución de un modelamiento numérico de deformaciones para la etapa de factibilidad del proyecto. El modelo de deformaciones para la presa y dique Presa Principal y Dique de Cierre permitirá estimar el comportamiento de las instalaciones bajo condiciones estáticas y sísmicas y evaluar los esfuerzos e integridad de los materiales de filtro y geomembrana propuestos, además de establecer el borde libre.
- Se recomienda culminar el programa de investigaciones propuesto para el proyecto, dando especial atención y prioridad a la culminación de las perforaciones ubicadas en los estribos de la Presa Principal las cuales tienen el propósito de medir el nivel

de agua subterránea en estas zonas. Asimismo, se recomienda realizar ensayos químicos y geoquímicos en las muestras de suelo recuperadas con el objetivo de verificar si son generadores de ácido.

- Se recomienda a la escuela de ingeniería geológica, incluir cursos de mecánica de suelos, cimentaciones, hidrogeología, estabilidad de taludes, geotecnia de presas y relaves, mecánica de rocas y sostenimiento de túneles, etc. Para que el profesional que salga este preparado para este rubro de la geotecnia.

Referencias bibliográficas

- Armas, R., y Horta, E. (1987). Presas de Tierra. (P. R. Fonte, Ed.) (p. 453): Editorial ISPJAE. La Habana, Cuba.
- Bieniawski, T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Libro. London.
- Castilla, J., y Herrera, J. (2012). El Proceso de Exploración Minera Mediante Sondeos. *Laboratorio de Tecnologías Mineras*. Madrid, España
- Cruzado, F. (2014). *Zonificación geotécnica para la cimentación de la presa de relaves Fraylones-Proyecto La Arena-La Libertad*. Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- De la Cruz, S. (2017). *Evaluación del fallo de presas de relaves con el método del árbol de fallos*. (Tesis de maestría). Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, España.
- Ewert, F. (1985). *Rock grouting with emphasis on dam sites*. Springer-Verlag, Berlín, Germany.
- Ewert, F. (2003). *Discussion of rock type related criteria for curtain grouting. Proceedings of the third international conference on grouting and ground improvement*, ASCE special publication, No. 120.
- Golder Associates (2017). Reporte interno
- Golder Associates (2018). Reporte interno
- Golder Associates (2021). Reporte interno
- González de Vallejo, Ll., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002), Ingeniería Geológica. Pearson Educación. España.
- Houlsby, C. (1976). Routine interpretation of the Lugeon water-test. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 9(4), 303-313.
- Houlsby, C. (1990). Construction and design of cement grouting: *a guide to grouting in rock foundations*. John Wiley and Sons, Inc. New York.

- Jiménez, A., De Justo, L., y Serrano, A. (1981). Geotecnia y Cimientos II: Mecánica del suelo y de las rocas. *Editorial Rueda, Segunda Edición*, Madrid, España.
- Jorquera, M. (2019) *Pasivos ambientales mineros conflictos ambientales y percepción de la contaminación y de la salud de la población comuna de Cabildo*. Tesis. Universidad de Chile.
- Littejohn, G. (1992). Report on session 2: Consolidation grouting. Grouting in the ground. In *Conference proceedings. Institution of Civil Engineers, London* (pp. 183-192).
- Lugeon, M. (1933). *Barrages et géologie*. Dunod. Paris.
- Middlebrooks, T. (1953). Earth-dam practice in the United States. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 118(2), 697-722.
- Olalla, C. y Sopena, L. (1991). Ensayos de Campo: Máster de Ingeniería Geológica, *Monografía, 5*. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Ortiz, W. y Portilla, E. (2014) *Estudio de estabilidad de los taludes de la presa del proyecto Pacalcori, para los tres estados de carga, considerando la acción sísmica*. Tesis. Universidad de Cuenca. Ecuador
- Peña, A. (2008). El Club Europeo de ICOLD. *Revista de Obras Públicas*, (3.493).
- Quispe, D. y Zúñiga, A. (2020). *Análisis sísmico pseudo estático y pseudo dinámico de la estabilidad de la presa N°9 Acuchilla-Cochaccasa-Angaraes-Huancavelica*. Tesis, Universidad Nacional de Huancavelica. Perú.
- Sánchez San Román, J. (2011). Ley de Darcy. Conductividad Hidráulica.: *Universidad de Salamanca. Salamanca, España*
- Sosa, G. (2016). Estudio del comportamiento de los fallos en presas de materiales sueltos en el ámbito nacional e internacional. *Trabajo de Diploma presentado en opción al título de Ingeniero Hidráulico*. La Habana, Cuba.
- Weaver, D., y Bruce, A. (2007). *Dam foundation grouting* (p. 494). Reston, VA: ASCE press. Geosystems L.P. Virginia.
- Yalán, N. (2015). *Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes aplicado en la presa de tierra*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.

Anexos

Figura 1

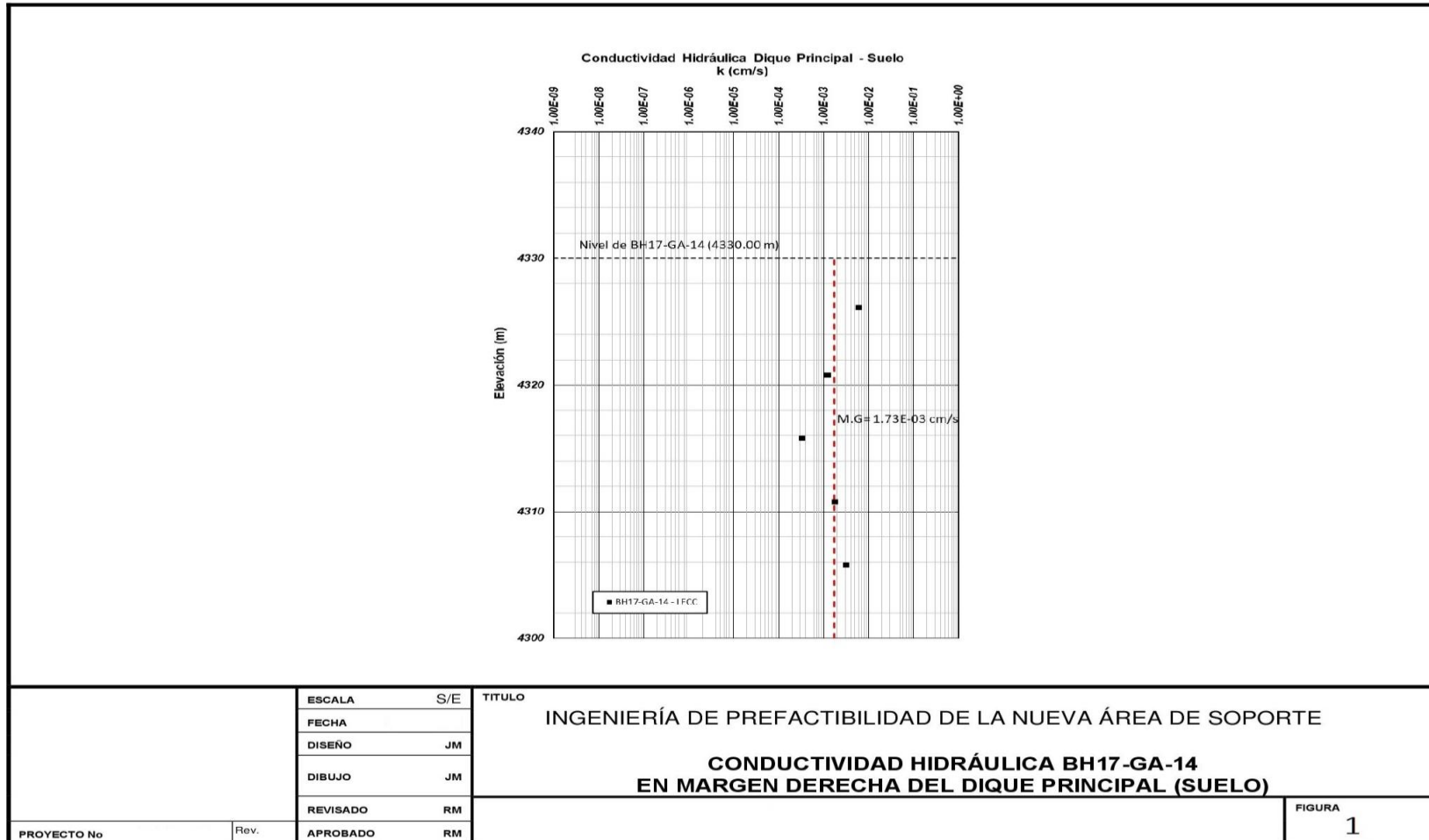


Figura 2

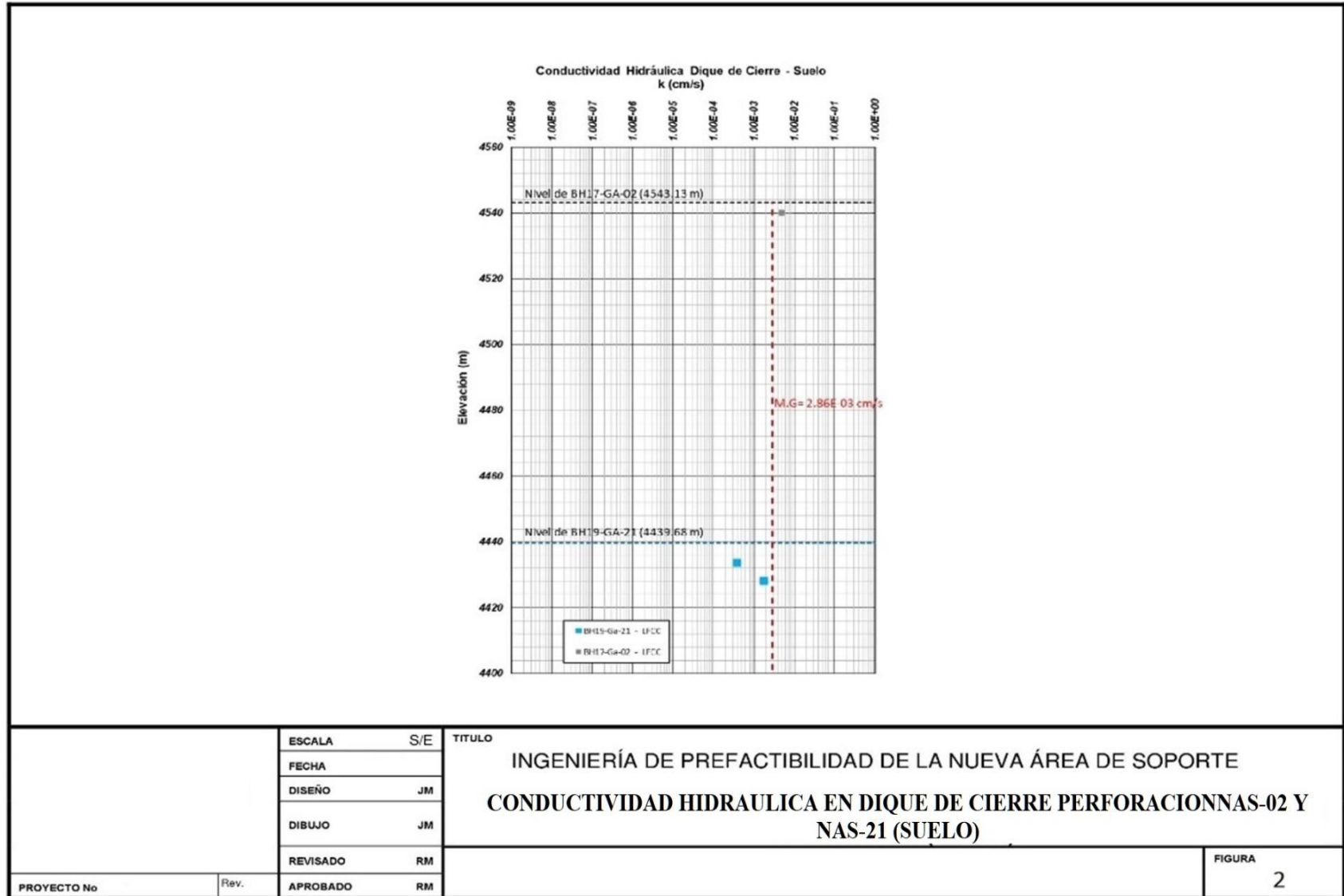


Figura 3

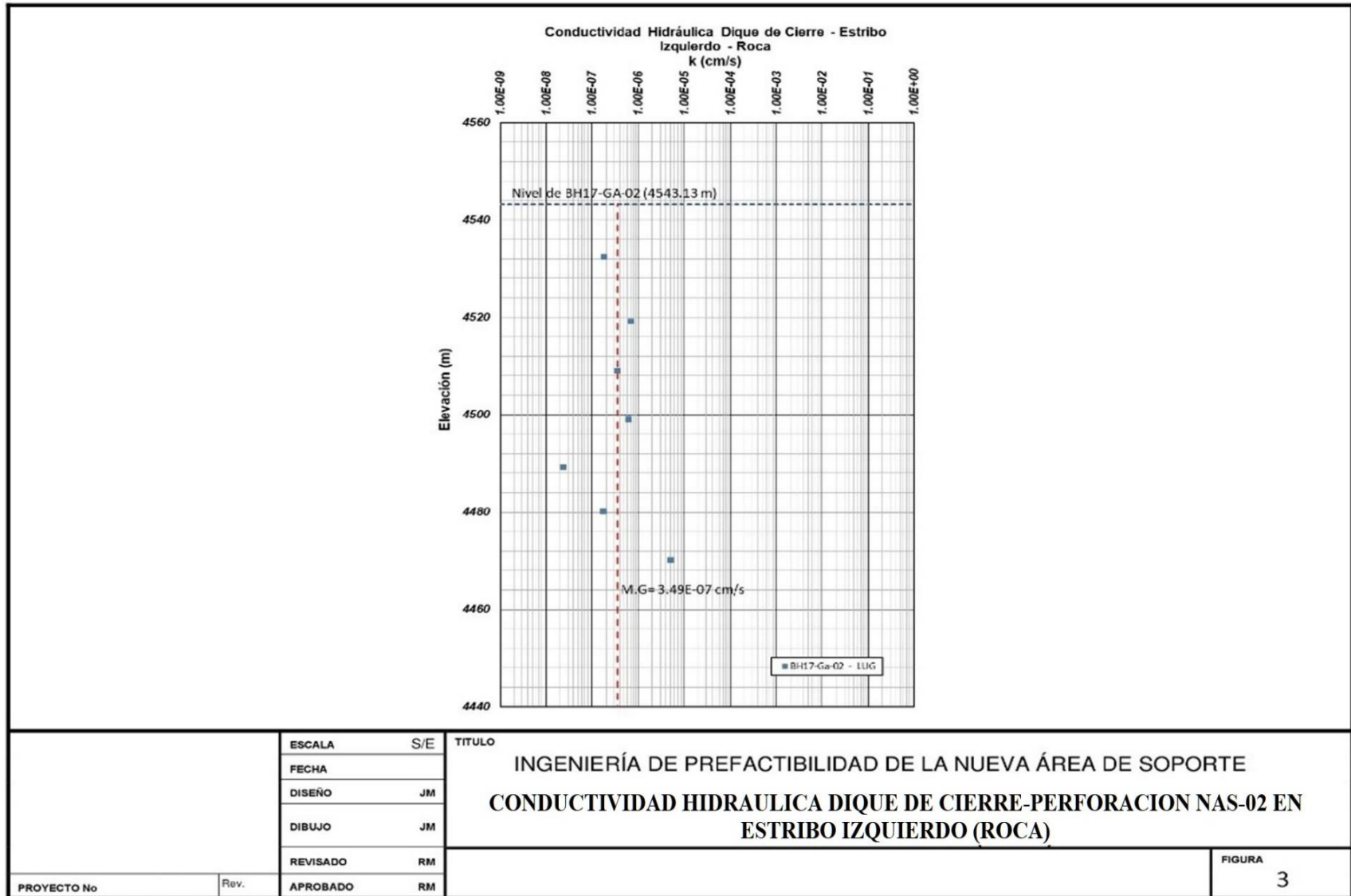


Figura 4

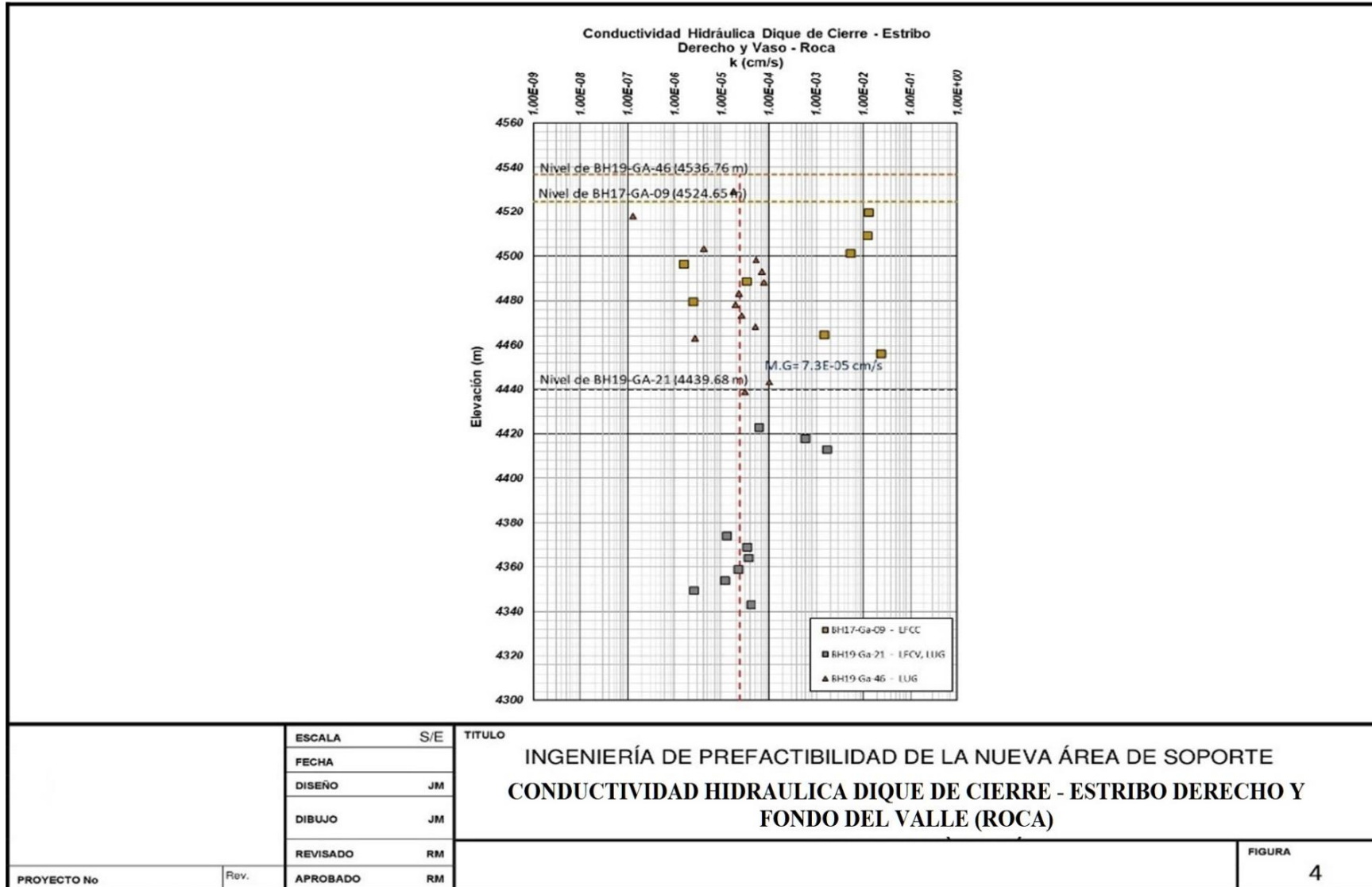
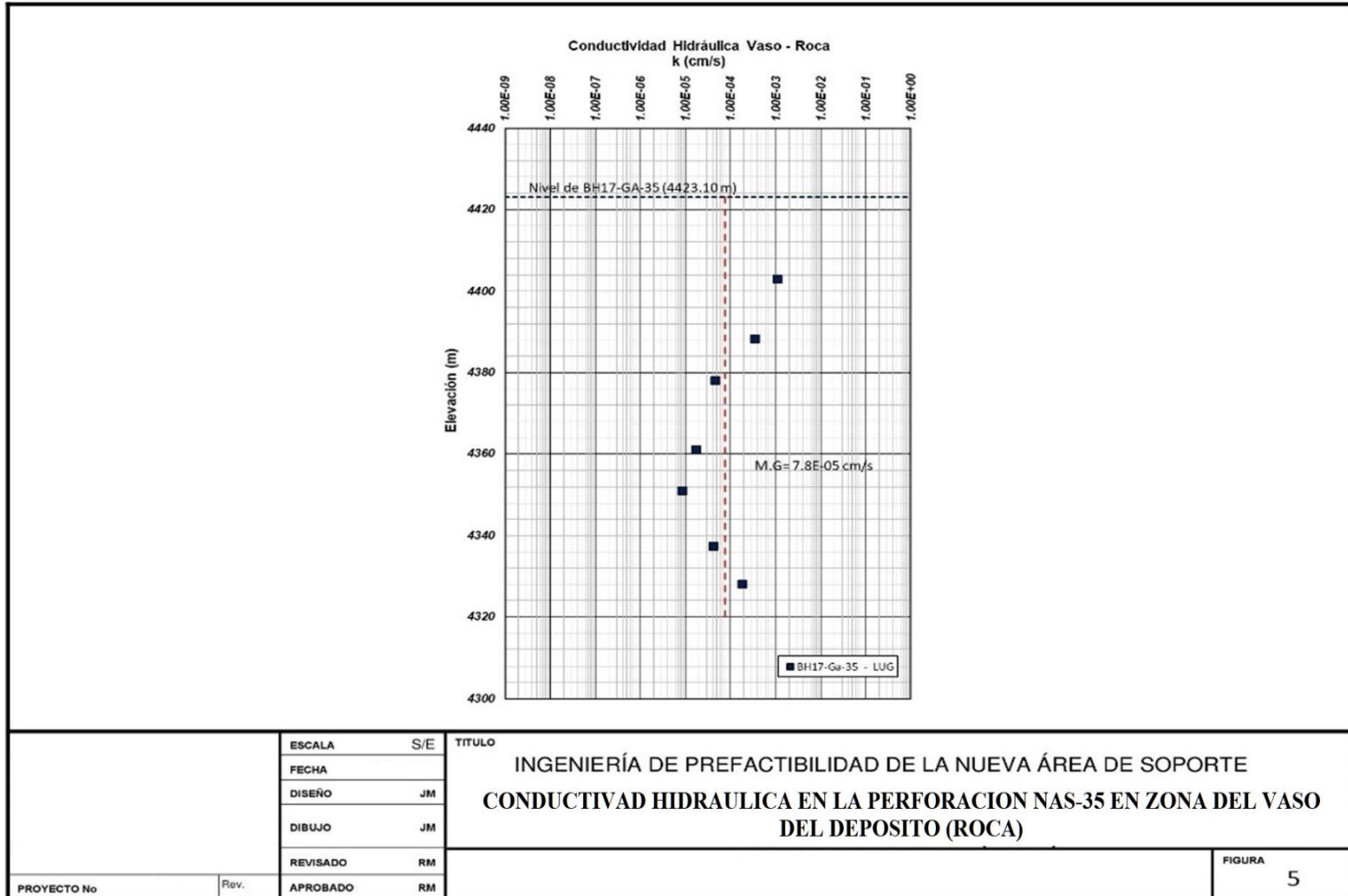


Figura 5



Tabla

Resultados de Ensayos de Permeabilidad In-Situ

Tabla									
Resultados de Ensayos de Permeabilidad In-Situ									
PRE-FACTIBILIDAD NUEVA ÁREA DE SOPORTE									
Área	Perforación	Tramo (m)		Tipo de Ensayo	Permeabilidad (cm/s)	Constante	Tipo de Material	NºLugeon	Med Geo Nº de Lug
		Desde	Hasta						
Nueva Área de Soporte (NAS)	NAS-09	4.50	5.00	LFCC-01	1.30E-02	1.30E-05	Lutita carbonosa	1.00E+03	38.45
		9.00	10.00	LFCC-02	Tramo Impermeable	1.30E-05	Lutita		
		15.00	15.60	LFCC-03	1.21E-02	1.30E-05	Arenisca	9.31E+02	
		16.00	24.10	LUG-01	BY PASS	1.30E-05	Lutita		
		22.60	24.10	LFCC-04	5.43E-03	1.30E-05	Lutita	4.18E+02	
		25.00	31.00	LUG-02	1.58E-06	1.30E-05	Lutita	1.22E-01	
		31.00	41.00	LUG-03	3.28E-05	1.30E-05	Arenisca	2.53E+00	
		39.00	51.00	LUG-04	2.49E-06	1.30E-05	Lutita carbonosa	1.92E-01	
		59.00	61.00	LFCC-05	1.45E-03	1.30E-05	Lutita carbonosa	1.12E+02	
	66.00	71.00	LFCC-06	2.43E-02	1.30E-05	Arenisca	1.87E+03		
	NAS-14	3.65	4.15	LFCC-01	6.23E-03	1.30E-05	Limo con arena	4.79E+02	133.04
		9.00	9.50	LFCC-02	1.26E-03	1.30E-05	Limo arcilloso	9.69E+01	
		14.00	14.50	LFCC-03	3.35E-04	1.30E-05	Arena limosa	2.58E+01	
		19.00	19.50	LFCC-04	1.82E-03	1.30E-05	Limo arcilloso	1.40E+02	
		24.00	24.50	LFCC-05	3.22E-03	1.30E-05	Arena limosa	2.48E+02	
	NAS-35	4.50	5.10	LFCC-01	8.98E-03	1.30E-05	Grava limosa	6.91E+02	10.85
		5.50	15.50	LUG-01	Tramo Muy Permeable	1.30E-05	Intrusivo Andesítico		
		15.00	25.00	LUG-02	1.07E-03	1.30E-05	Intrusivo Andesítico	8.23E+01	
		25.00	35.00	LUG-03	By Pass	1.30E-05	Arenisca		
		29.50	40.00	LUG-04	3.44E-04	1.30E-05	Arenisca	2.65E+01	
		40.00	50.00	LUG-05	4.56E-05	1.30E-05	Arenisca	3.51E+00	
		50.00	60.00	LUG-06	By Pass	1.30E-05	Limolita carbonosa		
		57.00	67.10	LUG-07	1.68E-05	1.30E-05	Lodolita Carbonosa	1.29E+00	
		67.10	76.90	LUG-08	8.26E-06	1.30E-05	Lodolita carbonosa	6.35E-01	
		77.00	87.00	LUG-09	By Pass	1.30E-05	Arenisca		
		81.00	90.10	LUG-10	4.08E-05	1.30E-05	Limolita	3.14E+00	
	90.00	100.00	LUG-11	1.84E-04	1.30E-05	Limolita	1.42E+01		
	NAS-05	2.50	3.00	LFCC-01	3.96E-02	1.30E-05	Brecha	3.05E+03	5.01
		5.50	6.10	LFCC-02	2.38E-02	1.30E-05	Brecha	1.83E+03	
		6.10	16.10	LUG-01	1.17E-03	1.30E-05	Brecha	8.99E+01	



		16.00	26.00	LUG-02	1.32E-06	1.30E-05	Brecha	1.01E-01	
		26.10	36.10	LUG-03	8.64E-05	1.30E-05	Brecha	6.65E+00	
		36.10	46.10	LUG-04	1.54E-05	1.30E-05	Brecha	1.18E+00	
		46.10	56.10	LUG-05	4.50E-07	1.30E-05	Brecha	3.46E-02	
		55.50	65.50	LUG-06	2.91E-06	1.30E-05	Brecha	2.24E-01	
		65.00	70.10	LUG-07	8.33E-06	1.30E-05	Brecha	6.41E-01	
		3.00	3.80	LFCV-01	3.04E-06	1.30E-05	Brecha	2.34E-01	
	NAS-06	4.05	14.05	LUG-01	1.10E-03	1.30E-05	Monzonita	8.46E+01	0.67
		14.00	24.00	LUG-02	By Pass	1.30E-05	Monzonita		
		24.00	34.00	LUG-03	2.17E-04	1.30E-05	Monzonita	1.67E+01	
		34.00	44.00	LUG-04	6.13E-08	1.30E-05	Brecha	4.72E-03	
		44.00	54.00	LUG-05	6.56E-07	1.30E-05	Brecha	5.05E-02	
		54.00	64.00	LUG-06	3.07E-06	1.30E-05	Monzonita	2.36E-01	
		64.00	70.00	LUG-07	4.08E-05	1.30E-05	Monzonita	3.14E+00	
	NAS-12	3.00	3.40	LFCV-01	5.33E-07	1.30E-05	Arena arcillosa	4.10E-02	4.31
		6.10	6.45	LFCV-02	1.58E-05	1.30E-05	Arena arcillosa	1.22E+00	
		9.35	9.65	LFCV-03	2.30E-05	1.30E-05	Arena arcillosa	1.77E+00	
		12.50	12.95	LFCV-04	2.93E-05	1.30E-05	Arena arcillosa	2.25E+00	
		15.00	15.45	LFCV-05	1.17E-05	1.30E-05	Arena arcillosa	9.00E-01	
		18.00	18.45	LFCV-06	5.80E-07	1.30E-05	Arena arcillosa	4.46E-02	
		21.40	21.90	LFCC-01	Tramo Impermeable	1.30E-05	Limo orgánico		
		24.60	25.05	LFCV-07	1.96E-07	1.30E-05	Limo orgánico	1.51E-02	
		27.05	27.55	LFCV-08	1.50E-07	1.30E-05	Limo orgánico	1.15E-02	
		29.00	30.00	LFCC-02	1.35E-04	1.30E-05	Grava arcillosa	1.04E+01	
		32.80	33.30	LFCC-03	1.01E-03	1.30E-05	Grava arcillosa	7.77E+01	
		35.50	36.00	LFCC-04	1.93E-03	1.30E-05	Arena arcillosa	1.48E+02	
		38.50	39.00	LFCC-05	3.85E-04	1.30E-05	Arena arcillosa	2.96E+01	
		41.40	42.00	LFCC-06	Tramo Impermeable	1.30E-05	Arena con grava		
		44.50	45.00	LFCC-07	6.04E-04	1.30E-05	Arcilla	4.65E+01	
		47.60	48.10	LFCV-09	1.42E-06	1.30E-05	Arcilla	1.09E-01	
		50.50	51.00	LFCC-08	3.59E-03	1.30E-05	Grava arcillosa	2.76E+02	
		53.00	54.00	LFCC-09	1.47E-03	1.30E-05	Grava mal gradada	1.13E+02	
		56.10	57.10	LFCC-10	6.09E-04	1.30E-05	Grava limosa	4.68E+01	
59.00		60.00	LFCC-11	3.40E-04	1.30E-05	Grava arcillosa	2.62E+01		
62.50	63.00	LFCC-12	1.52E-03	1.30E-05	Grava arcillosa	1.17E+02			
65.50	66.00	LFCC-13	2.60E-03	1.30E-05	Arena limosa	2.00E+02			



		68.50	69.00	LFCV-10	2.27E-08	1.30E-05	Arcilla gravosa	1.75E-03	78.87
		71.60	72.10	LFCC-14	7.66E-04	1.30E-05	Arcilla gravosa	5.89E+01	
		74.70	75.20	LFCC-15	Tramo Impermeable	1.30E-05	Grava arenosa		
		78.00	78.50	LFCV-11	5.77E-05	1.30E-05	Grava arenosa	4.44E+00	
		81.10	81.60	LFCC-16	1.04E-04	1.30E-05	Pórfido Monzonítico	8.00E+00	
		84.10	84.60	LFCC-17	2.97E-04	1.30E-05	Lodolita calcárea	2.28E+01	
		86.55	87.05	LFCC-18	1.12E-04	1.30E-05	Lodolita calcárea	8.62E+00	
		89.70	90.20	LFCC-19	1.71E-04	1.30E-05	Pórfido Monzonítico	1.32E+01	
		89.00	100.20	LUG-01	3.65E-05	1.30E-05	Lodolita	2.81E+00	
	NAS-13	2.50	3.00	LFCC-01	2.35E-02	1.30E-05	Grava arcillosa	1.81E+03	
		5.50	6.00	LFCC-02	1.78E-02	1.30E-05	Grava arcillosa	1.37E+03	
		8.50	9.00	LFCC-03	8.97E-03	1.30E-05	Grava arcillosa	6.90E+02	
		11.50	12.00	LFCC-04	5.73E-03	1.30E-05	Grava arcillosa	4.41E+02	
		14.50	15.00	LFCC-05	6.81E-03	1.30E-05	Grava arcillosa	5.24E+02	
		17.50	18.00	LFCC-06	2.50E-03	1.30E-05	Arcilla arenosa	1.92E+02	
		20.50	21.00	LFCC-07	3.46E-04	1.30E-05	Arcilla arenosa	2.66E+01	
		23.50	24.00	LFCC-08	7.03E-04	1.30E-05	Grava arcillosa	5.41E+01	
		26.50	27.00	LFCC-09	4.23E-04	1.30E-05	Pórfido monzonitico	3.25E+01	
		29.55	30.05	LFCC-10	1.41E-04	1.30E-05	Brecha	1.08E+01	
Nueva Área de Soporte de Antamina (NASA)	NAS-15	2.00	2.45	LFCV-01	6.74E-09	1.30E-05	Arcilla con grava	5.18E-04	1.49
		5.00	5.50	LFCV-02	3.70E-05	1.30E-05	Grava arcillosa	2.85E+00	
		8.50	9.00	LFCV-03	6.12E-06	1.30E-05	Arena limosa	4.71E-01	
		11.35	11.85	LFCC-01	5.56E-04	1.30E-05	Arcilla limosa	4.28E+01	
		14.20	14.70	LFCC-02	1.42E-03	1.30E-05	Dique andesítico	1.09E+02	
		19.40	19.90	LFCC-03	3.61E-04	1.30E-05	Dique andesítico	2.78E+01	
		15.10	25.10	LUG-01	8.90E-06	1.30E-05	Dique andesítico	6.85E-01	
		25.25	35.25	LUG-02	2.94E-05	1.30E-05	Dique andesítico	2.26E+00	
		35.30	45.30	LUG-03	3.02E-05	1.30E-05	Intrusivo dacítico	2.32E+00	
		45.40	55.40	LUG-04	3.05E-05	1.30E-05	Dique andesítico	2.35E+00	
		55.50	65.50	LUG-05	1.95E-06	1.30E-05	Intrusivo dacítico	1.50E-01	
	64.00	74.00	LUG-06	3.89E-06	1.30E-05	Intrusivo dacítico	2.99E-01		
74.00	80.00	LUG-07	6.85E-05	1.30E-05	Caliza micrítica	5.27E+00			
NAS-21	5.50	6.45	LFCC-01	3.82E-04	1.30E-05	Limo con grava	2.94E+01	5.49	

		11.20	11.70	LFCC-02	1.75E-03	1.30E-05	Limo con grava	1.35E+02	
		16.50	17.00	LFCV-01	6.07E-05	1.30E-05	Arenisca Cuarzosa	4.67E+00	
		21.50	22.00	LFCC-03	5.96E-04	1.30E-05	Arenisca Cuarzosa	4.58E+01	
		26.50	27.00	LFCC-04	1.69E-03	1.30E-05	Arenisca cuarzosa	1.30E+02	
		31.50	32.00	LFCV-02	Impermeable	1.30E-05	Arenisca cuarzosa		
		63.00	68.00	LUG-01	1.28E-05	1.30E-05	Arenisca cuarzosa	9.82E-01	
		68.00	73.00	LUG-02	3.39E-05	1.30E-05	Arenisca Cuarzosa	2.61E+00	
		73.00	78.00	LUG-03	3.67E-05	1.30E-05	Arenisca Cuarzosa	2.82E+00	
		78.10	83.10	LUG-04	2.20E-05	1.30E-05	Arenisca Cuarzosa	1.69E+00	
		83.00	88.00	LUG-05	1.17E-05	1.30E-05	Arenisca Cuarzosa	8.98E-01	
		87.00	93.00	LUG-06	2.55E-06	1.30E-05	Arenisca Cuarzosa	1.96E-01	
	93.00	100.00	LUG-07	4.15E-05	1.30E-05	Arenisca Cuarzosa	3.19E+00		
	NAS-24	4.00	4.50	LFCC-01	4.93E-02	1.30E-05	Arcilla limosa	3.79E+03	36.66
		9.00	9.50	LFCC-02	6.37E-01	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	4.90E+04	
		13.50	14.50	LFCC-03	3.20E-03	1.30E-05	Andesita	2.46E+02	
		18.50	19.50	LFCC-04	3.42E-04	1.30E-05	Andesita	2.63E+01	
		18.50	28.50	LUG-01	5.39E-05	1.30E-05	Andesita	4.14E+00	
		28.50	38.55	LUG-02	5.22E-05	1.30E-05	Caliza micrítica	4.02E+00	
		37.50	48.70	LUG-03	Tramo permeable	1.30E-05	Andesita		
		43.50	48.70	LUG-04	5.37E-05	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	4.13E+00	
		48.70	58.65	LUG-05	2.93E-05	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	2.26E+00	
		58.65	68.90	LUG-06	1.58E-04	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	1.21E+01	
		68.90	74.00	LUG-07	6.47E-05	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	4.97E+00	
	74.00	80.00	LUG-08	1.86E-04	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	1.43E+01		
	NAS-26	2.50	3.00	LFCC-01	3.43E-02	1.30E-05	Grava limosa	2.64E+03	1.20
		5.50	6.00	LFCV-01	Tramo Impermeable	1.30E-05	Limolita		
		10.30	10.80	LFCC-02	1.34E-02	1.30E-05	Arenisca	1.03E+03	
		15.60	16.10	LFCV-02	3.32E-05	1.30E-05	Arenisca cuarzosa	2.55E+00	
		16.10	26.10	LUG-01	6.54E-06	1.30E-05	Arenisca	5.03E-01	
		26.10	36.10	LUG-02	9.49E-06	1.30E-05	Limolita y Lutita	7.30E-01	
		36.10	46.10	LUG-03	2.18E-07	1.30E-05	Limolita y Lutita	1.68E-02	
		46.10	57.00	LUG-04	7.22E-06	1.30E-05	Limolita y Lutita	5.55E-01	
		57.00	67.00	LUG-05	2.01E-06	1.30E-05	Lodolita	1.55E-01	
67.00		77.10	LUG-06	4.85E-06	1.30E-05	Caliza micrítica	3.73E-01		
77.10		87.10	LUG-07	1.65E-06	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	1.27E-01		
87.10	97.10	LUG-08	By Pass	1.30E-05	Caliza micrítica				

		97.10	107.10	LUG-09	1.07E-06	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	8.23E-02	0.24
		107.10	114.10	LUG-10	2.43E-06	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	1.87E-01	
		114.10	120.00	LUG-11	5.24E-05	1.30E-05	Caliza micrítica nodular	4.03E+00	
	NAS-26A	3.80	13.80	LUG-01	1.35E-06	1.30E-05	Limolita	1.04E-01	
		11.60	24.00	LUG-02	1.49E-05	1.30E-05	Arenisca	1.15E+00	
		24.00	34.20	LUG-03	3.06E-07	1.30E-05	Limolita y lutita	2.35E-02	
		34.20	44.20	LUG-04	3.88E-06	1.30E-05	Limolita y lutita	2.98E-01	
		44.20	54.20	LUG-05	1.50E-05	1.30E-05	Limolita y lutita	1.15E+00	
		54.20	64.20	LUG-06	2.89E-06	1.30E-05	Lutita	2.22E-01	
		NAS-46	2.50	3.00	LFCV-01	Tramo Impermeable	1.30E-05	Lutita	
	5.00		10.00	LUG-01	1.80E-05	1.30E-05	Limolita	1.38E+00	
	10.00		15.00	LUG-02	By Pass	1.30E-05	Arenisca		
	16.50		21.00	LUG-03	1.30E-07	1.30E-05	Arenisca	1.00E-02	
	21.00		26.00	LUG-04	Tramo Impermeable	1.30E-05	Arenisca		
	26.00		31.00	LUG-05	Tramo Impermeable	1.30E-05	Arenisca		
	31.00		36.00	LUG-06	4.09E-06	1.30E-05	Arenisca	3.14E-01	
	36.00		41.00	LUG-07	5.40E-05	1.30E-05	Arenisca	4.15E+00	
	41.00		46.00	LUG-08	7.23E-05	1.30E-05	Arenisca	5.56E+00	
	46.00		51.00	LUG-09	7.94E-05	1.30E-05	Arenisca	6.11E+00	
	51.00		56.00	LUG-10	2.32E-05	1.30E-05	Arenisca	1.78E+00	
56.00	61.00		LUG-11	1.98E-05	1.30E-05	Arenisca	1.52E+00		
61.00	66.00		LUG-12	2.62E-05	1.30E-05	Arenisca	2.02E+00		
66.00	71.00		LUG-13	5.26E-05	1.30E-05	Arenisca	4.04E+00		
71.00	76.00		LUG-14	2.67E-06	1.30E-05	Arenisca	2.06E-01		
76.00	81.00		LUG-15	By Pass	1.30E-05	Arenisca			
81.00	86.00		LUG-16	By Pass	1.30E-05	Arenisca			
86.00	91.00	LUG-17	By Pass	1.30E-05	Arenisca				
91.00	96.00	LUG-18	1.02E-04	1.30E-05	Pórfido monzonítico	7.83E+00			
96.00	100.00	LUG-19	3.05E-05	1.30E-05	Pórfido monzonítico	2.35E+00			
LFCC: Ensayo de Permeabilidad Tipo Lefranc Carga Constante									
LFCV: Ensayo de Permeabilidad Tipo Lefranc Carga Variable									
LUG: Ensayo de Permeabilidad Tipo Lugeón									

Registro de calicatas

TP19-PP-24		DESCRIPCIÓN DE CALICATAS							
Calicata									
		FECHA :		15-Mar-20					
		PROYECTO :		Ingeniería de Prefactibilidad Nueva Área de Soporte Antamina (NASA)					
		PROYECTO No. :		199-415-8922					
		UBICACIÓN :		Nasa - Presa Principal					
		Norte :		8 930 252.00		Este :		272 476.00	
		Elevación (msnm) :		4305 aprox.		Dimensión (mxmxm) :		5.0 x 2.0 x 4.0	
		Ingeniero / Técnico :		Edward Meza					
		Equipo :		Excavadora Cat 336					
		Condiciones del agua :		Se alcanzó el nivel freático a 2.30 m de profundidad					
		Condición de Superficie :		Superficie en talud con cobertura vegetal					
		Información Adicional:							
PROF. (m)	Muestra No.	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	COLOR	CONSISTENCIA ¹ O DENSIDAD ²	PLASTICIDAD (np, b, mh, a)	ENSAYO IN SITU O DE LABORATORIO ³			
						CONT. AGUA (%)	OTROS ENSAYOS		
0.00		Topsil, marrón oscuro, homogéneo, blando, húmedo, presencia de raíces	Marrón oscuro	Blando	np				
0.50	M-01	Limo arcilloso con grava, pardo, blando a firme, baja plasticidad, mojado a saturado. Matriz de limo arcilloso con arena de grano medio, clastos subredondeados a redondeados de hasta 5" G:15% A:30% F:55%	Pardo	Blando a Firme	b				
1.00									
1.50									
2.00									
2.50		Contacto con nivel freático. Pendiente del terreno impide profundizar. Fin de Calicata							
3.00									
3.50									
4.00									
4.50									
5.00									
Notas:		¹ Para suelos de grano fino: muy blando, blando, firme, duro, muy duro. ² Para suelos de grano grueso: muy sueto, sueto, compacto, denso, muy denso.		³ A (Límites de Atterberg), C (Ensayo de Consolidación), D (Densidad In-Situ), D(ρ) (Densidad en Laboratorio), H (Hidrómetro), K (Permeabilidad), M (Análisis Granulométrico), P (Proctor Estándar). Loeado: EM Revisado: JV					

TP19-PP-25		DESCRIPCIÓN DE CALICATAS					
Calicata				FECHA : 15-Mar-20 PROYECTO : Ingeniería de Prefactibilidad Nueva Área de Soporte Antamina (NASA) PROYECTO No. : 199-415-8922 UBICACIÓN : Nasa - Presa Principal Norte : 8 930 306.00 Este : 272 474.00 Elevación (msnm): Dimensión (mxmxm) 5.0 x 2.0 x 4.0 Ingeniero / Técnico : Edward Meza Equipo : Excavadora Cat. 336 Condiciones del agua: Se alcanzó el nivel freático a 2.50 m de profundidad Condición de Superficie: Superficie en talud con cobertura vegetal Información Adicional:			
PROF. (m)	Muestra No.	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	COLOR	CONSISTENCIA ¹ O DENSIDAD ²	PLASTICIDAD (np, b, m, a)	ENSAYO IN SITU O DE LABORATORIO ³	
						CONT. AGUA (%)	OTROS ENSAYOS
0.00		Topsoil, marrón oscuro, homogéneo, blando, húmedo, presencia de raíces	Marrón oscuro	Blando	np		
0.50							
1.00							
1.50	M-01	Limo arcilloso con grava, pardo oscuro a gris, blando a firme, baja plasticidad. Matriz de limo arcilloso con arena de grano medio, clastos subredondeados a redondeados de hasta 5" G:20% A:25% F:55%	Pardo a Gris	Blando a Firme	b		
2.00							
2.50		Nivel freático al final. Fin de Calicata					
3.00							
3.50							
4.00							
4.50							
5.00							
5.50							

Notas:

¹ Para suelos de grano fino: muy blando, blando, firme, duro, muy duro.
² Para suelos de grano grueso: muy suelto, suelto, compacto, denso, muy denso.

³ A (Límites de Atterberg), C (Ensayo de Consolidación), D (Densidad In-Situ), D(*) (Densidad en Laboratorio), H (Hidrómetro), K (Permeabilidad), M (Análisis Granulométrico), P (Proctor Estándar)

Locado: EM
 Revisado: JV


Registro de Perforaciones

REGISTRO DE PERFORACIÓN: BH17-GA-09

HOJA 1 DE 9
DATUM: WGS-84

PROYECTO: 199 415 8922
UBICACIÓN: N: 8932895.95 E: 272032.49
INCLINACIÓN: -90° AZIMUTH: °

FECHA DE PERFORACIÓN: 12/24/2019
CONTRATISTA DE PERFORACIÓN: Explomin SA
EQUIPO DE PERFORACIÓN: DE710 - 11

PROFUNDIDAD (m)	MÉTODO DE PERF.	PERFIL DE SUELO		MUESTRAS		TESTIGO				GRADACIÓN %			CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA, $k, \text{cm/s}$		INCLINÓMETRO / PIEZÓMETRO CUERDA VIBRANTE	
		DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	COTA PROF. (m)	NÚMERO TIPO	GOLPES/0.3m	No. CORRIDA	TCR %	GRAVA	ARENA	FINOS	10^6	10^5	10^4		10^3
0	HW - Casing HQ3 - Corina	GRAVA LIMOSA con algo de arena, gris oscuro, compacta, heterogénea, húmeda. No plástica. Clastos angulosos a subangulosos. Tmáx: 2.5 cm. S: 60%, A: 10%, F: 30%		4524.66 0.00			1									
1		Contacto Suelo - Roca: 0.60m.														
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																

REGISTRO DE PERFORACIÓN: BH17-GA-09

HOJA 2 de 9
DATUM: WGS-84

PROYECTO: 199 415 8922
UBICACIÓN: N: 8932895.95 E: 272032.49
INCLINACIÓN: -90° AZIMUTH: 0°

FECHA DE PERFORACION:
CONTRATISTA DE PERFORACION: Explomin SA
EQUIPO DE PERFORACION: DE710 - 11

PROFUNDIDAD (m)	DIÁMETRO DE REVESTIMIENTO	DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	COTA PROF. (m)	No. Corrida	T.C.R. %		R.Q.D. %		DISCONTINUIDADES		INDICE DE RESISTENCIA		GRADO DE METEORIZACIÓN		Piezómetro	
						T.C.R. %	R.Q.D. %	BETA ANGLE	ALFA ANGLE	TIPO FORMA/RUGOSIDAD RELLENO DE LA SUPERFICIE	R1	R2	R3	R4	R5		R6
						BC	CI	BC	CI	BC	CI	BC	CI	BC	CI		
		Cambio a Roca		4524.05													
1		ARENISCA, gris, medianamente dura. Grano fino. Ligeramente porosa. Fresca a ligeramente meteorizada. Muy fracturada a triturada. Presencia de venillas de calcita de hasta 1cm de diámetro.		0.60	1											0.80	
2		CARBÓN, gris oscuro a negro, débil a medianamente duro, fresca. Moderadamente poroso. Muy fracturado		1.90	4												
3		LUTITA, gris oscuro, muy débil a débil, fresca. Estructura fina a gruesa. Ligeramente porosa. Fracturada a muy fracturada. Presencia de carbón entre 3.30 a 3.40m presencia de arenisca de entre 4.05 a 4.20m.		2.60	5												
4		LUTITA CARBONOSA, negra, extremadamente débil a débil, fresca. Estructura fina, no porosa. Muy fracturada. Intercalación con delgados niveles de carbón.		4.50	7												
5		Ensayo de Permeabilidad N°01: LFCC-01 (4.50 - 5.00 m); K = 1.30 x 10 ⁻¹² cm/s		5.80	9												
6		ARENISCA, gris, débil, fresca. Grano fino. Estructura bandeada, no porosa. Poco fracturada. Presencia de venillas de cuarzo.		6.80	10												
7		LUTITA, gris, débil a extremadamente débil, fresca. Estructura laminada, no porosa. Fracturada. Venillas esporádicas de cuarzo hasta 1cm de diámetro, intercalación con delgados niveles de carbón.		8.10	11												
8		LUTITA, gris, débil a extremadamente débil, fresca. Estructura laminada, no porosa. Fracturada. Venillas esporádicas de cuarzo hasta 1cm de diámetro, intercalación con delgados niveles de carbón.		8.10	12												
9		Ensayo de Permeabilidad N°02: LFCC-02 (9.00 - 10.00 m); Tramo Impermeable.			13												
10					14												

---CONTINUA EN LA SIGUIENTE PAGINA---

REGISTRO DE PERFORACIÓN: BH17-GA-14

HOJA 1 DE 3
DATUM: WGS-84

PROYECTO: 199 415 8922
UBICACIÓN: N: 8930156 E: 272406
INCLINACIÓN: -90° AZIMUTH: °

FECHA DE PERFORACIÓN: 03/13/2020
CONTRATISTA DE PERFORACIÓN: Explomin SA
EQUIPO DE PERFORACIÓN: DE710 - 11

PROFUNDIDAD (m)	MÉTODO DE PERF.	PERFIL DE SUELO		MUESTRAS		TESTIGO			GRADACIÓN %			CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA, k_f cm/s	INCLINÓMETRO / PIEZÓMETRO CUERDA VIBRANTE
		DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	COTA PROF. (m)	NÚMERO	TIPO	GOLPES/0.3m	Nº. CORRIDA	TCR %	GRAVA	ARENA		
0		MATERIAL DE RELLENO		0.00									
0.40							1						
2		LIMO con arena y grava, beige, heterogéneo, suave a firme, seco. Plasticidad baja a plasticidad media. Presencia de clastos subangulosos a angulosos. Tmáx. 4.5cm G: 25%; A: 30%; F: 45%. Tramo lavado durante la perforación.					2						
3		Ensayo de Permeabilidad N°01: LFCC-01 (3.65 - 4.15 m): $K = 6.23 \times 10^{-6}$ cm/s					3						
4		Ensayo de Penetración N°01: LPT-01 (3.70 - 4.15m) $N_{TP}=7$			LPT-01	LPT	4						
5	HW - Casing HG3 - Coring						5						
6		LIMO ARENOSO con grava, beige, suave, heterogéneo, húmedo. Plasticidad media a plasticidad alta. Presencia de clastos subangulosos. Tmáx. 3.5cm G: 15%; A: 25%; F: 60%. Tramo lavado durante la perforación.					6						
7		Ensayo de Penetración N°02: LPT-02 (6.70 - 7.15m) $N_{TP}=13$			LPT-02	LPT	7						
7.15							8						
8		GRAVA LIMO ARENOSA, beige oscuro, suave, heterogénea, húmeda. Plasticidad alta. Presencia de clastos subangulosos. Tmáx.: 2cm. G: 5%; A: 10%; F: 35%.					9						
8.00							10						
9		LIMO ARCILLOSO con grava y poca arena, beige suave, heterogénea, húmeda. Plasticidad alta. Presencia de clastos angulosos, Tmáx.: 4.5cm. G: 35%; A: 20%; F: 45%.					11						
9		Ensayo de Permeabilidad N°02: LFCC-02 (9.00 - 9.50 m): $K = 1.26 \times 10^{-6}$ cm/s					12						
10							13						
							14						
							15						
							16						
							17						
							18						

---CONTINUA EN LA SIGUIENTE PÁGINA---

REGISTRO DE PERFORACIÓN: BH17-GA-14

HOJA 2 DE 3
DATUM: WGS-84

PROYECTO: 199 415 8922
UBICACIÓN: N: 8930156 E: 272406
INCLINACIÓN: -90° AZIMUTH: °

FECHA DE PERFORACIÓN: 03/13/2020
CONTRATISTA DE PERFORACIÓN: Explomin SA
EQUIPO DE PERFORACIÓN: DE710 - 11

PROFUNDIDAD (m)	MÉTODO DE PERF.	PERFIL DE SUELO		MUESTRAS		TESTIGO		GRADACIÓN %			CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA, k, cm/s				INCLINÓMETRO / PIEZÓMETRO CUERDA VIBRANTE			
		DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	COTA PROF. (m)	NÚMERO	TIPO	GOLPES/0.3m	No. CORRIDA	TCR %	GRAVA	ARENA	FINOS	10 ⁶	10 ⁵		10 ⁴	10 ³	
													% CONTENIDO DE AGUA				ENSAYOS DE LAB. ADICIONALES	
												Wp	W	Wi				
10				10.00				18										
				10.30				19										
11		LIMO ARCILLOSO con grava y poca arena, beige, suave, heterogénea, húmeda. Plasticidad alta. Presencia de clastos angulosos, Tmáx.: 4.5cm. G: 35%; A: 20%; F: 45%. Ensayo de Penetración N°03: LPT-03 (10.65 - 11.10m) N _{sp} =13		12.10	LPT-03	LPT	13	20										
12		ARENA LIMOSA con grava, beige oscuro, suave, heterogénea, húmeda. Plasticidad baja. Presencia de clastos subangulosos. Tmáx.: 2cm. G: 15%; A: 50%; F: 35%.		13.00				22										
13		LIMO ARCILLOSO con arena, algo de grava, beige, heterogéneo, firme a duro, húmedo. Plasticidad alta. Presencia de clastos subredondeados, Tmáx.: 2.5cm. G: 15%; A: 35%; F: 50%. Ensayo de Penetración N°04: LPT-04 (13.70 - 14.15m) N _{sp} =36		14.15	LPT-04	LPT	36	24										
14		ARENA LIMOSA con grava, marrón claro, firme, heterogénea. Plasticidad baja. Presencia de clastos subangulosos. Tmáx.: 3cm. G: 35%; A: 50%; F: 15%. Ensayo de Permeabilidad N°03: LFCC-03 (14.00 - 14.50 m): K = 3.35 x 10 ⁻¹⁰ cm/s		15.50				25										
15		GRAVA LIMOSA, beige oscuro, suave, heterogénea, húmeda. Plasticidad alta. Presencia de clastos subangulosos. Tmáx.: 2.5cm. G: 60%; A: 30%; F: 10%.		16.20				26										
16		GRAVA ARENOSA, gris clara, heterogénea, compacta, húmeda. Plasticidad nula. Presencia de clastos subangulosos a angulosos. Tmáx.: 3.5cm. G: 80%; A: 15%; F: 5%. Ensayo de Penetración N°05: LPT-05 (16.50 - 16.95m) N _{sp} =16		17.00	LPT-05	LPT	16	30										
17		GRAVA LIMOSA, beige oscuro, suave, heterogénea, húmeda. Plasticidad alta. Presencia de clastos subangulosos a angulosos. Tmáx.: 3cm. G: 60%; A: 30%; F: 10%.		18.30				27										
18		LIMO ARCILLOSO con grava, beige, heterogéneo, firme a duro, húmedo. Plasticidad alta. Presencia de clastos subredondeados, Tmáx.: 2.5cm. G: 15%; A: 35%; F: 50%. Ensayo de Permeabilidad N°04: LFCC-04 (19.00 - 19.50 m): K = 1.82 x 10 ⁻¹⁰ cm/s		19.50				28										
19								29										
20								30										
								31										
								32										
								33										
								34										
								35										

---CONTINUA EN LA SIGUIENTE PÁGINA---

Fotos de cajas de testigo

Anexo: Fotografías de Cajas con Testigos de la Perforación BH17-GA-09.

199-415-8922



Fotografía 1: Caja 01/19: Profundidad de 0.00 – 4.30 m. Perforación: BH17-GA-09.



Fotografía 2: Caja 02/19: Profundidad de 4.30 – 8.40 m. Perforación: BH17-GA-09.



Fotografía 3: Caja 03/19: Profundidad de 8.40 – 11.90 m. Perforación: BH17-GA-09.

Ensayos de permeabilidad

		ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC NIVEL CONSTANTE					
		PERFORACIÓN	BH17-Ga-09	ENSAYO N°	1	Norte (m) :	8,932,896.0
Proyecto :	de Prefactibilidad Nueva Área de Soport	Tramo :	4.50 - 5.00 m	Inclinación (°)	-90	Este (m) :	272,032.5
Ubicación :	Quebrada Ganyas	Fecha :	28/10/2019	Hora :	11:30 p.m. - 12:00 a.m.	Cota (msnm) :	4,524.7
Proy. N° :	199-415-8922	Tipo de material :	Lulita carbonosa		Sist. Coord. :	WGS 84	

DATOS DE ENTRADA

Dist. boca revestimiento-plataforma (m)	a	0.10
Profundidad del nivel freático (m)	Z _a	0.90
Longitud del tramo revestido (m)	C	4.50
Longitud de perforación (m)	L	5.00
Radio interior del revestimiento (m)	r	0.031
Radio del bulbo de ensayo (m)	R	0.048
Longitud del bulbo antes ensayo (m)	ℓ	0.50
Longitud del bulbo después ensayo (m)	ℓ	0.50
Sobrecarga hidráulica (m)	h	1.00
Profundidad agua en revestimiento (m)	Z	0.0
Incremento de tiempo (minutos)	δ t	1.0

Coefficiente de Permeabilidad	1.30E-02
	cm/s

Tipo de Ensayo:						REPRESENTACIÓN GRÁFICA	
LEFRANC - Nivel Constante						Tiempo (t) vs. Variación del Caudal (δ Q)	
t (min)	Q (litros)	δ Q (litros)	t (min)	Q (litros)	δ Q (litros)		
0	57.7		21	253.4	9.1		
1	67.7	10.05	22	262.5	9.0		
2	77.6	9.90	23	271.6	9.1		
3	87.2	9.55	24	280.6	9.1		
4	97.1	9.95	25	289.7	9.1		
5	106.4	9.30	26	298.8	9.1		
6	116.1	9.70	27	307.8	9.0		
7	125.6	9.50	28	316.9	9.1		
8	135.1	9.45	29	325.9	9.0		
9	144.4	9.30	30	335.0	9.1		
10	153.5	9.10					
11	162.6	9.10					
12	171.7	9.10					
13	180.8	9.10					
14	189.8	9.05					
15	198.9	9.05					
16	208.0	9.10					
17	217.0	9.05					
18	226.1	9.10					
19	235.2	9.10					
20	244.3	9.10					

<p>Comentarios</p> <p>Nivel de agua: 0.90 m. (registrado el día 28/10/2019).</p> <p>Prueba realizada en tubería HWT</p>	$l / R = 0$	$K = Q / (2\pi R h)$	a
	$l / R \leq 4$	$K = Q / (2\pi R h) * ((1 + (2l/R))^{1/2})$	b
	$l / R > 4$	$K = Q \ln (l/R) / (2\pi h l)$	c
	$l / R = 10.42$		use: c
	$\delta Q / \delta t = 10.47$	$Q = 174.50$	cm^3/s
	lt/min		