

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA
PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DEL PAD DE LIXIVIACIÓN
PARA INCREMENTAR EL TONELAJE DE MINERAL EN UNA
EMPRESA MINERA EN CAJAMARCA, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Jhon Alexander Miranda Jambo

Bach. Francisco Javier Perez Becerra

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca - Perú

2020



DEDICATORIA

A Dios por ser nuestro inspirador y darnos la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

Francisco Perez

A mis padres por siempre ser mi apoyo incondicional, mi guía, mi ejemplo, mi perseverancia, mi motivo y estar conmigo en todos los momentos importantes, por brindarme sus consejos y sabiduría y por hacer realidad este objetivo importante en mi vida.

Jhon Jambo

A mi madre Anita y a mi padre Raul por su invaluable ternura y cariño que siempre me han ofrecido.

A mis hermanos por su constante enseñanza y modelo de superación.

Francisco Perez

AGRADECIMIENTO

A la **Universidad Privada Del Norte** por darnos la oportunidad de estudiar y ser buenos profesionales. A los docentes de la carrera profesional por brindarnos sus conocimientos y consejos.

Agradecemos también a nuestro asesor de tesis el **Ing. Víctor Eduardo, Alvares León** por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico., así como también habernos tenido la paciencia del mundo para guiarnos durante todo el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar, también agradecemos a todos los que fueron nuestros compañeros de clase durante todos los niveles de la Universidad, ya que sin ellos no habría diversión en esencia y un mundo sin ella es un mundo vacío.

Jhon Jambo

Francisco Perez

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	16
CAPÍTULO III. RESULTADOS	26
3.1. Resultados de los estudios y ensayos geológicos - geotécnicos para la evaluación de las condiciones actuales del terreno del Pad de lixiviación	26
3.1.1. Mapeo geológico.....	26
3.1.2. Calicatas	27
3.1.3. Perforaciones.....	32
3.1.4. Ensayo de penetración dinámica ligera (LDPT)	36
3.1.5. Ensayos de penetración estándar SPT y LPT.....	37
3.1.6. Ensayos de permeabilidad.....	40
3.1.7. Ensayos Geofísicos	41
3.1.8. Ensayos Índice en mecánica de suelos.....	45
3.1.9. Peso volumétrico.....	48
3.1.10. Ensayos de compresión Triaxial	49
3.1.11. Ensayo de Corte directo a gran escala	50
3.1.12. Ensayo de Carga puntual.....	51
3.1.13. Coeficiente Sísmico	53
3.2. Resultados del detalle de los parámetros y criterios de diseño para la propuesta de ampliación del Pad de lixiviación	54
3.2.1. Criterios de diseño para la estabilidad de taludes	54
3.2.2. Criterios de diseño para la ampliación del Pad de lixiviación	57
3.3. Resultados del análisis del costo de construcción de estructuras y trabajos de obras civiles	60
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS	71
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de calicatas.....	27
Tabla 2: Resumen de perforaciones.....	32
Tabla 3: Resumen del ensayo LDPT	36
Tabla 4:Resumen de ensayos SPT y LPT en perforaciones	39
Tabla 5: Resumen del ensayo de permeabilidad	40
Tabla 6: Interpretación de ensayos de Refracción Sísmica	42
Tabla 7: Interpretación de ensayos de Análisis multicanal de ondas superficiales y microtrepidaciones.....	43
Tabla 8: Interpretación de ensayos de Sondajes eléctricos verticales (SEV)	43
Tabla 9: Resumen de Ensayos de Clasificación de Suelos – Calicatas	46
Tabla 10: Resumen de Ensayos de Clasificación de Suelos – Perforaciones.....	48
Tabla 11: Resumen de Ensayos de Peso Volumétrico	49
Tabla 12: Resumen de Resultados de los Ensayos de Compresión Triaxiales (CU)	50
Tabla 13: Resumen de Ensayos de Corte a Gran Escala	51
Tabla 14: Resumen de Resultados de los Ensayos de Carga Puntual – Calicatas.....	52
Tabla 15: Resumen de Resultados de los Ensayos de Carga Puntual – Perforaciones	52
Tabla 16: Resultados del Análisis de Estabilidad.....	56
Tabla 17: Criterios de diseño - Pad de lixiviación	57
Tabla 18: Costos de obras civiles- Ampliación de Pad de lixiviación (7.95 ha).....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1:Plano geotécnico del Pad de Lixiviación..	18
Ilustración 2: Mapa topográfico del área de ampliación del Pad de lixiviación.....	19
Ilustración 3: Formato de resultados-pruebas calicatas.....	21
Ilustración 4: Formato de resultados-Ensayos Penetración dinámica ligera y estándar.....	22
Ilustración 5: Formato de resultados-Ensayos de permeabilidad.....	22
Ilustración 6: Aceleraciones sísmicas para diferentes periodos de retorno.....	25

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó con el objetivo principal de evaluar aspectos técnicos y económicos de la propuesta de ampliación correspondiente al Pad de lixiviación, esto debido a que la empresa desea incrementar el tonelaje de mineral de 4000 TM a 5000 TM diarias, aumentando la capacidad de almacenamiento del Pad a 9 millones de TM aproximadamente.

Luego de obtener los resultados de los ensayos realizados con los datos y muestras tomadas en campo se logró identificar que el área de ampliación del Pad de lixiviación forma parte de una ladera de moderada pendiente, ligeramente disectada, con promontorios rocosos alargados y pequeñas depresiones rellenas por material reciente. Para obtener información detallada del terreno para la ampliación del Pad se realizaron diferentes ensayos como calicatas, perforaciones, ensayos de campo, ensayos geofísicos y de laboratorio.

Los ensayos y pruebas realizados con los datos y muestras tomadas en campo, permitieron elaborar los criterios de diseño de la ampliación del Pad de lixiviación para incrementar la producción diaria a 5000 TM por día con una capacidad de 9 millones de TM

Palabras clave: Pad de lixiviación, ensayos geológicos, ensayos geomecánicos, criterios de diseño, producción, tonelaje.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo principal de evaluar aspectos técnicos y económicos de la propuesta de ampliación correspondiente al Pad de lixiviación, esto debido a que la empresa desea incrementar el tonelaje de mineral de 4000 TM a 5000 TM diarias, aumentando la capacidad de almacenamiento del Pad a 9 millones de TM aproximadamente, con un periodo de 60 días (ciclo de lixiviación) y una capa con altura típica de 8 metros.

Las características y propiedades de la superficie de cimentación del Pad y de los materiales involucrados en la construcción de las instalaciones, fueron evaluadas a partir de ensayos geotécnicos de campo y de laboratorio llevados a cabo como parte del desarrollo del estudio.

Según lo descrito en la edición N°46 de la revista Perú Construye (2017), el Pad de lixiviación es un terreno preparado para recibir el mineral a lixiviar. Este proceso consiste en la extracción de ciertos materiales de un sólido cuando se pone en contacto con líquido solvente, el cual a su vez hace de medio de transporte. “En minería el proceso metalúrgico de lixiviación para la obtención del oro, cobre y otros metales, se realiza a través del riego de algún solvente sobre el material extraído de la cantera a tajo abierto”. El Pad es un área previamente preparada para recibir el mineral extraído de la mina, para su procesamiento de lixiviación (disolver) a fin de recuperar la especie de valor (oro, cobre, níquel, uranio, etc.). “Su función principal es contener el mineral para su procesamiento mediante la lixiviación. Para ello extrae uno o varios solutos de

un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales”.

Sucapuca, J. (2017), Gerente de proyectos de la empresa COSAPI, indicó que para el diseño de un Pad de lixiviación se necesita los resultados del estudio de suelo para encontrar la distribución óptima del material a ser depositado y así disponer de amplias superficies de terreno. “Asimismo se debe considerar la altura y el tipo de material a ser apilado, para determinar la geomembrana a utilizar y el espesor de la misma, así como establecer si es apta para soportar la carga y si resiste las condiciones del suelo en donde será instalado”, así mismo, se debe verificar la estabilidad de los taludes tomando en cuenta las condiciones sísmicas de la zona.

Según Tamayo, J. (2017), señaló lo siguiente, el diseño de una pila de lixiviación debe ir de la mano con el diseño civil y el diseño hidráulico de la estructura del Pad. “El primero de ellos proporciona la altura de la pila de lixiviación que permite definir el tipo y espesor necesarios de geomembrana. Esto se realiza preliminarmente en función a la volumetría requerida del mineral a lixiviar, mientras que el segundo provee la altura del nivel de solución dentro de la pila de lixiviación. Este nivel debe tener una altura constante, ya que afecta directamente a las propiedades de resistencia de la pila”, una vez obtenidos ambos resultados se procede con el diseño geotécnico.

Asimismo, indicó que se debe considerar una evaluación geológica-geotécnica antes de realizar una campaña de investigaciones geotécnicas de campo, así como un análisis de riesgo sísmico en la zona, para determinar, entre otras cosas, las aceleraciones de diseño a utilizar en los análisis geotécnicos. “También se tiene que realizar un estudio de canteras con nivel de detalle, ya que el sistema de revestimiento dependerá de la disponibilidad de los materiales. Cuando se tiene un sistema de revestimiento con baja resistencia al corte, se deben adoptar menores pendientes de la sub-rasante, caso contrario se tendrá que analizar la posibilidad de construir bermas de contención o de estabilidad al pie del apilamiento”.

Cabanillas, S. (2015), en su tesis “Criterios Básicos para el diseño geotécnico de pilas de lixiviación de mineral” indica lo siguiente, el objetivo de determinar la estabilidad de las pilas consiste en desarrollar un diseño para la instalación de lixiviación en pila de forma que se mantenga la estabilidad contra los deslizamientos bajo condiciones estáticas pseudo-estáticas de cargas. La estabilidad de una pila es una consideración muy importante puesto que la inestabilidad podría provocar la rasgadura del sistema de revestimiento y por lo tanto la pérdida de contención. Para el caso de pilas de lixiviación de mineral, los análisis de estabilidad se realizan considerando fallas tipo circular tanto en condiciones estáticas y pseudo-estáticas. Como resultado se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1.84 para el caso estático, y para el caso pseudo-estático un factor de seguridad mínimo de 1.25, lo cual según los criterios propuestos se considera un diseño aceptable.

Según César, C. (2017), señaló que para el diseño de un Pad de lixiviación intervienen diferentes especialidades como la geotecnia, que nos permitirá obtener información del terreno y verificar si las condiciones geológicas-geotécnicas son óptimas para soportar la carga de la pila. “Esta etapa es importante porque la plataforma del Pad tiene que ser estable. Para ello se hace un estudio completo de geotecnia, que incluye trabajos de campo (calicatas, perforaciones, geofísica, ensayos de laboratorio), análisis, etc.”.

Posteriormente, se hace el modelamiento geométrico a través de diferentes programas. “Vuelve nuevamente a geotecnia para su verificación de estabilidad. Luego ingresan otras disciplinas como la hidráulica y mecánica- piping, en donde se calculan las tuberías de colección, conducción e impulsión y riego, así como las obras de drenaje superficial. Por otro lado, debido a que el Perú presenta condiciones topográficas agrestes, el diseño de cada Pad es todo un reto. Tenemos una topografía bastante compleja., a diferencia de otros países, donde su geografía no es accidentada”.

La hidráulica, permite evaluar el manejo de la solución a irrigar en la parte alta de la pila, así como el sistema de colección en el Pad, incluyendo el dimensionamiento de las tuberías a emplearse, que pueden ser de HDPE de pared gruesa o de pared doble y corrugada, a la vez que el dimensionamiento de tuberías está principalmente asociado al flujo de solución enviado al Pad. La dimensión ambiental asegura que el diseño y el proceso de lixiviación en pilas sea un proceso que respete los estándares ambientales sobre la calidad de agua y suelos, y que la operación y cierre de las pilas de lixiviación no impliquen impactos significativos en el área del proyecto.

Para el diseño, dependiendo de la topografía natural del área destinada para la implementación del Pad, se propone el alcance de las actividades de movimiento de tierras requeridas para el terreno. Comúnmente, se inicia con el desbroce y limpieza del área, seguido por el nivelado y preparación del terreno. Luego, se instala el Sistema de Recubrimiento del Pad (compuesto por un arreglo que puede consistir en material de baja permeabilidad, material drenante y/o geosintéticos) propuesto específicamente para el proyecto con el fin de evitar filtraciones hacia el terreno.

El Sistema de Colección de la solución enriquecida (arreglo de tuberías y material drenante) se instala sobre el sistema de recubrimiento instalado, la altura de la pila sobre el Pad depende de la configuración del sitio, las propiedades geotécnicas/geológicas del terreno, las reservas estimadas de mineral, y los sistemas propuestos de revestimiento y de colección de solución. Para la impermeabilización se utiliza geo membrana de polietileno de baja densidad (LLDPE) debido a que es más flexible y se puede acomodar al terreno donde se ubica el Pad. (LUNA, 2017)

Según Alza, A. (2017), indicó que los geo sintéticos juegan un papel importante dentro de un Pad de lixiviación. No solo se emplea la geo membrana, sino también -como reemplazo de las arcillas naturales que a veces son escasas- se utiliza el revestimiento geo sintético de arcilla (GCL), además se emplea los geo-compuestos de drenaje. La arcilla puede reemplazarse por un revestimiento geo sintético (GCL) compuesto por dos geotextiles que confinan un núcleo de arcilla bentonítica, el cual funciona como barrera hidráulica, o sistema secundario de impermeabilización, en condiciones de instalación exigentes. Este producto puede reemplazar al soil liner (arcilla natural),

además resulta más económico debido a que algunas canteras de arcilla están muy lejos de la zona de operación, además son más rápidos de instalar, a la vez que pueden ser colocados en taludes más empinados.

El tipo de Pad más común es del tipo relleno en valle (por estar en quebradas), en donde se necesita construir la plataforma con material de relleno, que implica la colocación de capas de relleno masivo de espesor variable, y en la última plataforma, donde se apoyará el mineral, se coloca el relleno estructural (en base a suelo de baja permeabilidad) en capas de 30 cm. El proceso constructivo es básico, y en principio en todo Pad, de tipo valle, lo que se hace es conformar una plataforma o dique donde cerramos la quebrada.

Previamente se instala el sistema de sub-drenaje en la base, la cual puede ser diseñada con una doble función, como contención de filtración de la solución al subsuelo, así como la captación de aguas subterráneas y evacuarlas fuera del Pad para que no altere la plataforma de lixiviación. (César, 2017)

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la evaluación técnica y económica de la propuesta de ampliación del Pad de lixiviación para incrementar el tonelaje de mineral en una empresa minera de Cajamarca, 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar la evaluación técnica y económica de la propuesta de ampliación del Pad de lixiviación para incrementar el tonelaje de mineral en una empresa minera de Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar estudios geotécnicos que permitan evaluar las condiciones actuales del terreno.
- Elaborar a detalle los parámetros técnicos y de diseño a tomarse en cuenta en la propuesta de ampliación del Pad de lixiviación.
- Realizar un análisis del costo de construcción de estructuras y trabajos de obras civiles referentes a la propuesta de ampliación del Pad de lixiviación.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Con los resultados obtenidos de la evaluación técnica y económica de la propuesta de ampliación del Pad de lixiviación se logrará evaluar la factibilidad de la ejecución del proyecto que permitirá incrementar el tonelaje de mineral y con ello aumentar las utilidades de la empresa.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Con los datos de los estudios geológicos y geo mecánicos realizados se podrá determinar y/o actualizar la caracterización de los diferentes tipos de suelo de fundación, así mismo se logrará verificar los niveles de cimentación

y agua subterránea presentes en el área de Ampliación del Pad de Lixiviación

- Mediante los resultados obtenidos en los ensayos hechos en campo, se podrá elaborar un cuadro de diseño a detalle con parámetros técnicos que servirán para la construcción de la estructura del Pad de lixiviación.
- Con el análisis del costo de la construcción de estructuras y obras civiles, permitirá evaluar la viabilidad de la propuesta de ampliación del Pad de lixiviación.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo No Experimental - Aplicada con diseño Descriptivo, ya que el objetivo principal es evaluar aspectos técnicos y económicos de la propuesta de ampliación correspondiente al Pad de lixiviación, lo cual permitirá aumentar el tonelaje de mineral de 4000 TM a 5000 TM diarias, aumentando la capacidad de almacenamiento del Pad a 9 millones de TM aproximadamente.

Hernández, Fernández y Baptista (2012) indican que, "La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos"

Vargas (2009), Indica que el tipo de investigación aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver.

Según Sampieri (1998. Pág. 60), los estudios descriptivos permiten detallar situaciones y eventos, es decir, como es y cómo se manifiesta determinado fenómeno y busca especificar propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. En esta investigación se busca evaluar los

aspectos técnicos para el diseño de la ampliación del Pad, mediante diferentes ensayos y pruebas en campo para determinar y describir las características geológicas y geomecánicas del área, la información recolectada sirvió para elaborar los principales criterios de diseño del Pad, y con ello se realizó la evaluación económica del proyecto.

2.2. Población y muestra

Población

Las 22 Ha del área total del Pad de lixiviación.

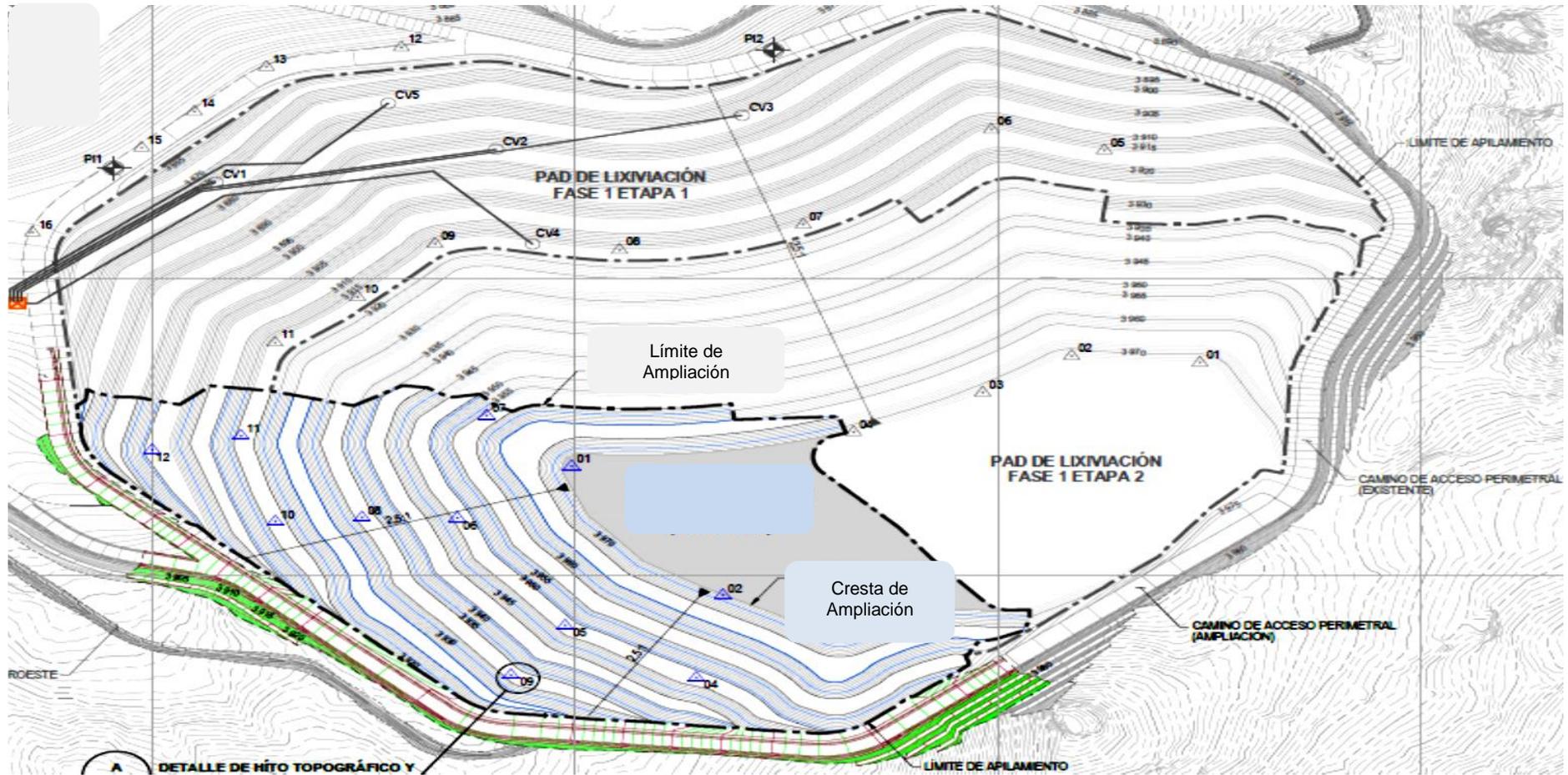


Ilustración 1: Plano geotécnico del Pad de Lixiviación.

Fuente: Área de Geotecnia.

Muestra

Las 7.95 Ha del Área total del Pad de lixiviación destinadas al proyecto de ampliación.

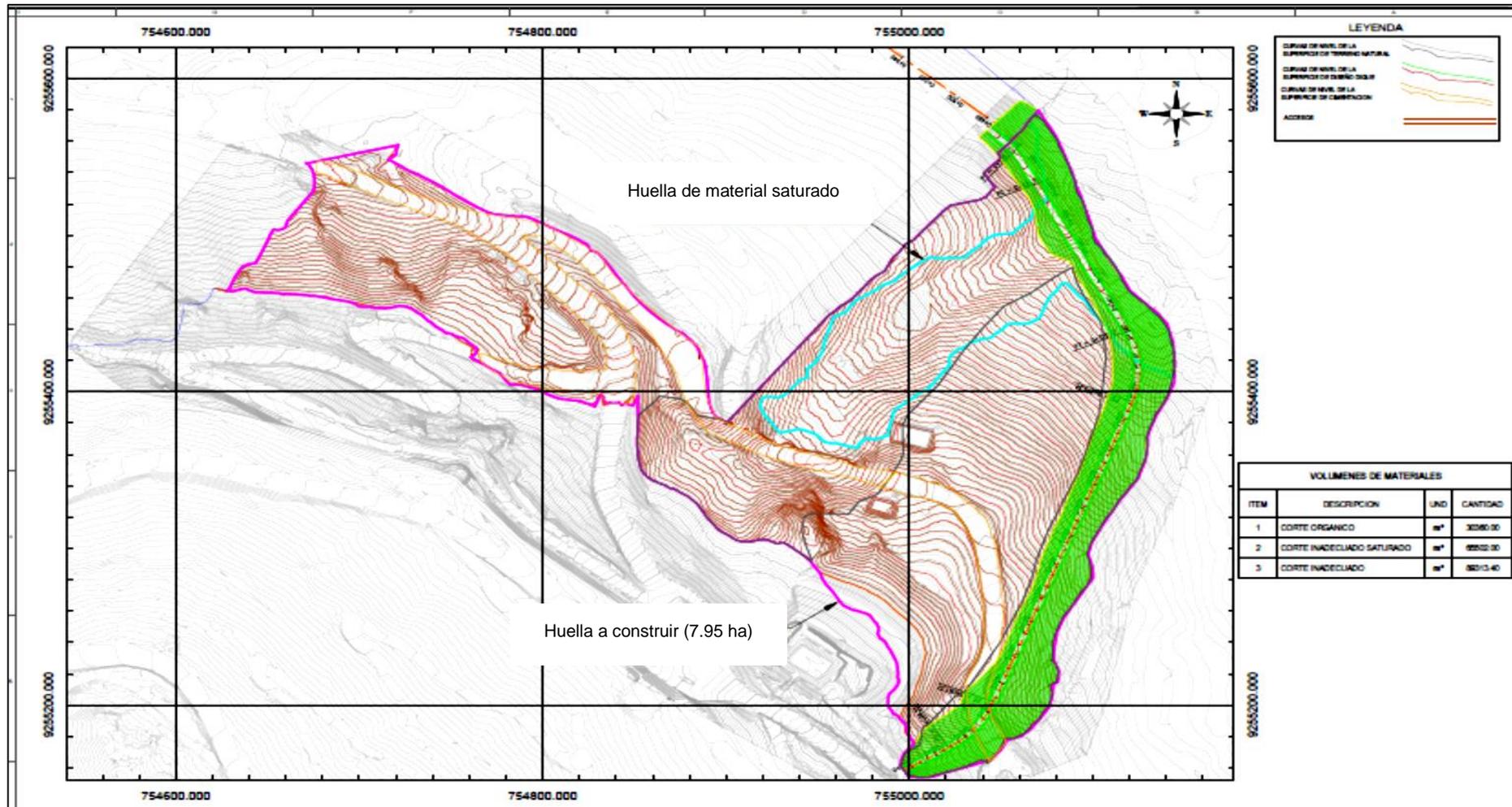


Ilustración 2: Mapa topográfico del área de ampliación del Pad de lixiviación.

Fuente: Área de Geología.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Observación directa

Se realizó la observación directa en campo, permitiendo notar que, de acuerdo con la estimación de reservas realizadas por la empresa minera, era factible aumentar el tonelaje de mineral de 4000 TM a 5000 TM diarias, lo cual implicaba la ejecución del proyecto de ampliación de la capacidad de almacenamiento del Pad a 9 millones de TM.

2.3.2. Análisis documental

Se investigó antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a criterios de diseño del Pad de lixiviación, así como los trabajos preliminares y pruebas de laboratorio correspondientes, para lo cual se utilizó los buscadores y bibliotecas virtuales. Se llevó a cabo la revisión de la información existente de estudios anteriores, con la finalidad de evaluar las características y propiedades de los materiales de la cimentación del área ampliación proyectada. También se recolectó información relacionada a los planos generales del Pad de lixiviación y específicamente del área destinada para el proyecto de ampliación:

- Plano geomecánico del Pad de lixiviación. (ANEXO N° 01)
- Plano de metrados para el movimiento de tierras. (ANEXO N° 02)
- Plano de metrados del sistema de efluentes. (ANEXO N° 03)
- Plano de metrados del subdrenaje. (ANEXO N° 04)
- Plano del relleno masivo y estructural en dique. (ANEXO N° 05)
- Plano de revestimiento de suelos de baja permeabilidad. (ANEXO N° 06)
- Plano de rutas de eliminación de materiales. (ANEXO N° 07)

2.4. Procedimiento

El tipo de investigación que se utilizó en este trabajo es Aplicada- No experimental con diseño descriptivo, por lo cual se realizó la toma de datos en campo más información adicional realizada previamente sobre algunos aspectos geológicos y geotécnicos del área correspondiente al Pad de lixiviación.

2.4.1. Gabinete:

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de varias universidades, así como información de datos geológicos obtenidos anteriormente mediante pruebas y ensayos realizados por la empresa.

2.4.2. Campo:

Inicialmente se realizó la toma de datos geológicos y geomecánicos, por lo cual se realizaron los siguientes ensayos y pruebas:

- **Mapeo Geológico-Geotécnico:** El área de ampliación del Pad de lixiviación forma parte de una ladera de moderada pendiente, ligeramente disectada, con promontorios rocosos alargados y pequeñas depresiones rellenas por material reciente.
- **Calicatas y perforaciones:** Las calicatas fueron llevadas a cabo utilizando una excavadora modelo CAT 336 D proporcionadas por la empresa.
- **Ensayo de Penetración dinámica ligera (LDPT):** El programa de investigación de campo con ensayos LDPT se desarrolló entre los meses de mayo y agosto del 2019, ejecutando un total de 28 ensayos

LDPT en puntos convenientemente ubicados y distribuidos en el área de interés.

- **Ensayos de Penetración estándar:** Estos ensayos permiten medir la resistencia a la penetración del terreno y al mismo tiempo obtener muestras disturbadas representativas para su identificación en laboratorio.
- **Ensayos de permeabilidad:** Con el fin de evaluar las propiedades hidráulicas de los materiales de la cimentación, se realizaron ensayos de permeabilidad in situ del tipo Lefranc de carga variable (ASTM 4631) para determinar el valor de la conductividad hidráulica del suelo; y ensayos Lugeon (Packer) en roca.
- **Ensayos Geofísicos:** Los ensayos geofísicos han sido realizados con la finalidad de determinar, en forma indirecta, la estratigrafía del suelo de fundación, así como sus principales características sísmicas a través de los perfiles sísmicos generados.
- **Ensayo de índice de mecánica de suelos:** se realizaron con fines de identificación y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
- **Ensayos de compresión triaxial:** con el objetivo de estimar los parámetros de resistencia cortante del suelo de cimentación y mineral a colocar en el Pad.
- **Ensayo de carga puntual:** con la finalidad de obtener su resistencia compresiva.

De la misma forma se tomaron datos correspondientes a la sismicidad del terreno, tomando en cuenta la siguiente tabla:

Periodo de retorno (años)	Aceleración Sísmica Máxima del Terreno a (g)
100	0,13
475	0,28
1 000	0,40
2 475	0,57
5 000	0,74
10 000	0,95

Ilustración 6: Aceleraciones sísmicas para diferentes periodos de retorno.

Fuente: Estudio de peligro Sísmico, Ausenco (2018).

2.4.3. Gabinete:

Finalmente se procesaron y tabularon todos los datos de campo de manera digital, mediante el programa Excel. Con los datos y resultados obtenidos de los ensayos realizados se elaboró los criterios de diseño para el proyecto de ampliación del Pad de lixiviación, sí como la evaluación económica basada en la construcción civil de la estructura.

CAPÍTULO III. RESULTADO

3.1. Resultados de los estudios y ensayos geológicos - geotécnicos para la evaluación de las condiciones actuales del terreno del Pad de lixiviación

A continuación, se presenta los resultados de los aspectos geológicos geotécnicos de los ensayos y pruebas realizadas para el desarrollo del Estudio de Detalle de la Ampliación del Pad de Lixiviación.

3.1.1. Mapeo geológico

Morfológicamente la zona donde se encuentra el Pad de lixiviación es una ladera de moderada a fuerte pendiente, ligeramente disectada, donde destacan promontorios rocosos alargados, con pequeñas depresiones que han sido rellenadas por material reciente. Litológicamente, el área de estudio presenta en su mayor extensión una cobertura de suelos coluviales y morrénicos de espesor variable, en tanto que el basamento rocoso está conformado por tobas y andesitas phyricas, moderadamente fracturadas a muy fracturadas, alteradas a extremadamente alteradas con durezas de R4 a R1.5, constituyendo en parte suelos residuales.

Litológicamente, el pajonal inundado está conformado por limos y arcillas con niveles de turba, en estado saturado, que denota un drenaje deficiente, y espesores estimados de 3 a 7 m, pudiendo ser puntualmente algo mayores. En menor extensión se presentan afloramientos rocosos constituidos por tobas, moderadamente fracturadas a muy fracturadas, alteradas a extremadamente alteradas con durezas de R 1.5 a R 4, constituyendo en parte suelos residuales; y de manera restringida cobertura de material coluvial y morrénico.

Durante el mapeo geológico, no se ha registrado evidencias de actividad geodinámica interna ni externa.

3.1.2. Calicatas

El programa de investigación de campo mediante calicatas se desarrolló del 6 al 14 de agosto del 2019. Se ejecutó un total de 90 calicatas convenientemente ubicadas y distribuidas dentro del área de interés, con la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas de los materiales de cimentación para la construcción del Pad y las pozas. En cada una de las calicatas se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados. Asimismo, se tomaron muestras disturbadas, las cuales fueron identificadas y almacenadas en bolsas plásticas con la finalidad de efectuar ensayos posteriores de caracterización física y mecánica en el laboratorio geotécnico.

Tabla 1:

Resumen de calicatas

Código de Calicata	Coordenadas UTM		Nivel de agua (m)	Topsoil (m)	DF (m)	Nivel de Roca (m)	Prof. Total (m)
	Norte	Este					
TP_CN14-101	9 254 546	753 748	NE	2,00	2,20	2,20	2,20
TP_CN14-102	9 254 504	753 750	NE	0,60	1,00	2,30	3,30
TP_CN14-103	9 254 507	753 789	NE	0,40	1,00	2,50	2,50
TP_CN14-104	9 254 490	753 842	NE	0,60	1,50	1,80	2,30
TP_CN14-105	9 254 468	753 910	NE	0,40	1,50	3,20	4,20
TP_CN14-106	9 254 431	753 883	NE	0,40	1,50	3,30	3,30
TP_CN14-107	9 254 417	753 961	NE	0,30	0,40	0,90	0,90

TP_CN14-108	9 254 399	753 998	2,40	0,90	3,90	NE	3,90
TP_CN14-109	9 254 390	753 967	3,70	0,50	3,90	NE	3,90
TP_CN14-110	9 254 409	753 910	2,80	1,00	2,80	2,80	3,20
TP_CN14-111	9 254 374	753 883	1,20	0,90	2,40	2,40	2,40
TP_CN14-112	9 254 385	753 880	NE	0,80	1,20	1,70	2,10
TP_CN14-113	9 254 455	753 789	1,40	1,20	1,40	1,40	1,60
TP_CN14-114	9 254 446	753 752	1,20	1,20	1,90	2,30	2,30
TP_CN14-115	9 254 451	753 715	NE	0,50	0,70	0,70	1,20
TP_CN14-116	9 254 432	753 701	1,70	1,00	2,00	3,00	3,70
TP_CN14-117	9 254 372	754 061	1,50	1,10	ND	NE	4,50
TP_CN14-118	9 254 316	754 060	1,50	1,00	ND	NE	5,50
TP_CN14-119	9 254 289	754 114	NE	0,50	2,30	2,30	2,30
TP_CN14-120	9 254 330	754 173	NE	0,90	2,00	3,30	3,30
TP_CN14-121	9 254 310	754 248	NE	0,20	0,80	4,00	4,00
TP_CN14-122	9 254 274	754 211	NE	0,40	0,70	1,30	1,40
TP_CN14-123	9 254 258	754 258	1,50	0,10	ND	NE	3,10
TP_CN14-124	9 254 222	754 140	NE	0,40	2,10	NE	3,10
TP_CN14-125	9 254 172	754 134	NE	0,40	4,50	NE	5,20
TP_CN14-126	9 254 120	754 110	NE	0,40	0,60	NE	2,00
TP_CN14-127	9 254 110	754 188	NE	0,80	2,60	2,60	3,10
TP_CN14-128	9 254 046	754 198	NE	0,50	2,70	4,60	4,60

TP_CN14-129	9 254 095	754 269	NE	0,40	0,70	0,70	2,60
TP_CN14-130	9 254 048	754 322	NE	0,50	1,40	2,60	2,90
TP_CN14-131	9 254 015	754 376	NE	0,40	ND	NE	4,00
TP_CN14-132	9 253 955	754 341	NE	0,50	0,70	0,70	0,80
TP_CN14-133	9 253 909	754 311	NE	0,70	3,00	NE	3,50
TP_CN14-134	9 253 903	754 384	NE	0,40	2,30	2,60	2,80
TP_CN14-135	9 254 152	754 280	NE	0,50	2,50	NE	5,00
TP_CN14-136	9 254 163	754 195	NE	0,50	3,50	NE	5,00
TP_CN14-137	9 254 094	754 326	NE	0,30	2,00	NE	4,50
TP_CN14-138	9 254 151	754 351	NE	0,40	2,00	2,30	2,50
TP_CN14-139	9 254 129	754 411	NE	0,40	1,00	1,00	1,00
TP_CN14-140	9 254 101	754 468	NE	0,40	3,80	NE	4,50
TP_CN14-141	9 254 059	754 393	NE	0,40	0,50	0,40	0,80
TP_CN14-142	9 254 037	754 442	NE	0,30	2,40	2,40	3,00
TP_CN14-143	9 253 967	754 459	NE	0,40	2,40	2,50	2,50
TP_CN14-144	9 253 971	754 531	NE	0,60	1,00	1,70	1,70
TP_CN14-145	9 254 075	754 542	NE	0,30	1,50	NE	5,00
TP_CN14-146	9 253 982	754 573	NE	0,30	0,80	1,20	1,20
TP_CN14-147	9 254 036	754 615	NE	0,20	0,60	1,80	1,80
TP_CN14-148	9 254 121	754 577	NE	NE	0,20	0,00	1,70
TP_CN14-149	9 254 090	754 599	NE	0,30	1,00	NE	2,90

TP_CN14-150	9 254 143	754 654	NE	0,30	0,30	0,50	0,60
TP_CN14-151	9 254 026	754 524	NE	0,50	1,10	NE	5,00
TP_CN14-152	9 254 155	754 497	NE	0,50	1,60	1,60	1,60
TP_CN14-153	9 254 245	754 436	NE	0,40	1,00	2,30	2,40
TP_CN14-154	9 254 240	754 566	NE	0,40	1,50	4,80	5,00
TP_CN14-155	9 254 223	754 515	NE	0,30	1,50	3,10	3,60
TP_CN14-156	9 254 299	754 504	NE	0,30	1,50	2,10	2,10
TP_CN14-157	9 254 361	754 433	NE	0,20	1,90	NE	2,50
TP_CN14-158	9 254 245	754 367	NE	NE	0,20	0,00	6,00
TP_CN14-159	9 254 313	754 324	NE	0,20	1,10	1,10	2,10
TP_CN14-160	9 254 260	754 335	NE	0,40	0,80	0,80	1,10
TP_CN14-161	9 254 205	754 235	NE	0,40	ND	NE	5,00
TP_CN14-162	9 254 188	754 307	NE	0,40	2,50	NE	5,00
TP_CN14-163	9 254 240	754 071	NE	0,40	1,20	NE	2,90
TP_CN14-164	9 254 252	753 998	NE	0,40	1,90	4,00	4,00
TP_CN14-165	9 254 238	753 935	NE	0,40	1,00	3,60	3,60
TP_CN14-166	9 254 303	753 948	NE	0,40	1,50	2,10	2,10
TP_CN14-167	9 254 197	753 979	NE	0,30	2,00	2,60	2,60
TP_CN14-168	9 254 171	753 939	NE	0,40	0,60	0,60	2,50
TP_CN14-169	9 254 164	754 076	NE	0,20	0,40	0,40	0,60
TP_CN14-170	9 254 096	754 059	NE	0,40	2,00	3,10	3,10

TP_CN14-171	9 254 069	754 108	NE	0,50	1,60	2,50	2,50
TP_CN14-172	9 253 985	754 125	NE	0,30	1,20	2,50	2,50
TP_CN14-173	9 253 949	754 153	NE	0,30	1,00	1,50	1,50
TP_CN14-174	9 253 924	754 204	NE	0,40	1,60	2,10	2,10
TP_CN14-175	9 253 988	754 220	NE	0,30	0,50	1,20	1,20
TP_CN14-176	9 254 030	754 059	NE	0,40	4,00	NE	4,50
TP_CN14-177	9 254 064	754 001	NE	0,40	0,80	1,60	1,60
TP_CN14-178	9 254 101	753 906	NE	0,50	1,20	3,40	3,40
TP_CN14-179	9 254 122	753 986	NE	0,40	3,00	3,00	3,00
TP_CN14-180	9 254 153	753 868	NE	0,30	1,00	1,90	1,90
TP_CN14-181	9 254 210	753 852	NE	0,30	1,00	1,80	1,80
TP_CN14-182	9 254 204	753 792	NE	NE	2,80	NE	2,80
TP_CN14-183	9 254 269	753 816	NE	0,30	0,90	1,60	1,60
TP_CN14-184	9 254 299	753 756	NE	0,40	2,40	2,40	2,40
TP_CN14-185	9 254 266	753 724	NE	0,40	1,00	1,00	1,60
TP_CN14-186	9 254 527	753 664	NE	NE	0,10	0,00	0,10
TP_CN14-187	9 254 576	753 690	NE	NE	0,10	0,00	1,00
TP_CN14-188	9 254 597	753 670	NE	NE	0,10	0,00	1,80
TP_CN14-189	9 254 626	753 627	NE	NE	0,10	0,00	1,10
TP_CN14-190	9 254 561	753 660	NE	NE	0,10	0,00	0,10

Fuente: Datos de campo.

3.1.3. Perforaciones

Las perforaciones fueron ejecutadas en las áreas propuestas para el Pad y pozas; habiéndose ejecutado un total de 09 perforaciones diamantinas verticales convenientemente ubicadas y distribuidas, con la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas de la cimentación profunda.

Tabla 2:

Resumen de perforaciones

CÓDIGO	COORDENADAS UTM		NIVEL FREÁTICO (m)	NIVEL ROCA (m)	PROF. TOTAL (m)
	NORTE	ESTE			
DH-14-101	9254307	753456	Superficial	3.7	80
DH-14-102	9254597	753541	3.4	8.4	60
DH-14-103	9254401	753673	4.9	12.8	60.5
DH-14-104	9254203	754158	3	4.5	90
DH-14-105	9253986	754269	31.2	8.35	90
DH-14-106	9254058	753823	NE	1.9	90
DH-14-107	9254229	754430	21.4	3.9	80
DH-14-108	9254324	753914	20.6	1.75	40
DH-14-109	9254502	753716	5.1	1.5	30

Fuente: Datos de campo.

A continuación, se presenta una breve descripción resumen de cada una de las perforaciones realizadas en el área:

DH-CN14-101.- Registra de 0,0 a 5,70 m suelo orgánico y un horizonte de suelo residual, seguido hasta los 8,50 m de roca muy mala; le sigue hasta 80 m tobas andesíticas gris claras a gris verduzcas, grano fino a medio, muy alteradas, de

dureza entre R2 a R3, poco fracturada a muy fracturada, con RQD de 0 a 70% hasta los 25 m, mejorando en profundidad; con calidad geomecánica de acuerdo a la valoración del índice RMR básico de regular a buena, con pequeños tramos de roca de calidad mala a muy mala asociada a zonas de intensa alteración. El nivel de agua fue registrado relativamente superficial.

DH-CN14-102.- Registra de 0,0 a 10,60 m un delgado horizonte de suelo morrénico, seguido de suelo residual intercalado con pequeños tramos de roca de dureza R2. Le sigue hasta 60,0 m tobas andesíticas gris plomizas a gris verduzcas, en partes con pirita diseminada, venillas de calcita, y clorita en juntas; poco alteradas a muy alteradas, de dureza entre R2 a R5, poco fracturadas a muy fracturada, con RQD de 50% a 97% y pequeños tramos de 0 a 33%. La roca presenta en general calidad geomecánica regular, y pequeños tramos de roca mala a muy mala. El nivel de agua se ha registrado a la profundidad de 3,40 m.

DH-CN14-103.- Registra de 0,0 a 12,80 m suelo residual, que mejora ligeramente a roca de dureza R1.5 hasta los 17,20 m, Le sigue hasta 33,70 m tobas andesíticas, con venillas de calcita y pirita diseminada, muy alteradas, de dureza entre R1.5 a R2.5, muy fracturada, con juntas algo paralelos al eje del sondaje; con calidad geomecánica regular a mala; mejorando la calidad de roca a regular y buena hasta la profundidad final de 60,50 m. El nivel de agua fue registrado a la profundidad de 4,90 m.

DH-CN14-104.- Registra de 0,0 a 4,50 m suelo coluvial que pasa a material residual hasta los 22,20 m, donde se intercala un pequeño tramo de roca de dureza R2 entre los 14,70 y 16,20 m. Le sigue hasta los 60,70 tobas andesíticas de color gris verdoso, grano fino, moderadamente alterado a muy alterado, con dureza R2 a R3, moderadamente fracturado a fuertemente fracturada a molida, asociadas a probables fallas; presentando calidad geomecánica regular a buena, y pequeños tramos de roca de calidad mala. En profundidad, hasta los 90 m, la alteración es más intensa, presentando tramos de suelo residual (R1 a R1.5) y tramos de roca de dureza R2, que se refleja en la calidad de roca muy mala a regular de los mismos. El nivel de agua se ha registrado a la profundidad de 3,0 m.

DH-CN14-105.- Registra de 0,0 a 8,35 m suelo coluvial / residual, seguido de una zona de falla hasta los 12,80 m con calidad de roca muy mala, y muy mala a regular hasta los 23,0 m. Le sigue hasta 76,20 m tobas andesíticas gris claras a verdosas, muy alteradas a intensamente alterados, de dureza entre R2 a R1, muy fracturada a intensamente fracturada, con calidad geomecánica regular a buena, con pequeños tramos de roca mala a muy mala. En profundidad hasta los 90,0 m la alteración es más fuerte, y la calidad de la roca disminuye a muy mala. El nivel de agua fue registrado a la profundidad de 31,20 m.

DH-CN14-106.- Registra de 0,0 a 8,80 m suelo residual intercalado con un tramo de roca de dureza R2, con calidad de roca muy mala a regular; le sigue hasta 35,10 m tobas andesíticas gris plomizos a rojizos por alteración, muy alterado, en parte silicificado con dureza R2 a R6, moderadamente fracturadas con pequeños tramos muy fracturados, con calidad geomecánica regular a muy buena. Hasta los 90,0

m, la roca se presenta muy alterada a intensamente alterada, con dureza R1 a R1.5 y pequeños tramos de R2; disminuyendo la calidad de roca a muy mala con pequeños tramos de roca mala a regular. No se ha reportado nivel de agua.

DH-CN14-107.- Registra de 0,0 a 20,0 m un delgado horizonte de suelo coluvial, seguido de suelo residual intercalado con niveles de roca de dureza R2, con calidad de roca muy mala a regular. Le sigue hasta 65,40 m tobas andesíticas gris verdosa a rojiza por oxidación, muy alteradas, dureza R2 a R2.5, poco fracturadas a muy fracturadas, con calidad geomecánica regular a buena. Hasta los 80,0 m, se registra alteración más intensa, disminuyendo la calidad de la roca a muy mala, con pequeños tramos de roca regular. El nivel de agua se ha registrado a la profundidad de 21,40 m.

DH-CN14-108.- Registra de 0,0 a 3,85 m suelo residual dureza R1 a R1.5; le sigue hasta 11,25 m tobas andesíticas muy alteradas, dureza 2, moderadamente fracturadas con tramos desintegrados, con calidad geomecánica regular a mala. Le sigue hasta los 17,25 m, un tramo de roca intensamente alterada a suelo residual, dureza R1 a R1.5, y calidad de roca muy mala. En profundidad, hasta los 40,0 m, la roca está poco alterada a muy alterada, con dureza R2.5 a R5, poco a fuertemente fracturado, con calidad de roca buena a regular, y pequeños tramos de roca mala. El nivel de agua se ha registrado a la profundidad de 20,60 m.

DH-CN14-109.- Registra de 0,0 a 30,0 m tobas andesíticas gris verdosa, grano fino a medio, poco alterada, dureza R5, moderadamente fracturada, con pequeños

tramos muy fracturados, RQD de 87 a 100%, juntas con óxidos, y fracturas paralelas al eje del sondaje; con calidad geomecánica buena a muy buena. El nivel de agua se ha registrado a la profundidad de 5,10 m.

3.1.4. Ensayo de penetración dinámica ligera (LDPT)

El ensayo de penetración dinámica ligera o LDPT (siglas en inglés) consiste en auscultar los suelos a través de una punta cónica de 60° unida a unas varillas de 1,0 m de largo y 35,6 mm de diámetro, a través del impacto de un martillo de 10 kg de peso, en el que se mide el número de golpes necesarios para penetrar cada 10 cm de profundidad (N10). Se utilizó este método de auscultación debido a la imposibilidad de la prospección directa a través de calicatas por la presencia de pajonales profundos.

Tabla 3:

Resumen del ensayo LDPT

CÓDIGO	COORDENADAS UTM		PROFUNDIDAD DE ENSAYO (m)
	NORTE	ESTE	
LDPT-110	9254348	754050	6
LDPT-111	9254387	754033	4.1
LDPT-112	9254366	754013	45
LDPT-113	9254354	753976	3
LDPT-114	9254372	753953	2.4
LDPT-115	9254380	753934	4.6
LDPT-116	9254367	753911	3.3
LDPT-117	9254346	753920	4.8
LDPT-118	9254330	753886	2.3
LDPT-119	9254288	753897	4.6
LDPT-120	9254244	753886	5.9
LDPT-121	9254236	753855	2.5
LDPT-122	9254225	753833	2.8
LDPT-123	9254296	753858	4.4
LDPT-124	9254359	753875	2.9

LDPT-125	9254371	753849	1.4
LDPT-126	9254378	753831	12
LDPT-127	9254401	753770	2.8
LDPT-128	9254399	753772	3
LDPT-129	9254417	753727	2.1
LDPT-130	9254431	753676	7.1
LDPT-131	9254413	753649	3.6
LDPT-132	9254353	753729	3
LDPT-133	9254324	753756	2.9
LDPT-134	9254333	753802	1.4
LDPT-135	9254157	753795	4.3
LDPT-136	9255979	754084	2.5
LDPT-137	9256009	754096	3.1

Fuente: Datos de campo.

3.1.5. Ensayos de penetración estándar SPT y LPT

En las nueve (09) perforaciones diamantinas ejecutadas para la evaluación del suelo de fundación se realizaron una serie de ensayos de penetración estándar SPT y ensayos de penetración a gran escala LPT, con el objetivo de evaluar de manera indirecta la resistencia en los depósitos de suelos profundos. Estos ensayos permiten medir la resistencia a la penetración del terreno y al mismo tiempo obtener muestras disturbadas representativas para su identificación en laboratorio.

Básicamente, el ensayo consiste en medir el número de golpes realizados con el martillo (a una altura de caída de 76 cm) necesarios para que el muestreador penetre 15 cm. Se señalarán tres marcas de 15 cm (total 45 cm) y se medirá el número de golpes necesario para que el muestreador penetre cada 15 cm. Acabado el ensayo, el NSPT será la suma del número de golpes utilizado en los últimos 30 cm, desechándose los primeros 15 cm, pero registrándolo en el formato correspondiente.

Para los suelos que contienen gravas y no permiten realizar el ensayo SPT, existe la posibilidad de realizar el ensayo LPT “Large Penetration Test”. Este ensayo se realiza de similar manera que el ensayo de penetración estándar o SPT, pero en este caso se usa un martillo de 300 lbs (136 kg), una cabeza de impacto de 36 cm de diámetro, barras NQ, cuchara partida y zapata de diámetro 2 7/8”.

De acuerdo con la literatura técnica vigente (Daniel, Howie and Sy, 2003) y a la experiencia de Ausenco, los números de golpes obtenidos con el LPT son aumentados 1,38 veces para obtener el número de golpes equivalentes al ensayo SPT. Así tenemos que para suelos morrénicos encontrados en esta zona, la compacidad varía en general desde medianamente densa a muy densa.

Asimismo, se obtiene una muestra representativa del material para propósitos de identificación y ensayos de laboratorio apropiados para muestras disturbadas. Este ensayo se ejecutó bajo las normas establecidas en el estándar ASTM D-1586.

Tabla 4:

Resumen de ensayos SPT y LPT en perforaciones

CÓDIGO	NÚMERO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO (m)	TIPO DE SUELO (SUCS)	NLPT	NSPT	CONSISTENCIA/COMPACIDAD
DH-14-100	SPT-01	1.5-1.95	CL		13	compacta
	SPT-02	3-3.95	CL		50	dura
	LPT-01	3-3.45	SC	8	11**	medianamente densa
	LPT-02	6-6.45	SC	7	9**	medianamente densa
DH-14-101	LPT-03	9-9.45	SC	9	12**	medianamente densa
	LPT-04	12-12.45	SC	8	11**	medianamente densa
	LPT-05	15-15.45	SC	10	13**	medianamente densa
	LPT-06	18-18.45	SC	11	15**	medianamente densa
DH-14-102	SPT-01	1.9-2.35	CH		21	muy compacta
	SPT-02	3-3.45	CH		20	muy compacta
	SPT-03	4.5-4.95	CH		18	muy compacta
	SPT-04	6.5-6.95	CL		58	dura
	SPT-05	8-8.45	CL		50	dura
DH-14-103	SPT-01	2.5-2.95	SC		>50*	muy densa
	SPT-01	1.5-1.95	SC		28	densa
DH-14-104	SPT-02	3-3.45	CL		54	dura
	SPT-03	4.5-4.95	SC		63	muy densa
	SPT-04	6-6.45	SC		50	muy densa
	SPT-05	7.5-7.95	CL		72	dura
	SPT-01	1.2-1.65	CL		85	dura
DH-14-105	SPT-02	3-3.45	CL		>50*	dura
	SPT-03	4.5-4.95	CL		>50*	dura
	SPT-01	1.5-1.95	SC-CM		12	medianamente densa
DH-14-106	SPT-02	3-3.45	SC-CM		>50*	muy densa
	SPT-01	1.5-1.95	GC		>50*	muy densa

Fuente: Datos de campo.

3.1.6. Ensayos de permeabilidad

Con el fin de evaluar las propiedades hidráulicas de los materiales de la cimentación, se realizaron ensayos de permeabilidad in situ del tipo Lefranc de carga variable (ASTM 4631) para determinar el valor de la conductividad hidráulica del suelo; y ensayos Lugeon (Packer) en roca. Este último se realizó determinando previamente un tramo de obturación de características geotécnicas apropiadas. Hecho esto, se infló el Packer a una presión apropiada para aislar el tramo de ensayo y posteriormente se procedió a registrar el consumo de agua a diferentes presiones de cámara aplicadas gradualmente a dicho tramo.

Tabla 5:

Resumen del ensayo de permeabilidad

CÓDIGO	ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO	TRAMO DE ENSAYO	SUCS/ LITOLÓGÍA	VALOR K (m/s)
DH-14-100	Lugeon		11.0-20.0	Andesita Volcánica	4.30E-07
	Lugeon		24.5-31.0	Andesita Volcánica	6.70E-07
	Lugeon		35.5-40.0	Andesita Volcánica	8.60E-07
	Lugeon		66.0-80.1	Andesita Volcánica	2.90E-07
DH-14-101	Lefranc	Carga variable	5.4-8.0	SC	8.44E-07
	Lugeon		14.0-20.9	Andesita	7.30E-07
	Lefranc	Carga variable	32.5-44.3	Andesita Volcánica	7.13E-07
DH-14-102	Lefranc	Carga variable	50.9-60.0	Andesita Volcánica	2.32E-07
	Lefranc	Carga variable	3.0-4.95	CH	1.48E-07
DH-14-103	Lefranc	Carga variable	9.0-11.1	CL	1.12E-07
	Lugeon		17.1-277	Andesita Volcánica	1.90E-07
	Lefranc	Carga variable	1.0-2.95	SC	1.05E-07

	Lugeon	20.0-25.4	Andesita Volcánica	9.60E-07
	Lugeon	53.6-90.0	Andesita Volcánica	3.60E-07
	Lugeon	25.0-36.4	Andesita Volcánica	3.50E-07
DH-14-104	Lugeon	60.7-74.6	Andesita Volcánica	8.80E-07
	Lugeon	78.3-90.0	Andesita Volcánica	2.70E-07
	Lugeon	25.2-41.2	Andesita Volcánica	3.80E-07
DH-14-105	Lugeon	49.4-58.4	Andesita Volcánica	4.70E-07
	Lugeon	74.2-90.0	Andesita Volcánica	6.50E-07
	Lugeon	29.1-44.0	Andesita Volcánica	5.30E-07
DH-14-106	Lugeon	59.0-70.0	Andesita Volcánica	6.90E-07
	Lugeon	71.1-80.0	Andesita Volcánica	1.90E-06
	Lugeon	13.0-23.25	Andesita Volcánica	1.40E-06
DH-14-107	Lugeon	25.1-33.1	Andesita Volcánica	2.20E-06
	Lugeon	20.6-30.0	Andesita Volcánica	1.60E-04

Fuente: Datos de campo.

3.1.7. Ensayos Geofísicos

Los ensayos geofísicos han sido realizados con la finalidad de determinar, en forma indirecta, la estratigrafía del suelo de fundación, así como sus principales características sísmicas a través de los perfiles sísmicos generados. A partir de los ensayos geofísicos podemos estimar los parámetros de elasticidad (Módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson) y los parámetros dinámicos de los suelos de cimentación, mediante la determinación de las velocidades de propagación de las ondas de compresión (V_p) y de corte (V_s).

El estudio involucró la investigación del sitio usando los métodos de refracción sísmica, los métodos de medición de ondas superficiales conocidos como análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) y análisis multicanal de microtrepidaciones (MAM), y sondajes eléctricos verticales (SEV). La interpretación de los valores de V_p y V_s en el terreno mediante los métodos antes mencionados, tiene la finalidad de complementar la información existente a ser usada en los análisis geotécnicos contemplados para la Planta de Procesos.

Tabla 6:

Interpretación de ensayos de Refracción Sísmica

LÍNEA	ESTRATO SÍSMICO	V_p (m/s)	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN
L-01	1	300-1500	3.0-7.0	Bofedal, suelo rígido o residual parcialmente saturado o roca muy débil.
	2	>1500		Roca débil a medianamente dura.
L-02	1	300-1500	3.5-6.0	Bofedal, suelo rígido o residual parcialmente saturado o roca muy débil.
	2	>1500		Roca débil a medianamente dura.
L-03	1	300-1500	2.5-4.5	Bofedal, suelo rígido o residual parcialmente saturado o roca muy débil.
	2	>1500		Roca débil a medianamente dura.
L-04	1	300-1500	3.0-3.5	Bofedal, suelo rígido o residual parcialmente saturado o roca muy débil.
	2	>1500		Roca débil a medianamente dura.

Fuente: Datos de campo.

Tabla 7:

Interpretación de ensayos de Análisis multicanal de ondas superficiales y microtrepidaciones

ENSAYOS	ESTRATO	Vs (m/s)	ESPESOR (m)	DESCRIPCIÓN
MASW/ MAM-01	1	370-400	4.5	Bofedal, suelo rígido o residual parcialmente saturado o roca muy débil.
	2	435-660	9.5	Roca débil
	3	700-885		Roca medianamente dura
MASW/ MAM-02	1	245-500	4.5	Bofedal, suelo rígido o residual parcialmente saturado o roca muy débil.
	2	550-965		Roca débil a medianamente dura.
MASW/ MAM-03	1	330-460	4.5	Bofedal, suelo rígido o residual parcialmente saturado o roca muy débil.
	2	530-795		Roca débil a medianamente dura.

Fuente: Datos de campo.

Tabla 8:

Interpretación de ensayos de Sondajes eléctricos verticales (SEV)

ENSAYO	ESTRATO	RESISTIVIDAD (Ω -m)	ESPESOR (m)	DESCRIPCIÓN
SR-01	1	503	3.4	Suelo con presencia de arenas.
	2	15	1.9	Terreno con alto contenido de humedad.
	3	90		Arena limosa.

SR-02	1	19	25	Terreno con alto contenido de humedad, probablemente relacionado a la presencia de bofedales.
	2	600		Suelo arenoso.
SR-03	1	230	12	Arena arcillosa.
	2	140		Arena arcillosa con presencia de humedad.
SR-04	1	190	4.3	Arena arcillosa con presencia de humedad.
	2	13	14	Arcilla con presencia de humedad.
	3	180	6	Arena.
SR-05	4	1050		Presencia de roca.
	1	55	5	Suelo limoso con presencia de humedad.
	2	15	32	Suelo arcilloso.
SR-06	3	680		Roca fracturada.
	1	62	7.1	Suelo limoso con presencia de humedad.
	2	240	1.1	Arena arcillosa.
	3	13		Suelo arcilloso con presencia de humedad.

Fuente: Datos de campo.

3.1.8. Ensayos de laboratorio

Se realizaron los ensayos de laboratorio a las muestras de suelo y roca obtenidas durante la investigación geotécnica de campo. Adicionalmente se incluyen los resultados de ensayos de laboratorio más importantes en canteras, los cuales nos ayudarán a definir las propiedades

geotécnicas a empelar en los análisis de estabilidad. Los ensayos se realizaron siguiendo las Normas ASTM que a continuación se describen:

- Ensayos Índices de Mecánica de Suelos:
 - Análisis granulométrico por tamizado, ASTM D-422;
 - Límites de Atterberg, ASTM D-4318 ;
 - Contenido Natural de Humedad, ASTM D-2216;
- Ensayo Peso Volumétrico, ASTM C-29;
- Ensayo de Corte a Gran Escala, ASTM D-5321B;
- Ensayo de Compresión Triaxial Consolidado No Drenado (CU), ASTM D-4767; y
- Ensayos de Carga Puntual, ASTM D-5731..

3.1.9. Ensayos Índice en mecánica de suelos

En las muestras seleccionadas obtenidas en la exploración de campo (excavación de calicatas y perforaciones) se llevaron a cabo ensayos estándar de laboratorio con fines de identificación y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Dónde:

SUCS : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

LL : Límite Líquido

IP: Índice Plástico

Lím. de At.: Limite de Atterberg

Tabla 9:

Resumen de Ensayos de Clasificación de Suelos – Calicatas

CALTA.	PROF. (m)	CLASIF. SUCS	GRAVA	GRANULOMETRÍA (%)		LIM.DE AT.		CONT. DE HUM. (%)
				ARENA	FINOS	LL (%)	IP (%)	
TP-14-101	1.0- 2.0	SC	13	38.6	48.4	48	21	23
TP-14-102	2.5- 3.2	SM	15.3	44	40.7	48	17	22.3
TP-14-103	0.7- 1.3	CH	5.8	28.3	65.9	53	26	32.9
TP-14-104	1.5- 1.8	CL	9.8	30.3	59.9	42	24	17.5
TP-14-105	1.5- 1.8	GC	36.3	26.9	36.8	46	25	14.5
TP-14-106	1.8- 2.5	CL	15	32.3	52.7	50	27	16.9
TP-14-107	1.5- 2.3	GC	28.3	28.2	43.5	41	22	19.1
TP-14-108	0.9- 1.4	ML	4.3	45.6	50.1	37	12	23.1
TP-14-109	1.7- 2.0	MH	4.1	19.6	76.3	50	20	43.4
TP-14-110	1.3- 2.3	CL	10.3	33.6	56.1	42	19	24.4
TP-14-111	1.0- 2.5	ML	7.1	29.9	63	49	21	17.9
TP-14-112	3.0- 4.0	SC	4.9	46.1	49	40	19	121
TP-14-113	2.2- 3.0	ML	3.3	39.6	57.1	47	17	27.2
TP-14-114	4.5- 4.8	CL	13.5	24.3	62.2	42	21	25.5
TP-14-115	0.6- 1.5	SM	10	41.7	48.3	48	20	18.8
TP-14-116	1.5- 1.8	MH	0	0.6	99.4	57	26	37.8
TP-14-117	1.5- 3.5	GP	92.4	3.8	3.8	24	7	9.3
TP-14-118	1.5- 4.5	GC	46.3	32.9	20.8	35	12	15.3
TP-14-119	3.0- 4.0	CL	1.1	18.9	80	46	20	43.1

TP-14-120	1.0- 2.2	GC	55.2	25.3	19.5	34	13	12.5
TP-14-121	0.3- 3.1	GC	64.8	22.8	12.4	25	8	9.3
TP-14-122	3.7- 5.0	CL	0	16.5	83.5	43	19	37.3
TP-14-123	0.9- 3.6	ML	2.3	27	70.7	44	16	28.6
TP-14-124	0.3- 1.9	ML	1	38.2	60.8	48	18	23.9
GRAVA/ DRENAJE		GP	99.5	0	0.5	NP	NP	1
TP-14-125	0.0- 2.0	GP	99.9	0	0.1	NP	NP	0.8
MEZCLA RELLENO		GM	41.6	33.5	24.9	42	13	16.4
MINERAL LIXIVIAD O		GP-GM	54.1	34.1	11.8	NP	NP	1.1

Fuente: Datos de campo.

Tabla 10:

Resumen de Ensayos de Clasificación de Suelos – Perforaciones

PROF. (m)	CLASIF. SUCS	GRAVA	GRANULOMETRÍA (%)		LIM.DE AT.		CONT. DE HUM.(%)	
			ARENA	FINOS	LL (%)	IP (%)		
DH-14-01	1.9-2.35	CL	0.1	30.2	69.7	48	31	18.9
DH-14-02	3.0-3.45	CH	0.1	17.3	82.7	69	42	30.2
DH-14-03	4.5-4.95	CH	1.9	19.7	78.4	64	38	24.2
DH-14-04	6.5-6.95	CL	0.2	28.9	70.9	46	28	13.1
DH-14-05	1.5-1.95	SC	7.2	46.2	46.6	45	24	9.6
DH-14-06	3.0-3.45	CL	7	39.8	53.2	39	19	10.1
DH-14-07	4.5-4.95	SC	4.9	46.3	48.8	41	20	17.6
DH-14-08	6.0-6.3	SC	4.3	54	41.7	34	17	15.9
DH-14-09	7.5-7.9	CL	7	46.3	53	38	18	12.7
DH-14-10	1.2-1.55	CL	0.9	47.5	51.6	42	17	18.3
DH-14-11	3.0-3.25	SC	4.5	52.7	42.8	35	13	20.4
DH-14-12	4.5-4.8	SC	1.1	54.7	44.2	39	14	23.5
DH-14-13	1.5-1.95	SC-SM	34	44.4	21.6	25	7	12

Fuente: Datos de campo.

3.1.10. Peso volumétrico

En el laboratorio de Ausenco se llevaron a cabo ensayos de Peso Volumétrico y los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 11:

Resumen de Ensayos de Peso Volumétrico

CALICATA	PROF. TOTAL (m)	LITOLÓGÍA	D.NATURAL PROM. (Kn/m3)	D.SECA PROM. (Kn/m3)	HUMEDAD PROMEDIO (%)
TP-14-106	1.5-1.8	Suelo	2.12	1.82	16.4
TP-14-119	1.7-2	Suelo	1.71	1.2	43.4
TP-14-125	4.5-4.8	Suelo	1.99	1.58	25.5
TP-14-130	1.5-1.8	Suelo	1.79	1.29	37.8

Fuente: Datos de laboratorio.

3.1.11. Ensayos de compresión Triaxial

Con el objetivo de estimar los parámetros de resistencia cortante del suelo de cimentación y mineral a colocar en el Pad, se han realizado ensayos de compresión triaxial del tipo consolidados no drenados (CU) con medición de presión de poros.

Los ensayos se llevaron a cabo de acuerdo con la norma ASTM D-4767.

Dónde:

C.H.: Contenido de humedad

C: Cohesión

ϕ : Ángulo de fricción

Tabla 12:

Resumen de Resultados de los Ensayos de Compresión Triaxiales (CU)

MUES- TRA	PROF. (m)	CLASF. SUCS	D. NATURAL (KN/cm ³)	C.H. (%)	E.EFECTIVOS		E.TOTALES	
					COHE- SIÓN (kPa)	(ϕ°) FRICCIÓN	COHE- SIÓN (kPa)	(ϕ°) FRICCIÓN
TP-14-119	1.7-2	MH	1.69	47.08	27	16.8	22	9.8
TP-14-125	4.5-4.8	CL	2	25.57	32	18.9	34	11
MINERAL LIXIVIADO		GP-GM	1.87	4.8	0	40.6	12	19.4
MEZCLA RELLENO		GM	1.85	17.4	0	32.5	0	18.9

Fuente: Datos de laboratorio.

3.1.12. Ensayo de Corte directo a gran escala

Se llevó a cabo 2 ensayos de corte directo a gran escala para evaluar las características de resistencia cortante de la interface del suelo de baja permeabilidad/geomembrana de LLDPE de 2,0 mm SST. Los ensayos se llevaron a cabo en suelo de baja permeabilidad, en la mezcla de las calicatas TP_CN14-210, 212, 213, 215, 219 y 223; y en la mezcla de las calicatas TP_CN14-704 y 706, en contacto con una geomembrana de LLDPE de 2,0 mm SST, con la cara texturada en contacto con el suelo de baja permeabilidad, el cual fue proporcionada por la empresa. Adicionalmente se ejecutaron 2 ensayos de corte para evaluar la interface GCL/Geomembrana. Para cada ensayo se emplearon diferentes tipos de GCL, esto con el objetivo de determinar cuál de ellos presenta mejor comportamiento al corte como interface. Los resultados indican que el GCL DN35 presente mejores características al corte como interface, por lo que se recomienda su uso en la construcción del Pad.

Cabe indicar que el desplazamiento máximo alcanzado en el ensayo de corte directo a gran escala fue de 0,075 m mientras que el área efectiva del aparato de corte directo es de 0,30 x 0,30 m.

Tabla 13:

Resumen de Ensayos de Corte a Gran Escala

CANTERA	PROF. TOTAL (m)	RESISTENCIA PICO		RESISTENCIA RESIDUAL	
		ÁNGULO FRICCIÓN (°)	COEF. DE FRICCIÓN	ÁNGULO FRICCIÓN N (°)	COEF. DE FRICCIÓN
CANTERA 1 (Suelo de baja permeabilidad)	Mez- cla	17.4	0.3	17.1	0.3
CANTERA 1 (Suelo de baja permeabilidad)	Mez- cla	15.6	0.27	15.6	0.27
GCL BENTOMAT		19.2	0.34	6.7	0.12
GCL DN35		22.7	0.4	10	0.18

Fuente: Datos de laboratorio.

3.1.13. Ensayo de Carga puntual

Se realizó ensayos de carga puntual a la muestra de roca obtenida de las calicatas y perforaciones, con la finalidad de obtener su resistencia compresiva.

Dónde:

I_s (50): Índice de carga puntual corregido

σ_c : Resistencia a la compresión no confinada

Tabla 14:

Resumen de Resultados de los Ensayos de Carga Puntual – Calicatas

CALICATAS	PROF. (m)	CARGA PUNTUAL		
		Is(50) (Mpa)	σ_c (Mpa)	ISMR
TP-14-104	2-2.3	1.38	33	R3
TP-14-107	0.4-0.9	0.15	4	R1
TP-14-112	1.7-2.1	0.13	3	R1
TP-14-116	2.0-3.0	0.06	1	R1
TP-14119	2.3-2.4	4.52	108	R5
TP-14-122	1.3-1.4	3.5	84	R4
TP-14-130	2.6-2.9	5.64	135	R5
TP-14-131	1.5-3.5	0.83	20	R2
TP-14-132	0.7-0.8	1.6	38	R3
TP-14-141	0.4-0.8	0.62	15	R2
TP-14-150	0.3-0.6	0.17	4	R1
TP-14-183	0.9-1.6	5.04	121	R5
TP-14-188	0-1.8	2.98	72	R4
TP-14-190	0-0.2	4.47	107	R5

Fuente: Datos de laboratorio.

Tabla 15:

Resumen de Resultados de los Ensayos de Carga Puntual – Perforaciones

MUESTRA	PROF. (m)	CARGA PUNTUAL		
		Is(50) (Mpa)	σ_c (Mpa)	ISMR
DH-14-102	15.58-16.03	0.57	14	R2
DH-14-103	28.84-29.15	8.11	195	R5
DH-14-104	39.95-40.29	3.42	82	R4
DH-14-105	58.95-59.35	6.84	164	R5
DH-14-106	24.70-24.98	0.28	7	R2
DH-14-107	34.7-37.62	8.12	195	R5
DH-14-108	45.25-45.7	5.74	138	R5

DH-14-109	52.25-52.53	7.2	173	R5
DH-14-110	58.42-58.72	5.86	141	R5
DH-14-111	29.4-29.64	7.04	169	R5
DH-14-112	54.2-54.52	2	48	R3
DH-14-113	64.22-63.8	0.13	3	R1
DH-14-114	80.4-80.85	0.35	8	R2
DH-14-115	15.8-16.1	0.94	23	R2
DH-14-116	29.1-29.32	0.31	8	R2
DH-14-117	36.4-36.6	0.24	6	R2
DH-14-118	57.4-57.8	0.48	12	R2
DH-14-119	65.4-65.85	0.46	11	R2
DH-14-120	84.15-84.47	0.96	23	R2
DH-14-121	11-11.2	13.36	321	R6
DH-14-122	24.9-25.38	0.9	22	R2
DH-14-123	48.8-49.18	0.34	8	R2
DH-14-124	81.6-82.1	0.86	21	R2
DH-14-125	8.15-8.7	0.22	5	R2
DH-14-126	16.55-16.78	0.18	4	R1
DH-14-127	35.1-35.8	0.27	7	R2
DH-14-128	63.27-63.47	1.04	25	R2
DH-14-129	6.85-7.27	0.58	14	R2
DH-14-130	18.25-18.41	3.13	75	R4
DH-14-131	25.65-25.84	8.38	201	R5
DH-14-132	32.1-32.4	8.87	213	R5
DH-14-133	2.5-2.7	10.13	243	R5
DH-14-134	6.3-6.47	9.96	239	R5

Fuente: Datos de laboratorio.

Durante el movimiento de tierras para la construcción del Pad y pozas se deberá evaluar constantemente los materiales encontrados y los taludes resultantes de dicho movimiento de tierras, a fin de prevenir posibles taludes inestables como producto de la aparición de lentes débiles que no hayan sido identificados durante la investigación geotécnica de campo.

3.1.14. Coeficiente Sísmico

De acuerdo con la literatura técnica existente y ampliamente aceptada internacionalmente, se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en

el análisis en la condición pseudo-estática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre 1/3 a 1/2 de la máxima aceleración esperada. Esta recomendación, es consistente con las recomendaciones del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers) y (Hynes, 1984), quienes sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración pico de diseño. La recomendación del Cuerpo de Ingenieros está basada en la aplicación del método de Newmark, (Newmark, 1965) para calcular desplazamientos permanentes en presas de tierra utilizando más de 350 registros sísmicos, concluyéndose que estas estructuras analizadas con el método pseudo-estático con factores de seguridad mayores que 1,0 utilizando un coeficiente sísmico horizontal de $0,5 \times \text{PGA}$ no desarrollan deformaciones mayores a 1 m, que es un valor arbitrario que puede ser tolerado por presas de tierra, sin representar una amenaza a la integridad del APAD CN.

Por lo tanto, para el análisis pseudo-estático de taludes en los proyectos de la empresa minera se recomienda usar un coeficiente sísmico lateral de $\alpha = 0,14$; el cual es aproximadamente 50% de la máxima aceleración esperada en la zona.

3.2. Resultados del detalle de los parámetros y criterios de diseño para la propuesta de ampliación del Pad de lixiviación

Se presenta a continuación una descripción de las consideraciones del diseño geotécnico tomadas en cuenta para la ejecución de los análisis de estabilidad.

3.2.1. Criterios de diseño para la estabilidad de taludes

Los criterios de diseño establecidos para el presente análisis fueron los siguientes:

- Mínimo factor de seguridad estático a largo plazo, igual a 1,5;

- Mínimo factor de seguridad pseudo-estático a largo plazo y para taludes permanentes igual a 1,0; o
- Desplazamientos inducidos por sismo que no comprometan la serviciabilidad del apilamiento o la integridad del sistema de revestimiento.

Se debe indicar que un factor de seguridad pseudo-estático mayor que 1,0 no significa que el apilamiento de material no se moverá durante un evento sísmico. Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños en las estructuras, asociados al terremoto de diseño.

Para el análisis, el nivel freático en la fundación ha sido asumido a partir de la información encontrada durante las investigaciones geotécnicas de campo, registros de calicatas y perforaciones diamantinas. Este nivel de agua actuará como un nivel piezométrico afectando principalmente al depósito morrénico, residual y el basamento rocoso.

Para el análisis de estabilidad del Pad de lixiviación, se ha considerado que el nivel de la solución estará como máximo a 2,0 m por encima del fondo del revestimiento de geomembrana, lo cual es una hipótesis conservadora para instalaciones revestidas que colectarán solución mas no la almacenarán. Este nivel de solución actuará como un nivel freático afectando principalmente las propiedades del mineral localizado en el fondo del Pad y eventualmente a la interface, lo que también es una asunción conservadora ya que la interface estará aislada del contacto con la solución a través de la geomembrana.

Se considera la existencia de superficies de falla tipo circular en la evaluación de la estabilidad a través del mineral del apilamiento y fundación del Pad. Asimismo, debido a la presencia del revestimiento de geomembrana y suelo de baja permeabilidad, se han analizado superficies de falla no circulares o de tipo bloque, con la finalidad de evaluar la estabilidad del apilamiento a través del sistema de revestimiento.

A continuación, se presenta las salidas del programa SLIDE, las cuales ilustran los resultados del análisis de estabilidad realizado, para el Pad de Lixiviación. Dichas salidas contienen información de la sección transversal, propiedades de los materiales, nivel freático y ubicación de la superficie de falla crítica con el menor factor de seguridad.

Tabla 16:

Resultados del Análisis de Estabilidad

SECCIÓN GEPTÉCNICA ANALIZADA	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD	
		ESTÁTICO	PSEUDO- ESTÁTICO (k=0.13)
	Falla Circular/Global	2	1.2
SECCIÓN 1-1	Falla Circular/Local	1.9	1.18
	Falla Bloque/Global	1.7	1.05
SECCIÓN 2-2	Falla Circular/Global	2.1	1.21
	Falla Bloque/Global	1.65	1.07
SECCIÓN 3-3	Falla Circular/Global	2.2	1.22
	Falla Bloque/Global	2.3	1.35
SECCIÓN 4-4	Falla Circular/Global	1.9	1.18
	Falla Bloque/Global	1.5	1
SECCIÓN 5-5	Falla Circular/Global	19	1.15
	Falla Bloque/Global	1.5	1

Fuente: Software Slide.

Como se aprecia en esta tabla, los factores de seguridad obtenidos son superiores a los mínimos requeridos en los criterios de diseño geotécnico, por lo que se concluye que la configuración del APAD CN es estable.

Para la realización del análisis de estabilidad de taludes en condiciones pseudo-estáticas se utilizó el coeficiente sísmico que fue obtenido a partir del “Estudio de Peligro Sísmico desarrollado por Ausenco en septiembre del 2018.

Se ha realizado el análisis de estabilidad en 5 secciones representativas del Pad. Siendo el análisis a largo plazo para condiciones estáticas y pseudo-estáticas. Los factores de seguridad obtenidos son superiores a los mínimos requeridos en los criterios de diseño en condiciones estáticas, en ese sentido, se concluye que la ampliación del APad CN es estable.

3.2.2. Criterios de diseño para la ampliación del Pad de lixiviación

Con los datos y resultados de los ensayos realizados se pudo establecer los principales criterios de diseño para la ampliación del Pad.

Tabla 17:

Criterios de diseño - Pad de lixiviación

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO
Tipo de operación	Años	5
Mineral que será procesado	TM	7,200,000
	TM/año	1,440,000
Producción promedio mineral	TM/día	5,000
Ciclo de lixiviación		
Capa de mineral	días	60

Características del mineral de mina(ROM)

Humedad promedio	%	3
Densidad ROM in-situ	T/m ²	2.2

Sistema de transporte al Pad

Método de transporte		camiones
Capacidad de los camiones	m ³	15
Producto		Mineral ROM

Parámetros de diseño del Pad

Área total requerida	Ha	7.95
Densidad promedio del mineral	T/m ²	1.6
Periodo de retorno sismo de diseño	años	475
Evento sísmico de diseño	g	0.28
Coefficiente sísmico		0.14
Estabilidad estática, mínima	F.S	1.5
Estabilidad pseudo-estática, mínimo	F.S	1
Análisis de deformación		F.S Pseudo estático <1.0
Periodo de retorno evento de diseño del Pad	años	50
Lluvia para el evento de diseño	mm	65
Periodo de retorno evento de diseño canal de coronación y derivación	años	50
Sistema de revestimiento del Pad de Lixiviación	simple/doble	doble
Revestimiento Pad de lixiviación	tipo textura	LLDPE, Texturada GCL (geosintético de bentonita)
Espesor del revestimiento	mm	3
Detección de fugas	S/N	NO
Sistema de sub-drenaje	S/N	SI
Capacidad total de la ampliación	TM m ³	9,000,000 5,625,000
Área total de la ampliación	m ²	79,500
Sistema de colección de solución	S/N	SI
Tipo de sistema de colección	gravedad / bombeo	gravedad
Tuberías de colección de la solución	tipo textura	pared doble perforada
Diámetro de tuberías principales de colección	mm	300
Diámetro de tuberías laterales de colección	mm	100
Espaciamiento de tuberías laterales	m	10

Altura típica de capa para apilamiento	m	8
Parámetros de lixiviación		
Tasa de aplicación nominal (operación)	lt/h/m ²	10
Tasa de aplicación máximo	lt/h/m ²	12
Flujo de solución de lixiviación total	m ³ /h	1550
Pérdida de solución total	%	9
Contenido de humedad residual	%	6

Fuente: Resultados de los ensayos y datos de campo.

Para el APAD, dado que es una estructura permanente por lo que se evaluará considerando un tiempo de vida útil de 50 años, a lo cual le corresponde un periodo de retorno de 475 años con un 10% de excedencia, bajo estas consideraciones la aceleración de diseño empleada es 0,28 g. De lo expuesto, para los análisis pseudo-estático de taludes se empleó el coeficiente sísmico $\alpha = 0,14$, que es el 50% de la máxima aceleraciones esperada.

El presente estudio ha considerado que se empleará como suelo de revestimiento material extraído de las canteras Gaviotas y/o Azufre, ya que de acuerdo con ensayos ejecutados presenta adecuadas características geotécnicas como interfase suelo de baja permeabilidad /Geomembrana. Se recomienda realizar ensayos de corte directo a gran escala durante el proceso de explotación de estas canteras para verificar que las propiedades de resistencia como interface suelo/geomembrana sean igual o superior al considerado en el diseño. Así también, de realizar cambios de cantera o de materiales de construcción, se deberán de realizar los ensayos de laboratorio correspondientes y de ser necesario reevaluar la estabilidad del Pad.

Se deberá emplear GCL del tipo NTW 35 en el Pad, ya que presentaría adecuadas características geotécnicas como interface GCL/Geomembrana. Se están realizando ensayos complementarios para verificar los parámetros de resistencia como interface considerados para este material. Con los resultados de estos ensayos, de ser necesario se deberá realizar una actualización de los análisis de estabilidad. Se podría emplear otro tipo de GCL, pero previamente se deberán realizar ensayos de corte directo a gran escala que demuestre que presenta parámetros similares o mejores a las consideradas en el presente reporte, para garantizar así la estabilidad del Pad.

Como parte del presente estudio se ha considerado que los materiales de construcción serán extraídos de canteras evaluadas en estudios previos desarrollados para fases anteriores del Pad. Se recomienda realizar una actualización de estos estudios y/o realizar estudios de nuevas canteras que serán empleadas en la construcción. Como parte de estos estudios se deberá realizar ensayos de caracterización física, geoquímica y principalmente ensayos para verificar que las propiedades de resistencia sean similares o superiores a los considerados en los diseños geotécnicos.

3.3. Resultados del análisis del costo de construcción de estructuras y trabajos de obras civiles

Se realizó la evaluación del costo total correspondiente a las obras civiles que se consideraron dentro de la propuesta de ampliación del Pad de lixiviación.

Tabla 18:

Costos de obras civiles- Ampliación de Pad de lixiviación (7.95 ha)

DESCRIPCION	UND.	CANT.	COSTO UNITARIO (US\$)	COSTO PARCIAL (US\$)
TRABAJOS PRELIMINARES Y COMPLEMENTARIOS				41,597.03
Movilización y desmovilización de equipos	glb	2.00	7,662.00	15,324.00
Trazo y replanteo	mes	3.50	7,506.58	26,273.03
CONSTRUCCIÓN AMPLIACIÓN DE PAD DE LIXIVIACIÓN (7,95 ha)				1,401,863.66
MOVIMIENTO DE TIERRAS				1,246,140.43
EXCAVACIONES				741,297.56
Corte, eliminación y descarga de material orgánico (topsoil, e=0.40 m) d≤ 1.00Km	m³	30,360.00	3.71	112,635.60
Transporte adicional de material orgánico (top soil) d>1 km d.aprox=1.400km	m ³ -km	42,504.00	0.69	29,327.76
Empuje de material orgánico en depósito	m ³	30,360.00	0.74	22,466.40
Corte, eliminación y descarga de material Inadecuado saturado hacia DMI CN d≤1.00Km	m³	32,751.00	4.14	135,589.14
Transporte adicional de material inadecuado saturado d>1 km d.aprox=1.3 km	m ³ -km	42,576.30	0.74	31,506.46
Empuje de material inadecuado saturado en depósito	m ³	32,751.00	0.84	27,510.84
Corte, eliminación y descarga de material inadecuado seco d≤1.00Km	m³	89,313.40	3.54	316,169.44
Empuje de material inadecuado seco en depósito	m ³	89,313.40	0.74	66,091.92
RELLENOS				504,842.87
Carguío y transporte de material de relleno masivo en dique CN d≤ 1.00Km	m³	47,150.00	2.47	116,460.50

Transporte adicional de material de relleno masivo d>1 km d.aprox=1.300 km	m ³ - km	61,295.00	0.69	42,293.55
Colocación y conformación de relleno masivo en dique	m ³	47,150.00	1.74	82,041.00
Carguío y transporte de relleno estructural d≤ 1.00Km	m ³	9,850.00	2.53	24,920.50
Transporte adicional de material de relleno estructural d>1 km d.aprox=1.300 km	m ³ - km	12,805.00	0.69	8,835.45
Colocación y conformación de relleno estructural en dique	m ³	9,850.00	3.71	36,543.50
Carguío y transporte de suelo de baja permeabilidad e=0,30m) d≤ 1.00Km	m ³	17,100.00	2.50	42,750.00
Transporte adicional de material de baja permeabilidad d>1 km d.aprox=1.300 km	m ³ - km	22,230.00	0.69	15,338.70
Colocación y conformación de suelo de baja permeabilidad (e=0.30 m)	m ³	17,100.00	6.25	106,875.00
Carguío y transporte de topsoil desde talud exterior de dique (e= 0.30m) d≤ 1.00Km	m ³	2,750.00	2.45	6,737.50
Transporte adicional de material orgánico d>1 km d.aprox=1.400 km	m ³ - km	3,850.00	0.69	2,656.50
Conformación de top soil en talud exterior del dique	m ³	2,750.00	3.85	10,587.50
Colocación y compactación de lastre en acceso perimetral (e= 0.20m) No incluye carguío ni transporte	m ³	315.00	5.44	1,713.60
Transporte, colocación y compactación de bermas de seguridad en dique	m ³	465.50	15.23	7,089.57
SISTEMA DE SUBDRENAJE				71,942.70
Excavación de trincheras de subdrenaje	m ³	1,171.14	4.28	5,012.48
Colocación y compactación de relleno en trinchera de subdrenaje con material propio	m ³	132.98	7.28	968.09

Suministro, transporte y colocación de grava en sistema de subdrenaje	m ³	942.66	63.77	60,113.43
Geotextil no tejido de 270 g/m ²	m ²	3,193.84	0.59	1,884.37
Instalación tubería de HDPE perforada de pared doble de 300 mm (incluye inst. de tapas, yee, codos y coplas)	ml	1,194.50	2.03	2,424.84
Instalación tubería de HDPE perforada de pared doble de 100 mm (incluye inst. de tapas, yee, codos y coplas)	ml	950.30	1.62	1,539.49
SISTEMA DE COLECCION DE EFLUENTES				83,780.53
Suministro, transporte y colocación de grava en sistema de colección	m ³	1,115.00	65.42	72,943.30
Geotextil no tejido de 270 g/m ²	m ²	13,316.91	0.59	7,856.98
Instalación tubería de HDPE perforada de pared doble de 300 mm (incluye inst. de tapas, yee, codos y coplas)	ml	810.50	2.03	1,645.32
Instalación tubería de HDPE perforada de pared doble de 100 mm (incluye inst. de tapas, yee, codos y coplas)	ml	824.03	1.62	1,334.93
CANAL DE CORONACIÓN Y POZA SEDIMENTADORA				46,259.27
CANAL DE CORONACIÓN ESTE				33,145.40
Corte, eliminación y descarga de material Inadecuado d≤1.00Km	m ³	1,320.00	4.14	5,464.80
Transporte adicional de material inadecuado d>1 km d.aprox=1.5 km	m ³	1,980.00	0.74	1,465.20
Empuje de material inadecuado en depósito	m ³	1,320.00	0.84	1,108.80
Relleno con material propio (Carguío, Transporte, colocación y compactación) d≤1Km	m ³	550.00	6.40	3,520.00
Excavación de trinchera de anclaje (a mano)	m ³	34.92	16.51	576.53
Concreto para canal + trinchera de anclaje, fc=210 kg/cm ²	m ³	77.60	214.34	16,632.78
Instalación de Geocelda h=0,10 m	m ²	795.40	3.78	3,006.61
Instalación de Geotextil no tejido de 200 g/m ²	m ²	795.40	0.60	477.24

Suministro y colocación de piedra embebida en concreto Dmax=0.20 m (no incluye concreto)	m ³	6.24	143.18	893.44
POZA DE SEDIMENTACIÓN (210 m³)				13,113.87
Corte, eliminación y descarga de material Inadecuado d≤1.00Km				
	m ³	850.00	4.14	3,519.00
Transporte adicional de material inadecuado d>1 km d.aprox=1.5 km	m ³	1,275.00	0.74	943.50
Empuje de material inadecuado en depósito	m ³	850.00	0.84	714.00
Relleno con material propio (Carguío, Transporte, colocación y compactación)	m ³	50.00	6.40	320.00
Transporte, colocación y compactación de relleno estructural en bermas de seguridad	m ³	37.73	15.23	574.63
Excavación y relleno de trincheras de anclaje (a mano)	m ³	23.40	28.55	668.07
Instalación de geomembrana HDPE lisa 1.5 mm	m ²	85.80	2.59	222.22
Suministro e instalación de POLYLOCK	ML	2.50	39.16	97.90
Cerco perimétrico h= 1.50 mts en poza de sedimentación (incluye puerta)	ml	85.00	71.23	6,054.55
TRABAJOS AMBIENTALES Y OTROS				15,885.20
TRABAJOS AMBIENTALES				15,885.20
Personal de piso	h-h	2,800.00	3.60	10,080.00
RETROEXCAVADORA				
S/LLA(Combus y Operador)	h-m	60.00	45.92	2,755.20
Instalación de suministro de silt fence	m ²	500.00	6.10	3,050.00
OTROS				95,504.00
MANTENIMIENTO DE VIAS Y ACCESOS TEMPORALES				95,504.00
CAMION VOLQUETE (Cobus/Operador)	hm	10.00	46.69	466.90

EXCAVADORA (Cobus/Operador)	336	CAT	hm	120.00	107.09	12,850.80
EXCAVADORA (Cobus/Operador)	320	CAT	hm	120.00	81.82	9,818.40
MOTONIVELADORA CAT(Cobus/Operador)	160HP		hm	350.00	72.64	25,424.00
RODILLO 101/135HP,10/12TON(comb/Ope)	L.V		hm	350.00	46.46	16,261.00
TRACTOR D6-T CAT (Combust y Operador)			hm	90.00	83.73	7,535.70
TRACTOR D8-T CAT (Combust y Operador)			hm	150.00	120.64	18,096.00
RETROEXCAVADORA S/LLA(Combust y Operador)			hm	110.00	45.92	5,051.20
TOTAL COSTO DIRECTO						1,601,109.16
GASTOS GENERALES						43% 691,239.83
UTILIDAD						8% 128,088.73
TOTAL COSTO						2,420,437.72

Fuente: Área de Logística.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Luego de obtener los resultados de los ensayos realizados con los datos y muestras tomadas en campo se logró identificar que el área de ampliación del Pad de lixiviación forma parte de una ladera de moderada pendiente, ligeramente disectada, con promontorios rocosos alargados y pequeñas depresiones rellenas por material reciente. Para obtener información detallada del terreno para la ampliación del Pad se realizaron diferentes ensayos como calicatas, perforaciones, ensayos de campo, ensayos geofísicos y de laboratorio. Lo cual apoya lo señalado por César, C. (2017), quien indico que para el diseño de un Pad de lixiviación intervienen diferentes especialidades como la geotecnia, que nos permitirá obtener información del terreno y verificar si las condiciones geológicas-geotécnicas son óptimas para soportar la carga de la pila. “Esta etapa es importante porque la plataforma del Pad tiene que ser estable. Para ello se hace un estudio completo de geotecnia, que incluye trabajos de campo (calicatas, perforaciones, geofísica, ensayos de laboratorio), análisis, etc.”. Posteriormente, se hace el modelamiento geométrico a través de diferentes programas. “Vuelve nuevamente a geotecnia para su verificación de estabilidad. Luego ingresan otras disciplinas como la hidráulica y mecánica- piping, en donde se calculan las tuberías de colección, conducción e impulsión y riego, así como las obras de drenaje superficial. Por otro lado, debido a que el Perú presenta condiciones topográficas agrestes, el diseño de cada Pad es todo un reto. Tenemos una topografía bastante compleja., a diferencia de otros países, donde su geografía no es accidentada”.

Los datos obtenidos de la geología y geomecánica permitieron elaborar los criterios de diseño de la ampliación del Pad de lixiviación, esto nos permite afirmar lo indicado por Tamayo, J. (2017), el cual señaló que se debe considerar una evaluación geológica-geotécnica antes de realizar trabajos de diseño, así como un análisis de riesgo sísmico en la zona, para determinar, entre otras cosas, las aceleraciones de diseño a utilizar en los análisis geotécnicos. “También se tiene que realizar un estudio de canteras con nivel de detalle, ya que el sistema de revestimiento dependerá de la disponibilidad de los materiales. Cuando se tiene un sistema de revestimiento con baja resistencia al corte, se deben adoptar menores pendientes de la sub-rasante, caso contrario se tendrá que analizar la posibilidad de construir bermas de contención o de estabilidad al pie del apilamiento”.

Para la realización del análisis de estabilidad de taludes en condiciones pseudo-estáticas se utilizó el coeficiente sísmico que fue obtenido a partir del “Estudio de Peligro Sísmico” desarrollado por Ausenco en septiembre del 2018. Para el APAD CN, dado que es una estructura permanente por lo que se evaluará considerando un tiempo de vida útil de 50 años, a lo cual le corresponde un periodo de retorno de 475 años con un 10% de excedencia, bajo estas consideraciones la aceleración de diseño empleada es 0,28 g. De lo expuesto, para los análisis pseudo-estático de taludes se empleó el coeficiente sísmico $\alpha = 0,14$, que es el 50% de la máxima aceleraciones esperada. Se ha realizado el análisis de estabilidad en 5 secciones representativas del Pad. Siendo el análisis a largo plazo para condiciones estáticas y pseudo-estáticas. Para los análisis se ha considerado el sistema de revestimiento de acuerdo con planos as-built proporcionados por la empresa.

Los factores de seguridad obtenidos son superiores a los mínimos requeridos en los criterios de diseño en condiciones estáticas, en ese sentido, se concluye que la ampliación del APad CN es estable, es de gran importancia realizar este tipo de ensayos para identificar el factor de seguridad. Los resultados obtenidos, apoyan lo indicado por Cabanillas, S. (2015), en su tesis “Criterios Básicos para el diseño geotécnico de pilas de lixiviación de mineral” indica lo siguiente, el objetivo de determinar la estabilidad de las pilas consiste en desarrollar un diseño para la instalación de lixiviación en pila de forma que se mantenga la estabilidad contra los deslizamientos bajo condiciones estáticas pseudo-estáticas de cargas. La estabilidad de una pila es una consideración muy importante puesto que la inestabilidad podría provocar la rasgadura del sistema de revestimiento y por lo tanto la pérdida de contención. Para el caso de pilas de lixiviación de mineral, Los análisis de estabilidad se realizan considerando fallas tipo circular tanto en condiciones estáticas y pseudo-estáticas.

4.2 Conclusiones

- Las unidades geológicas-geotécnicas diferenciadas en toda el área del Pad son: Pajonal Inundado, Depósito Coluvial, Depósito Morrénico, Residual, y Basamento Rocoso. De estas unidades, en el área de Ampliación del Pad se presentan las unidades.
- Durante el movimiento de tierras para la construcción del Pad y pozas se deberá evaluar constantemente los materiales encontrados y los taludes resultantes de dicho movimiento de tierras, a fin de prevenir posibles taludes inestables como producto de la aparición de lentes débiles que no hayan sido identificados durante la investigación geotécnica de campo.
- Se ha realizado el análisis de estabilidad en 5 secciones representativas del Pad. siendo el análisis a largo plazo para condiciones estáticas y pseudo-estáticas, los factores de seguridad obtenidos son superiores a los mínimos requeridos en los criterios de diseño en condiciones estáticas, en ese sentido, se concluye que la ampliación del Pad es estable.
- Los ensayos y pruebas realizados con los datos y muestras tomadas en campo, permitieron elaborar los criterios de diseño de la ampliación del Pad de lixiviación

para incrementar la producción diaria a 5000 TM por día con una capacidad de 9 millones de TM.

- El costo total de las obras civiles que implicaría la ampliación del Pad de lixiviación es de s/. **2,420,437.72**, monto que sería compensado con el aumento de la productividad de la empresa minera, lo cual además aumentaría las utilidades de la misma.

REFERENCIAS

Alza, A. (2017). “*Criterios de diseño de un Pad de lixiviación*”, recuperado de:

<https://peruconstruye.net/edicion-46/>

Ausenco. (2016). *Ingeniería de Detalle del Pad de Lixiviación de la Fase 1 y Pozas de Procesos*.

Ausenco. (2018). *Estudio de Peligro Sísmico Unidad Minera Tantahuatay*.

Bienawski, Z. (1989). *“Engineering Rock Mass Classifications”*. Canada: John Wiley and Sons Ed.(WILEY).

Cabanillas, S. (2015). “*Criterios Básicos para el diseño geotécnico de pilas de lixiviación de mineral*”. Tesis pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

César, C. (2017). “*Criterios de diseño de un Pad de lixiviación*”, recuperado de:

<https://peruconstruye.net/edicion-46/>

Hynes, M. &. (1984). *Rationalizing the Seismic Coefficient Method*. (E. Waterways Experimental Station & Miscellaneous Paper GL-84-13, Ed.) U.S. Army Corp of Engineers DeparTMent of the Army.

J.L. & Pereira, J. (1983). *“Considerations of the Geomechanics Classification of Bieniawski”* (Vol. 1). Lisbon, Portugal: Proceedings International Symposium on Engineering Geology and Underground Construction, LNEC.

Newmark, N. (1965). *“Effects of Earthquakes on Dams and Embankments”*. Geotechnique 14(2).

Revista Perú Construye (2017). Edición N° 46. *“Diseño de un Pad de lixiviación”*.

Rocscience. (2011). *“2D Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes”*.

Definición de la investigación Cuantitativa. Hernández, Fernández y Baptista (2014), recuperado de: <https://recursos.ucol.mx/tesis/investigacion.php>

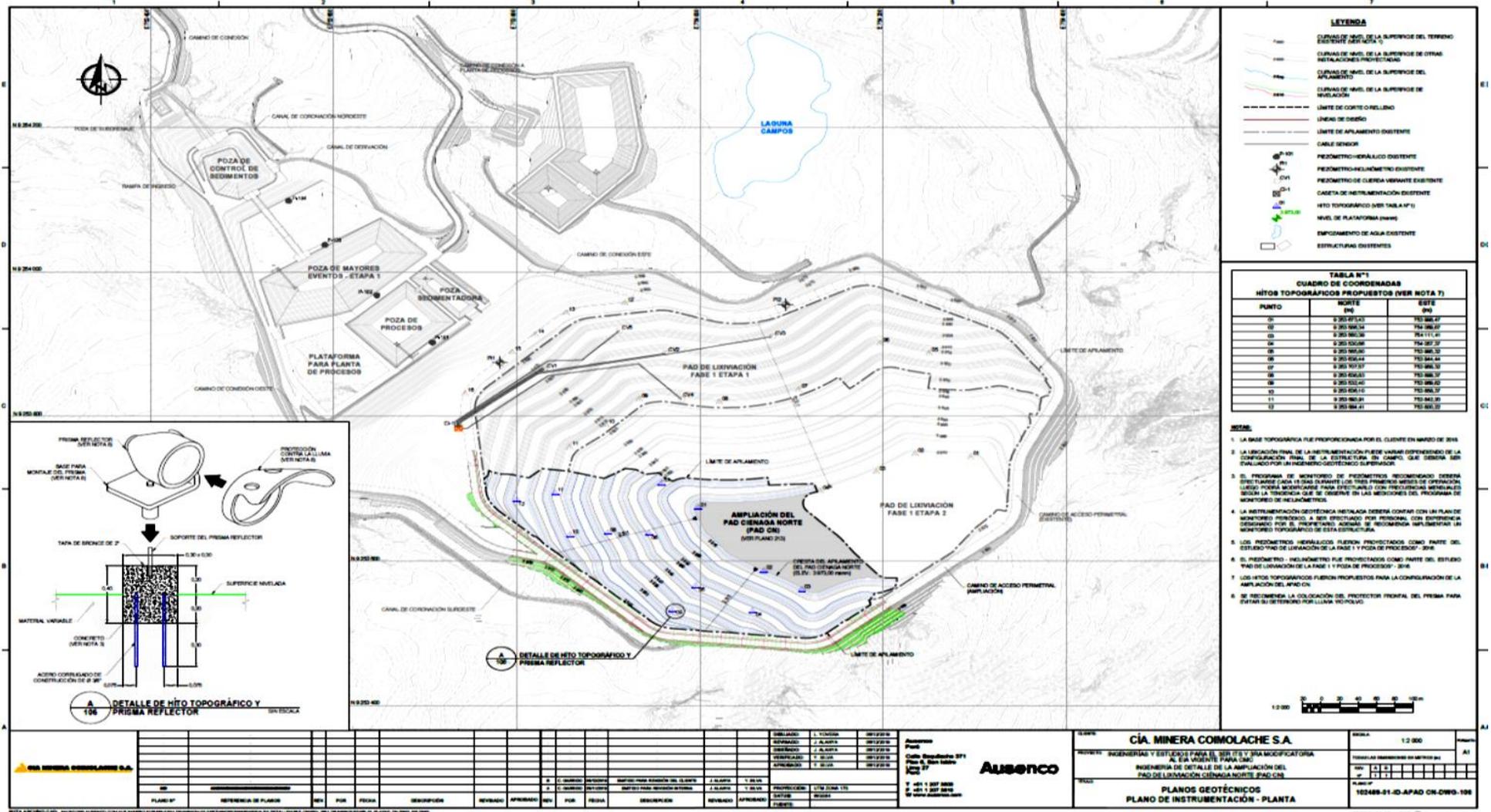
Tamayo, J. (2017). *“Criterios de diseño de un Pad de lixiviación”*, recuperado de: <https://peruconstruye.net/edicion-46/>

Sucapuca, J. (2017). *“Criterios de diseño de un Pad de lixiviación”*, recuperado de: <https://peruconstruye.net/edicion-46/>

Vargas, R. (2009). La Investigación aplicada: *una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.

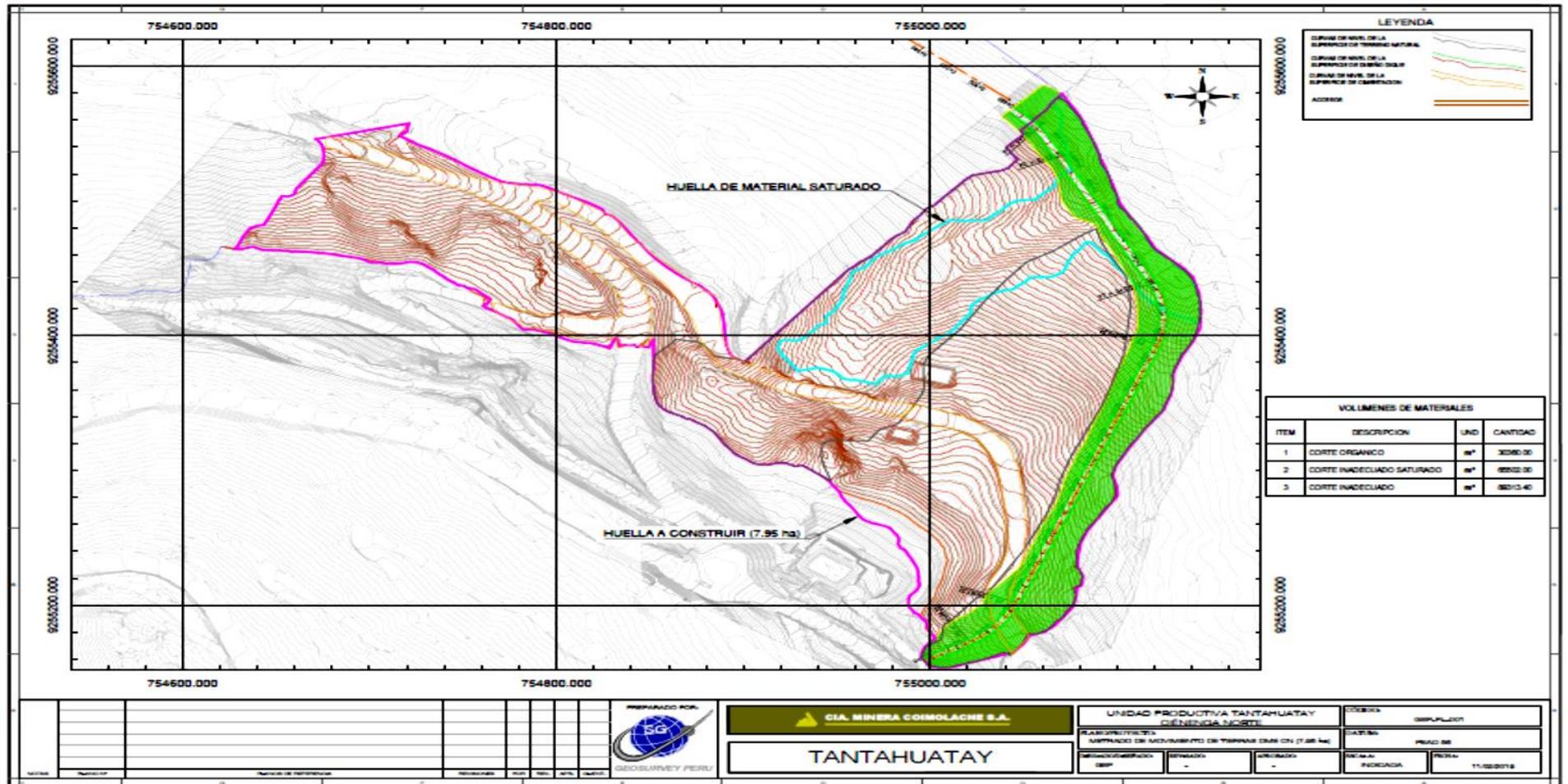
ANEXOS

ANEXO N° 01: Plano geomecánico del Pad de lixiviación



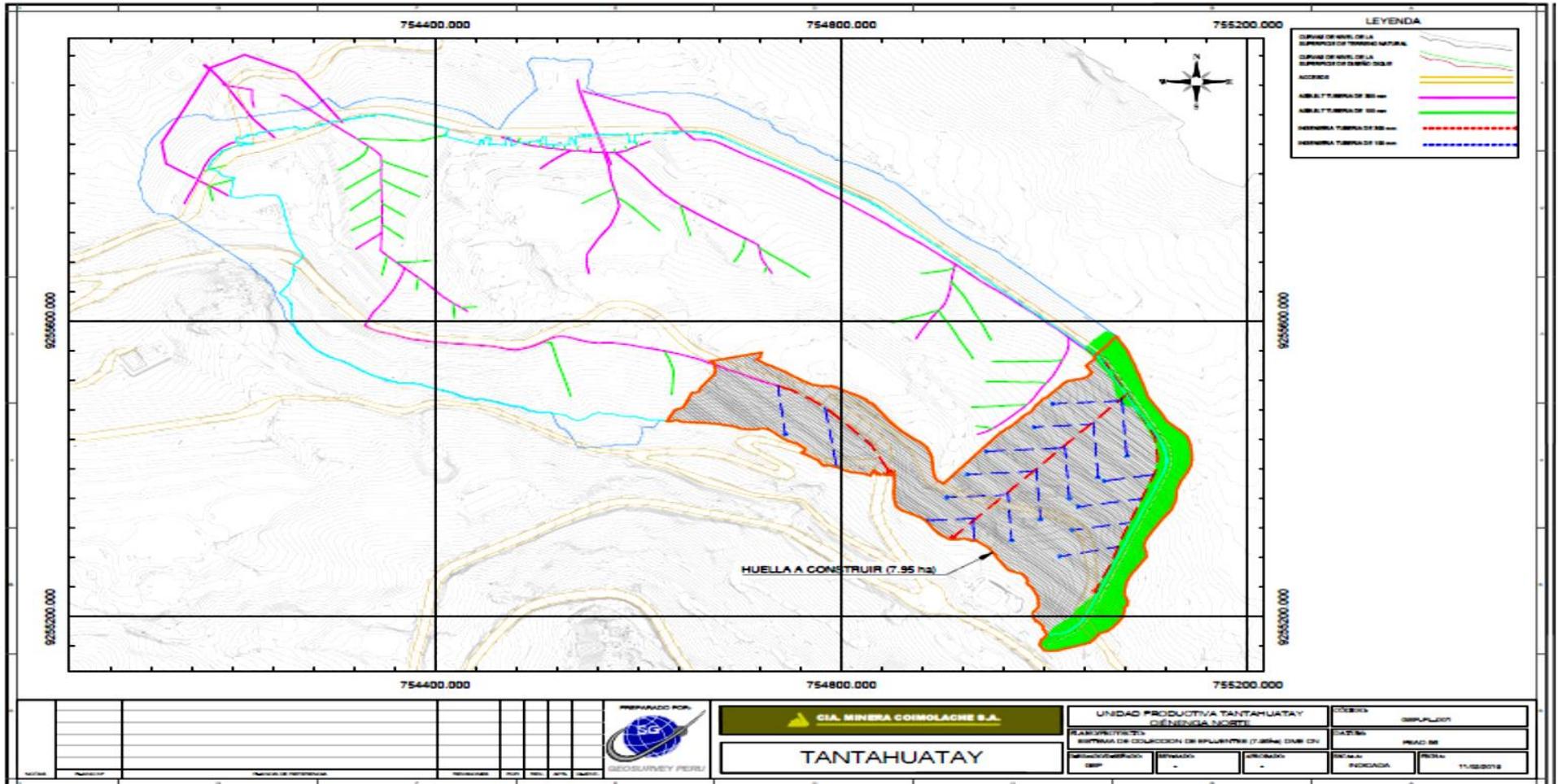
Fuente: Empresa Ausenco.

ANEXO N° 02: Plano de metrados para el movimiento de tierras



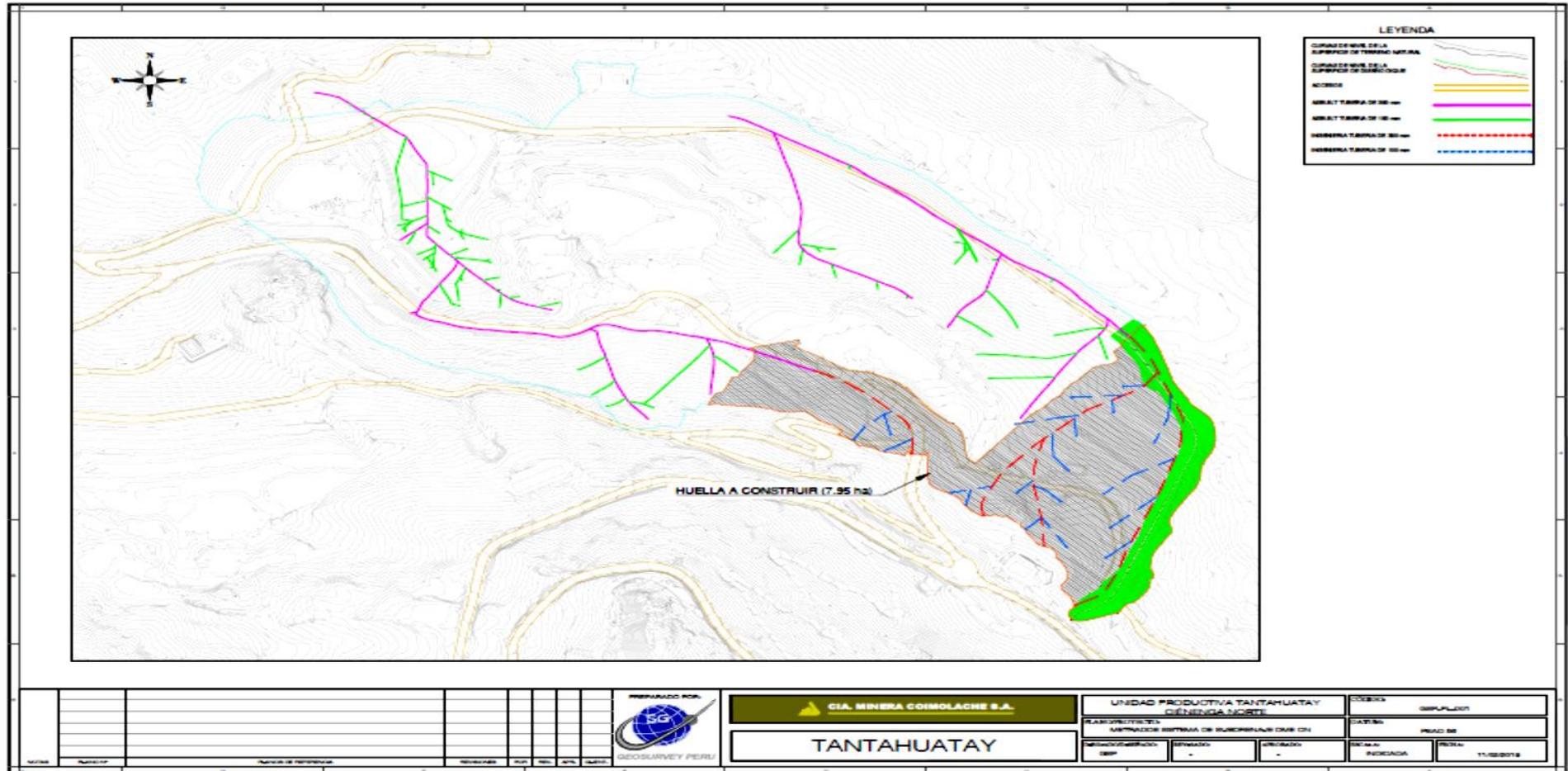
Fuente: Empresa Ausenco.

ANEXO N° 03: Plano de metrados del sistema de efluentes



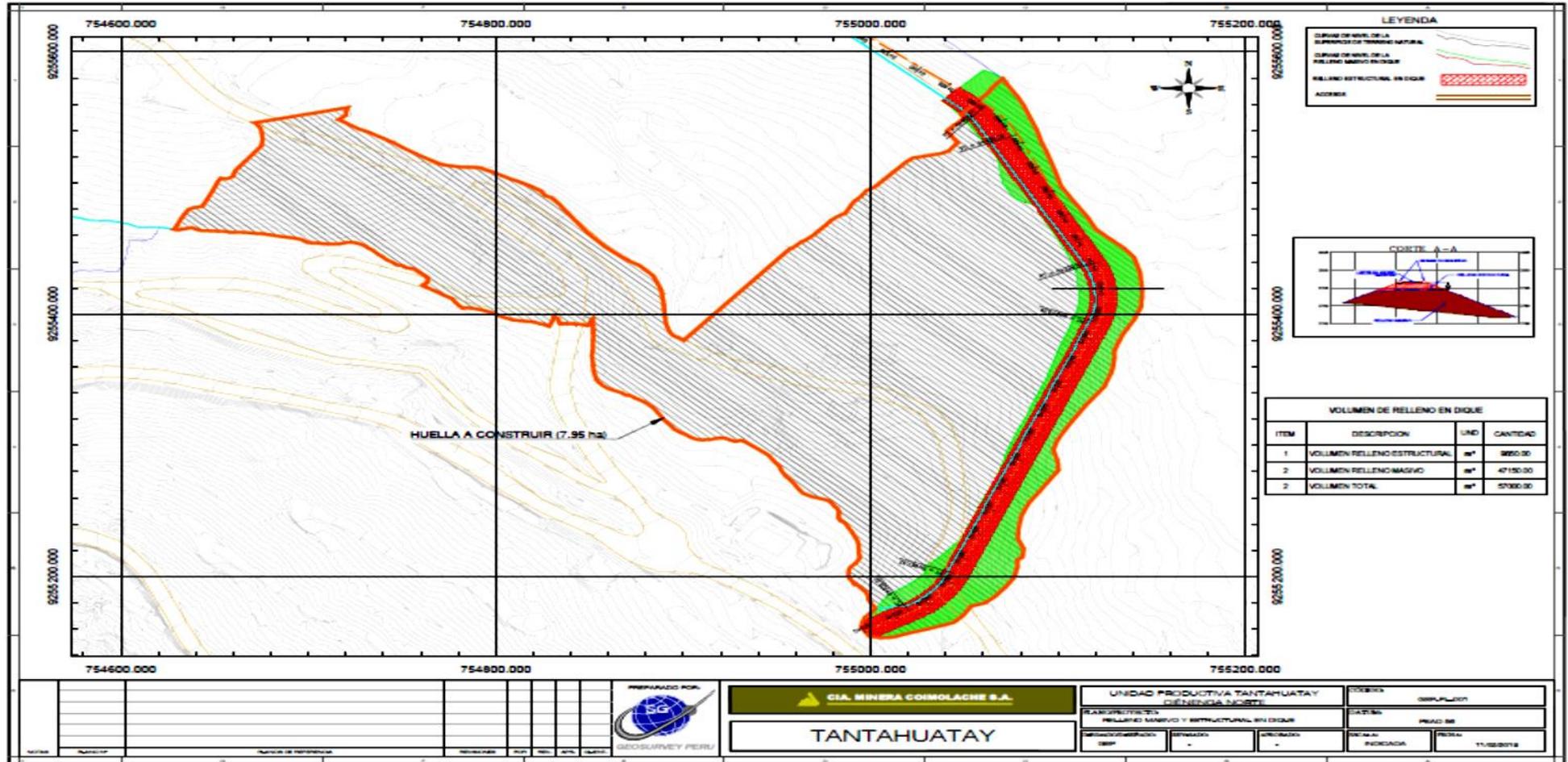
Fuente: Empresa Ausenco.

ANEXO N° 04: Plano de metrados del sub-drenaje



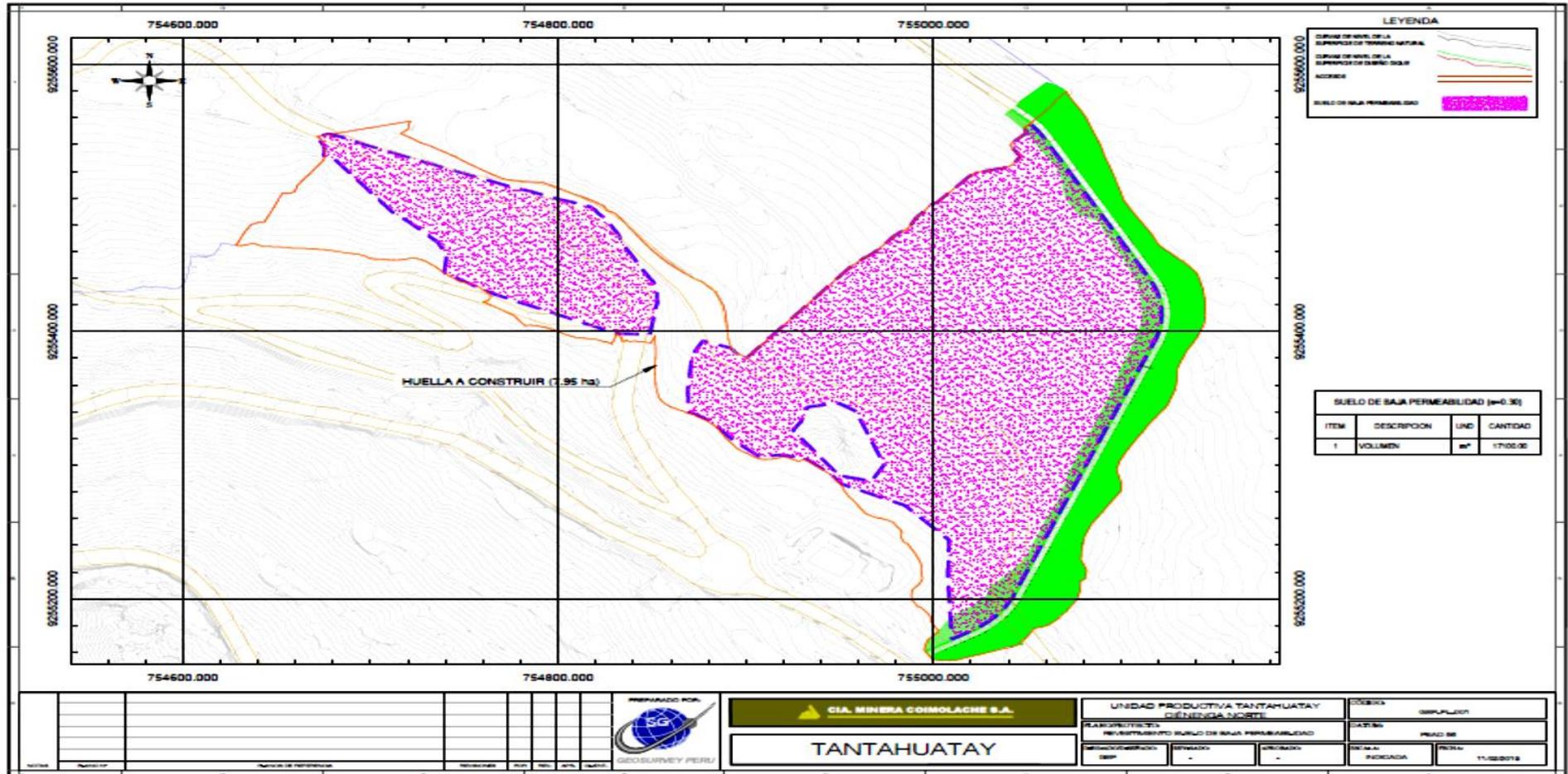
Fuente: Empresa Ausenco.

ANEXO N° 05: Plano del relleno masivo y estructural en dique



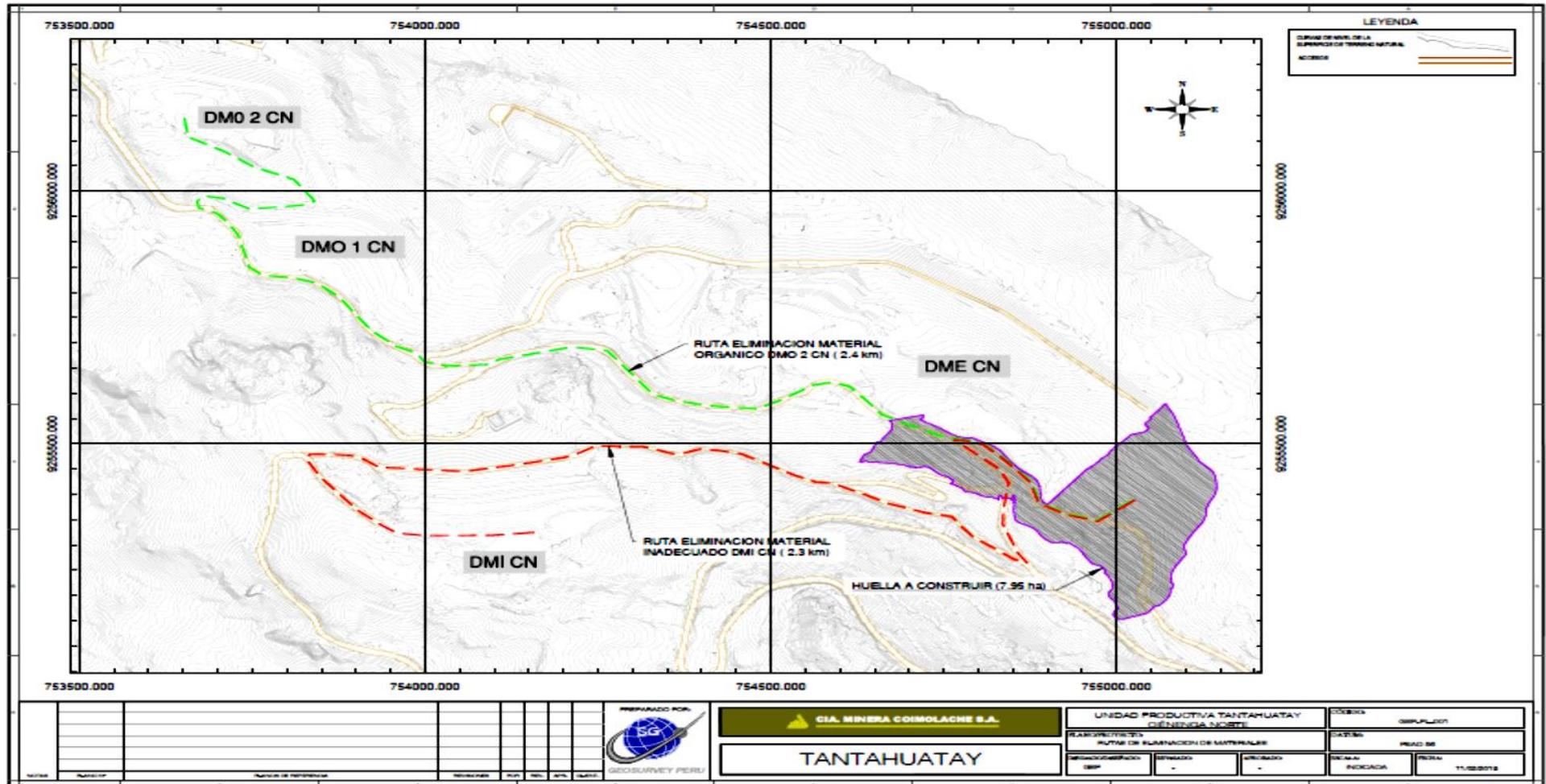
Fuente: Empresa Ausenco.

ANEXO N°06: Plano de revestimiento de suelos de baja permeabilidad



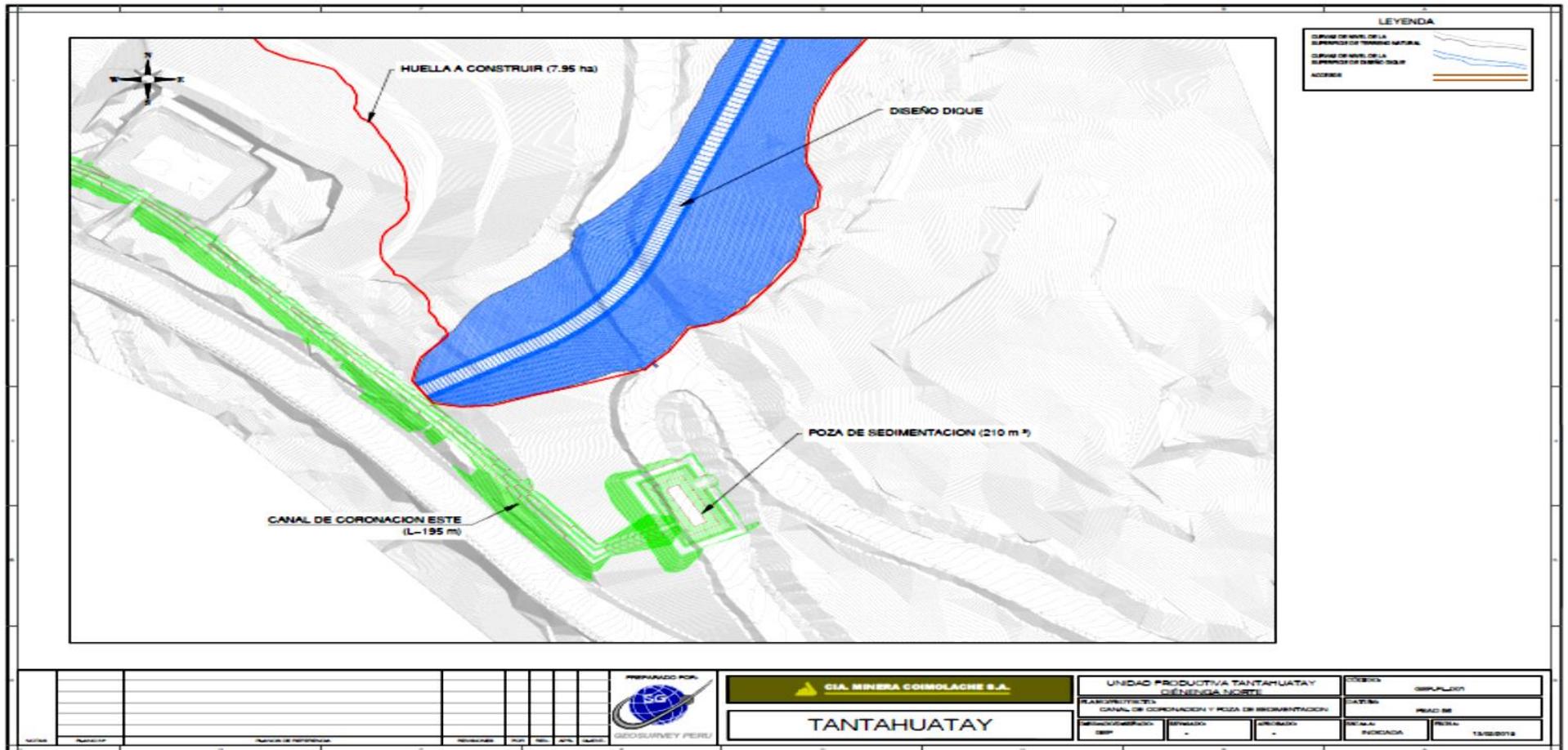
Fuente: Empresa Ausenco.

ANEXO N° 07: Plano de rutas de eliminación de materiales



Fuente: Empresa Ausenco.

ANEXO N° 08: Plano de canal de coronación Este y sedimentación



Fuente: Empresa Ausenco.

ANEXO N° 09: Registro del trabajo de campo – Calicatas

					CALICATA TP_CN14 - 101 (Página 1 de 1)	
					Sist. de coordenadas : PSAD 56 Norte : 9 254 546 Este : 753 748 Elevación (msnm) : 3 805,0 Nivel freático (m) : No encontrado Prof. calicata (m) : 2,20	
Profundidad (m)	SUCS	Gráfico	Condición de muestra	Descripción	Muestra	Comentarios
			<input type="checkbox"/> Disturbada <input type="checkbox"/> En bloque			
0				Limo orgánico, plasticidad nula, blando, húmedo, negro, estructura homogénea.		Presencia de vegetación superficial.
1	OL					
2	CL			Arcilla con grava, plasticidad media, densa, húmeda, pardo amarillento con tonos blanquecinos, estructura homogénea, presencia de gravas angulosas. Grava: 20,0% Arena: 5,0% Finos: 75,0%		Suelo residual Df = 2,20 m.
3						Rechazo a la excavación (basamento rocoso).
4						
5						
6						
7						

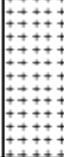
U-I-Escuela - Santiago - Universidad de Ingeniería y Tecnología - La Impulsión del Desarrollo - www.uic.edu.pe

Notas:
Df = Profundidad de fundación propuesta.

					CALICATA TP_CN14 - 103 (Página 1 de 1)	
					Sist. de coordenadas : PSAD 56 Norte : 9 254 507 Este : 753 799 Elevación (msnm) : 3 825,0 Nivel freático (m) : No encontrado Prof. calicata (m) : 2,50	
Profundidad (m)	SUCS	Gráfico	Condición de muestra		Muestra	Comentarios
			<input type="checkbox"/> Disturbada	<input type="checkbox"/> En bloque		
			Descripción		Código muestra	
0	OL		Limo orgánico, plasticidad nula, blando, húmedo, negro, estructura homogénea, presencia aislada de grava.			Suelo Orgánico
1	GC-GM		Grava arcillosa limosa, plasticidad baja a media, densa, húmeda, pardo anaranjado, estructura homogénea, gravas subangulosas, presencia aislada de bolonería en 5%. Grava: 60,0% Arena: 5,0% Finos: 35,0%			Suelo residual. Df = 1,00 m.
2	GC		Grava arcillosa con arena, plasticidad media, muy densa, húmeda, gris azulado, estructura homogénea, gravas subangulosas.			Suelo residual
3						Rechazo a la excavación (basamento rocoso).
4						
5						
6						
7						Notas: Df = Profundidad de fundación propuesta.

01-16-2015 S:\Proy\100591-0 1003 Engineering\3.16 Geotecnia\1 Campo\Calicata\100 P.ozasá\103.bor

					CALICATA TP_CN14 - 104 (Página 1 de 1)	
					Sist. de coordenadas : PSAD 56 Norte : 9 254 490 Este : 753 842 Elevación (msnm) : 3 830,0 Nivel freático (m) : No encontrado Prof. calicata (m) : 2,30	
Profundidad (m)	SUCS	Gráfico	Condición de muestra	Muestra	Código muestra	Comentarios
			<input checked="" type="checkbox"/> Disturbada <input checked="" type="checkbox"/> En bloque			
			Descripción			
0	OL		Limo orgánico, plasticidad nula, blando, húmedo, color negro, estructura homogénea.			Vegetación superficial.
1	CH		Arcilla arenosa, plasticidad alta, firme, húmeda, pardo con tonalidades blanquecinas, estructura homogénea. Grava: 5,8% Arena: 28,3% Finos: 65,9%	<input checked="" type="checkbox"/>	M - 1	Suelo coluvial.
	CL		Arcilla arenosa, plasticidad media, firme, húmeda, gris azulado a verdoso, estructura homogénea, presencia de gravas subangulosas. Grava: 9,8% Arena: 30,3% Finos: 59,9%	<input checked="" type="checkbox"/>	M - 2	Suelo residual. Df = 1,50 m.
2	Roca		Toba andesita, resistencia medianamente dura (R3), gris azulado.	<input checked="" type="checkbox"/>	M - 3	Roca alterada.
						Rechazo a la excavación (basamento rocoso).
3						
4						
5						
6						
7						
						Notas: Df = Profundidad de fundación propuesta.

				CALICATA TP_CN14 - 105 (Página 1 de 1)		
				Sist. de coordenadas : PSAD 56 Norte : 9 254 468 Este : 753 910 Elevación (msnm) : 3 835,0 Nivel freático (m) : No encontrado Prof. calicata (m) : 4,20		
Profundidad (m)	SUCS	Gráfico	Condición de muestra	Muestra	Código muestra	Comentarios
			<input type="checkbox"/> Disturbada <input type="checkbox"/> En bloque			
			Descripción			
0	OL		Limo orgánico, plasticidad nula, blando, húmedo, negro, estructura homogénea.			Suelo orgánico.
1	CL		Arcilla con grava, plasticidad media, firme a rígida, húmeda, pardo anaranjado con tonalidades blanquecinas, estructura homogénea, presencia de gravas subangulosas, bolonería y bloques aislados. Grava: 30,0% Arena: 10,0% Finos: 60,0%	<input checked="" type="checkbox"/>	M - 1	Suelo coluvial. Df = 1,50 m. Suelo residual.
2	CH		Arcilla con grava, plasticidad media, firme, húmeda, gris azulado, estructura homogénea, presencia de gravas angulosas. Grava: 20,0% Arena: 5,0% Finos: 75,0%	<input checked="" type="checkbox"/>	M - 2	
3						
4	Roca		Toba andesita, resistencia muy débil (R0.5 - R1), gris azulado.			Roca alterada.
5						Rechazo a la excavación (continúa roca alterada).
6						
7						Notas: Df = Profundidad de fundación propuesta.

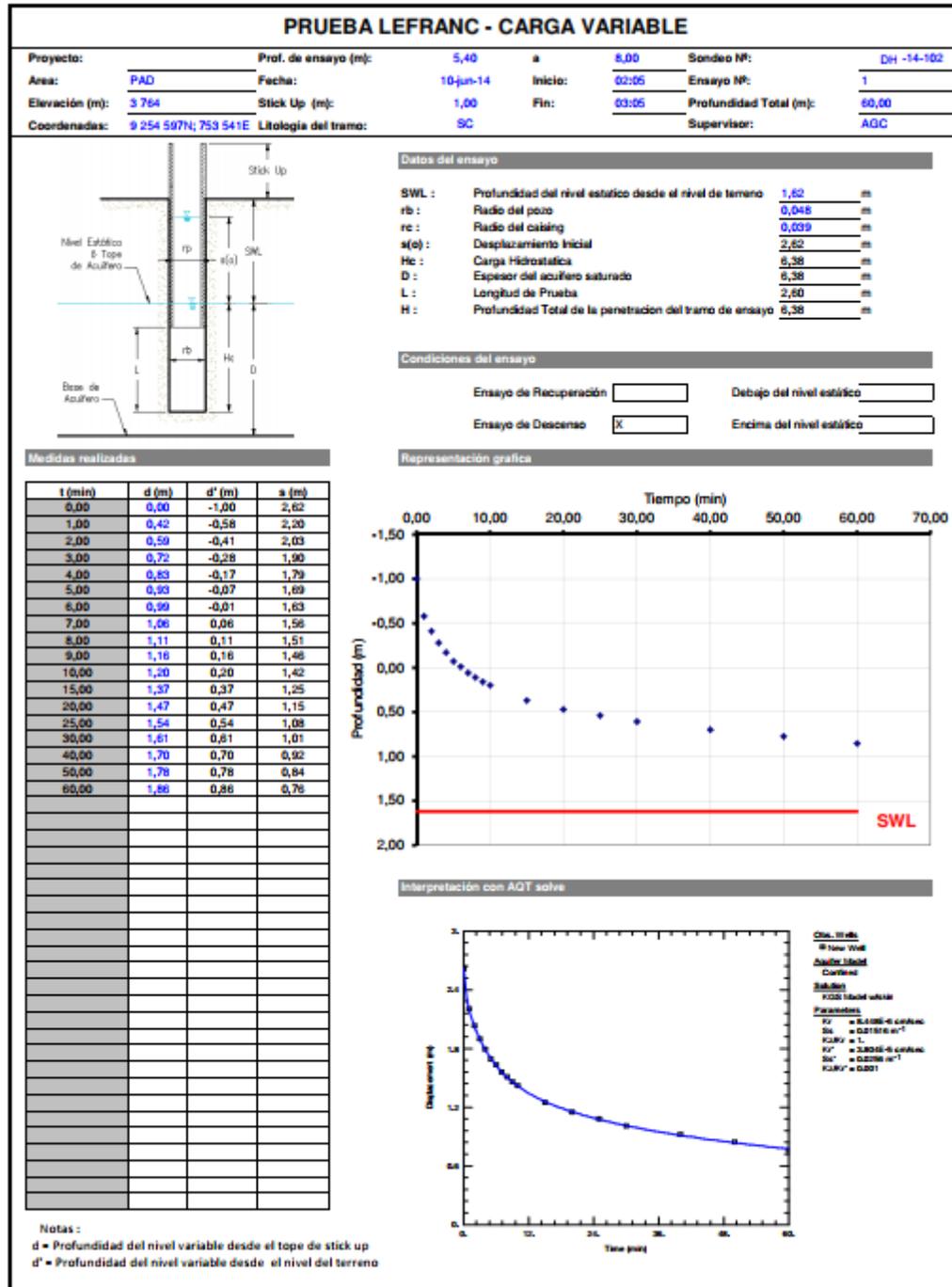
ANEXO N° 11: Evidencias de registro geomecanico de perforaciones.

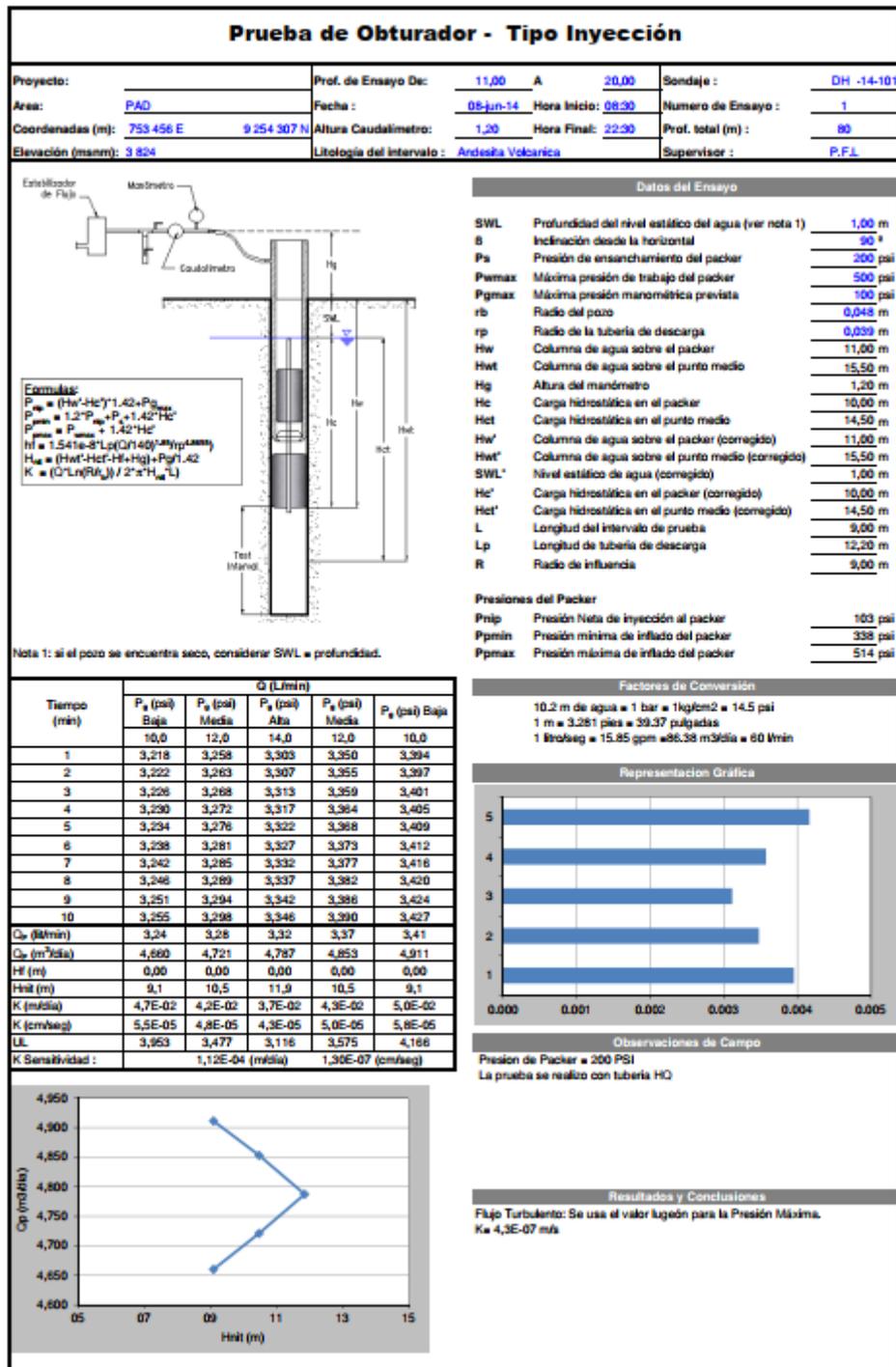
REGISTRO GEOMÉCANICO DE PERFORACIONES														
Sistema de coordenadas (UTM)										Orientación del collar		Sondaje		
sist. de coordenadas		: PSAD 56		Azimut		: -		Cía. de perforación		: DH_CN-14-101		: Gold of Drilling		
Norte		: 9 254 307		Buzamiento		: -90°		Tipo de perforación		: Diamantina		: Superficial		
Este		: 753 456		Diámetro		: HQ3		Nivel freático (m)		: Superficial		: 80,00		
Elevación (msnm)		: 3 824		Registrado por		: NQM		Prof. perforación (m)		: 80,00				
				Revisado por		: PMP/DAC								
N°	Profundidad (m)	Longitud de avance (m)	Litología	Recuperación		RQD		N° De facturas		COND. DISCONT.	Grado de fract.	Alter./ Meteor	Dureza	Comentarios
				Long. (m)	(%)	Long. (m)	(%)	JN	FREQ.					
0	0,00													
0-2	3,70	3,70	Suelo											Suelo organico / residual
3	4,90	1,20	Toba Andesítica	1,20	100	0,00	-	-	30	0	C-	C	R1	
4	5,70	0,80	Toba Andesítica	1,50	188	0,00	-	-	30	0	C-	C	R1.5	
5	7,20	1,50	Toba Andesítica	1,40	93	0,70	47	12	9	16	C+	C+	R2.5	Roca gris verdosa, muy alterada, intensamente fracturada.
6	7,90	0,70	Toba Andesítica	0,60	86	0,00	-	16	27	12	C-	C	R2	
7	8,50	0,60	Toba Andesítica	0,50	83	0,00	-	8	16	12	C-	C	R2	
8	10,00	1,50	Toba Andesítica	1,50	100	1,10	73	5	3	20	D	C+	R2.5	Roca gris verdosa, muy alterada, moderadamente fracturada a muy fracturada.
9	11,40	1,40	Toba Andesítica	1,40	100	0,85	61	4	3	18	D	C+	R2.5	
10	12,10	0,70	Toba Andesítica	0,70	100	0,20	29	8	11	20	C+	C+	R2.5	Toba andesítica, gris claro a verduzco, muy fracturada, con pequeños tramos extremadamente fracturados. Presencia de pirita.
11	13,40	1,30	Toba Andesítica	1,30	100	0,60	46	9	7	22	C+	D	R3	
12	14,90	1,50	Toba Andesítica	1,45	97	0,45	30	9	6	22	D-	D	R3	
13	15,40	0,50	Toba Andesítica	0,50	100	0,10	20	5	10	22	C+	D	R3	
14	16,00	0,60	Toba Andesítica	0,60	100	0,12	20	10	17	20	C+	D	R3	
15	17,60	1,60	Toba Andesítica	1,60	100	1,25	78	4	3	22	E-	D	R3	Toba andesítica, gris verduzco, moderadamente fracturada; entre 20.20 a 20.70 extremadamente fracturado. Presencia de pirita.
16	19,20	1,60	Toba Andesítica	1,60	100	0,80	50	7	4	22	D+	D	R3	
17	20,70	1,50	Toba Andesítica	1,50	100	0,90	60	13	9	22	D	D	R3	
18	21,90	1,20	Toba Andesítica	1,10	92	0,50	42	7	6	25	D	D	R3	
19	23,50	1,60	Toba Andesítica	1,60	100	1,30	81	5	3	25	D+	D	R3	
20	25,10	1,60	Toba Andesítica	1,60	100	1,60	100	4	3	25	E+	D	R3	
21	26,60	1,50	Toba Andesítica	1,50	100	1,45	97	3	2	25	E+	D	R3	
22	27,40	0,80	Toba Andesítica	0,80	100	0,70	88	2	3	25	E+	D	R3	
23	28,50	1,10	Toba Andesítica	1,10	100	0,80	73	3	3	25	E	D	R3	
24	29,40	0,90	Toba Andesítica	0,90	100	0,80	89	2	2	20	E+	C+	R2	
25	30,60	1,20	Toba Andesítica	1,10	92	1,00	83	2	2	20	E+	C+	R2.5	
26	32,20	1,60	Toba Andesítica	1,60	100	1,45	91	3	2	18	E	C+	R2.5	

ANEXO N° 12: Evidencia de registro de LDPT

LDPT_CN-29														
Profundidad (m)	N° GOLPES	N° Golpes Gráfico					Profundidad (m)	N° GOLPES	N° Golpes Gráfico					Comentarios
		5	10	15	20	25			5	10	15	20	25	
0.0	0						5.0	10						
0.1	1						5.1	11						
0.2	1						5.2	10						
0.3	1						5.3	8						
0.4	1						5.4	8						
0.5	1						5.5	10						
0.6	1						5.6	11						
0.7	1						5.7	11						
0.8	1						5.8	12						
0.9	1						5.9	15						
1.0	1						6.0	>25						Fin del Ensayo
1.1	2						6.1							
1.2	1						6.2							
1.3	1						6.3							
1.4	2						6.4							
1.5	1						6.5							
1.6	2						6.6							
1.7	2						6.7							
1.8	3						6.8							
1.9	3						6.9							
2.0	4						7.0							
2.1	4						7.1							
2.2	4						7.2							
2.3	4						7.3							
2.4	7						7.4							
2.5	6						7.5							
2.6	6						7.6							
2.7	6						7.7							
2.8	7						7.8							
2.9	7						7.9							
3.0	8						8.0							
3.1	9						8.1							
3.2	9						8.2							
3.3	9						8.3							
3.4	8						8.4							
3.5	8						8.5							
3.6	8						8.6							
3.7	8						8.7							
3.8	7						8.8							
3.9	9						8.9							
4.0	10						9.0							
4.1	10						9.1							
4.2	11						9.2							
4.3	11						9.3							
4.4	11						9.4							
4.5	10						9.5							
4.6	10						9.6							
4.7	8						9.7							
4.8	8						9.8							
4.9	10						9.9							
5.0	10						10.0							
Realizado por:		Preparado por:		Revisado por:		Aprobado por:								
AGC		AGC		JSG		PMP								

ANEXO N° 13: Evidencia de ensayos de permeabilidad





ANEXO N° 14: Evidencia de ensayos Geofísicos

La Foto 1 muestra una vista del equipo empleado en el presente estudio. La información de campo fue obtenida mediante el Resistivímetro con alta impedancia de entrada y rangos de lectura que van desde 1 a 3000 unidades tanto para la diferencia de potenciales en milivoltios, como para la corriente en mili-amperios. Estos datos obtenidos en cada uno de los puntos de exploración, pueden ser procesados en campo en forma preliminar y en forma definitiva en gabinete, utilizando para ello programas de cómputo que permiten obtener las resistividades del terreno.



Foto 1: Resistivímetro SYSCAL Pro empleado para la ejecución de los ensayos SEV.

A su vez, la exploración a través de los métodos de refracción y MASW/MAM fue realizada con el siguiente equipamiento:

- Un Sismógrafo Digital de 24 canales, marca Geometrics y modelo GEODE. □ Resolución 24 bit en cada geófono y alta velocidad de muestreo.
- 24 geófonos de 4.5 Hz.

- Cable de contacto entre percutor sísmico y sismógrafo (HammerSwitch).
- Computadora portátil, Lap Top Core 2 Duo con software de adquisición Seismodule Controller.
- Cable interface sismógrafo a laptop (ethernet).
- Placa metálica de 25x25 cm.
- Un cable sísmico de 24 canales con espaciamento de 10 m entre geófonos.
- Baterías y accesorios varios.

Durante los trabajos de campo se realizaron tendidos o líneas de refracción sísmica con espaciamento entre sensores o geófonos de 3 y 4 m, generándose líneas de refracción de 72 y 96 m, de longitud, dentro del área establecida. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas fue una comba de 25 lbs, lo que permitió obtener registros de ondas que mostraron la propagación de las ondas refractadas en el terreno de forma correcta.

La Foto 2 muestra una vista del sismógrafo GEODE que fue el equipo empleado en la ejecución de las líneas sísmicas del presente estudio.



Foto 2: Adquisidor de datos sísmicos compuesto por el sismógrafo GEODE.

Los valores de la resistividad están determinados más que por su composición mineralógica, por el agua que contienen, fundamentalmente por la porosidad y la salinidad del agua. Por la ubicación de los sondajes se han preparado dos perfiles eléctricos como se muestra en la Foto 3 y a continuación se describen cada una de ellas.

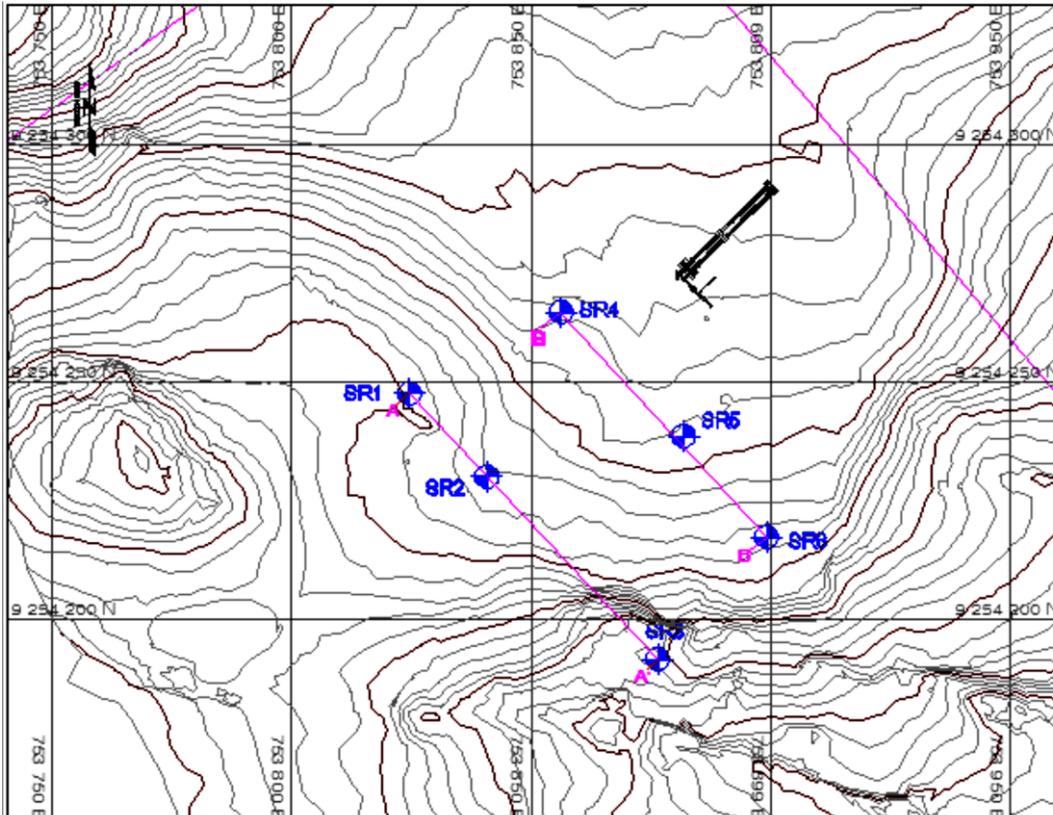


Foto 3: Ubicación de los sondajes SEV y de los perfiles geoelectricos.

SEV	Capa	Resistividad $\Omega\text{-m}$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Altitud (msnm)
SR-1	1	503	3.4	0	3854.901
	2	15	1.9	3.4	3851.501
	3	90	?	5.3	3849.601
SR-2	1	19	25	0	3852.26
	2	600	?	25	3827.26
SR-3	1	230	12	0	3865.42
	2	140	?	12	3853.42
SR-4	1	190	4.3	0	3847.76
	2	13	14	4.3	3843.46
	3	180	6	21	3826.764
	4	1050	?	27	3820.764
SR-5	1	55	5	0	3849.27
	2	15	32	5	3844.27
	3	680	?	32	3812.27
SR-6	1	62	7.1	0	3853.56
	2	240	1.1	7.1	3846.46
	3	13	?	8.2	3845.36

Foto 4: Resultados de sondajes SEV.

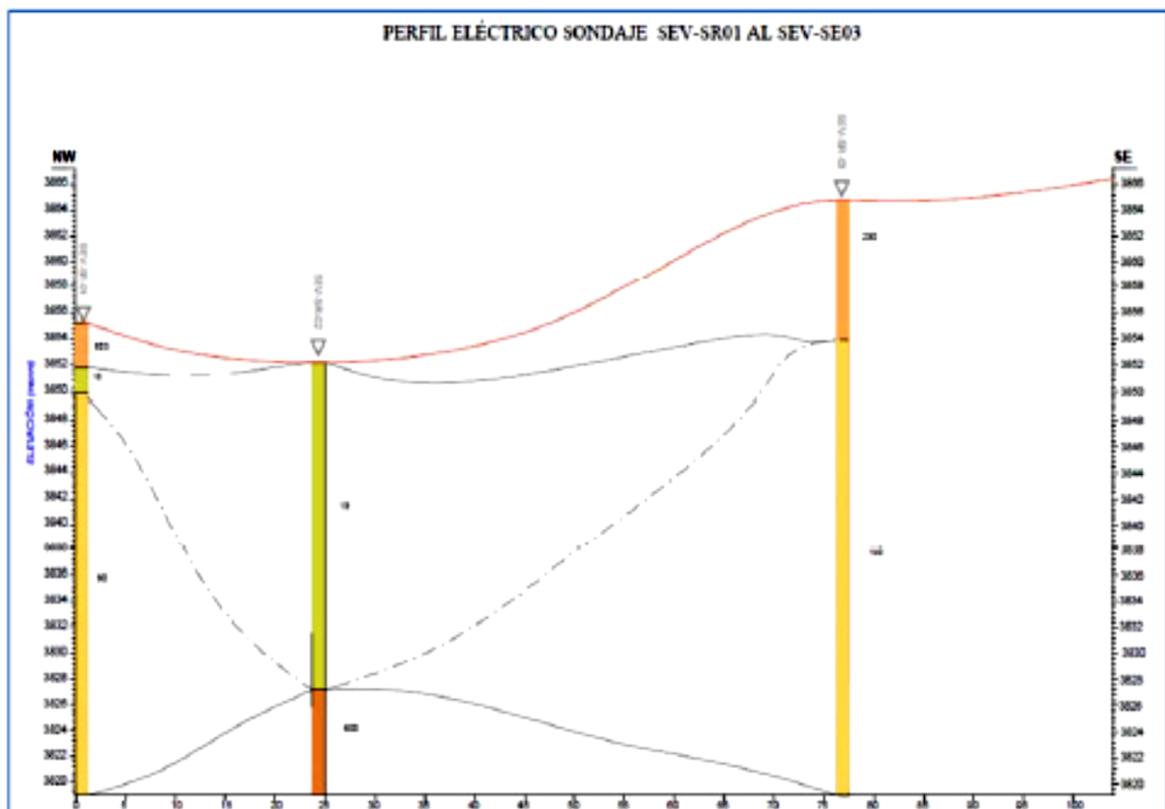
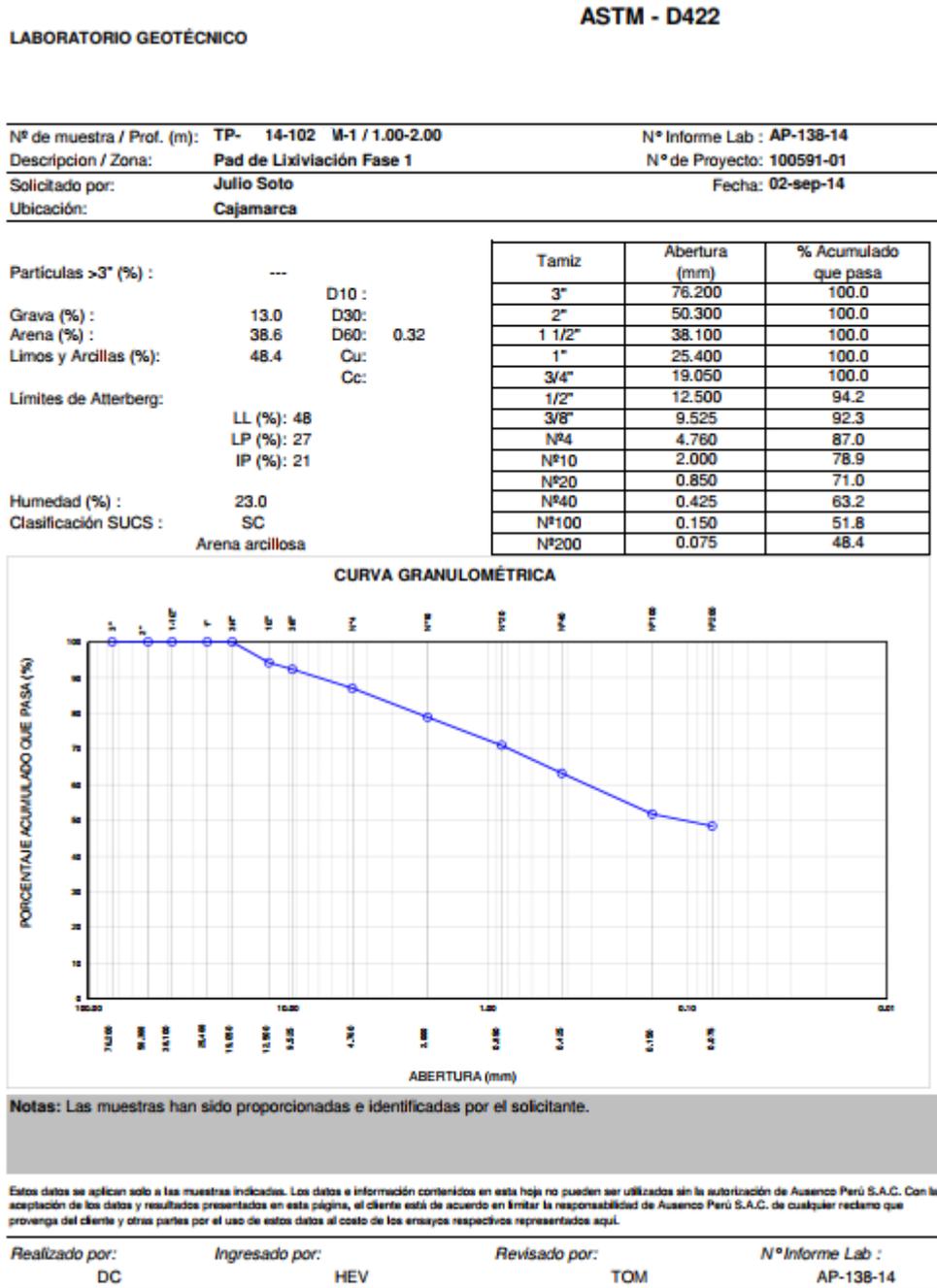


Foto 5: Perfil geoelectrico A-A' mostrando los tres primeros sondajes

ANEXO N° 15: Evidencia de análisis granulométrico por tamizado ASTM – D422



ANEXO N° 16: Evidencias de pruebas carga puntual.

N° de muestra / Prof. (m):	TP-CN14-104 / M-3 / 2.00-2.30	N° Informe de Lab :	AP-138-14
Descripción / Zona:	Pad de Lixiviación Fase 1	N° de Proyecto:	100591-01
Solicitado por:	Julio Soto	Fecha:	05-sep-14
Ubicación:	Cajamarca		

Nro	Tipo falla	W (mm)	D (mm)	Fuerza (N)	De ² (mm ²)	De (mm)	Is	F	Is(50) (MPa)	σc (MPa)	ISRM	
1	c	63.87	38.05	1,464	3,094.29	55.63	0.47	1.05	0.50	12	R2	
2	c	50.41	30.29	6,974	1,944.13	44.09	3.59	0.94	3.39	81	R4	
3	c	75.17	35.31	11,070	3,379.50	58.13	3.28	1.07	3.51	84	R4	
4	c	59.19	31.75	2,460	2,392.78	48.92	1.03	0.99	1.02	24	R2	
5	c	57.04	33.40	4,613	2,425.69	49.25	1.90	0.99	1.89	45	R3	
6	c	73.35	42.98	1,538	4,013.99	63.36	0.38	1.11	0.43	10	R2	
7	c	67.05	45.04	3,518	3,845.10	62.01	0.91	1.10	1.01	24	R2	
8	c	72.41	44.33	4,502	4,087.02	63.93	1.10	1.12	1.23	30	R3	
9	c	79.56	42.15	1,390	4,269.75	65.34	0.33	1.13	0.37	9	R2	
10	c	68.45	59.44	1,907	5,180.39	71.97	0.37	1.18	0.43	10	R2	
									Mean (MPa)	1.38	33	R3

Is(50): Índice de Carga Puntual Corregido

σc: Resistencia a la compresión No Confinada

Tipo de falla :

Resistencia ISRM	Descripción	Tipo de falla :
R0	Roca Extremadamente Frágil (blanda)	(a) Ensayo diametral válido
R1	Roca muy Frágil (Blanda)	(b) Ensayo axial válido
R2	Roca Frágil	(c) Ensayo de bloque válido
R3	Roca medianamente Resistente	(d) Ensayo diametral inválido
R4	Roca Resistente	(e) Ensayo axial inválido
R5	Roca muy Resistente	(f) Falla diametral/axial a través de una fractura curada
R6	Roca Extremadamente Resistente	

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Ausenco Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Ausenco Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

ANEXO N° 17: Pruebas de ensayo de compresión Triaxial – Laboratorio Geotécnico

Ausenco

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

7

Nombre del Proyecto:	Ingeniería de Detalle de las Instalaciones de Ciénaga Norte	
Cliente:	Compañía Minera Colmolache S.A.	
Solicitado por:	Julio Soto	Fecha: 09-sep-14
Ubicación:	Cajamarca	

Clasificación SUCS: **MH**

Estado: **Inalterado**

Etapa de consolidación		Inicial	Final
Altura (cm)		14.71	13.72
Diámetro (cm)		7.04	6.74
Humedad (%)		47.08	36.75
Densidad seca (gr/cc)		1.153	1.981

Velocidad (pulg/min)	0.01
Parámetro "B"	0.97
Presión de celda kPa	807
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	600

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_0 kPa	s_1 kPa	\bar{p} kPa	\bar{q} kPa	\bar{q}/\bar{p}	Oblicuidad (s_1/s_0)
0.00	0.00	0.00	600.00	600.00	600.00	0.00	0.00	1.00
0.05	56.00	23.44	576.56	632.56	604.56	28.00	0.05	1.10
0.10	83.34	37.23	562.77	646.11	604.44	41.67	0.07	1.15
0.20	120.54	73.77	526.23	646.77	586.50	60.27	0.10	1.23
0.35	147.90	104.80	495.20	643.10	569.15	73.95	0.13	1.30
0.50	166.76	127.55	472.45	639.21	555.83	83.38	0.15	1.35
0.75	189.33	155.82	444.18	633.51	538.84	94.66	0.18	1.43
1.00	207.59	178.57	421.43	629.01	525.22	103.79	0.20	1.49
1.25	222.93	202.02	397.98	620.91	509.45	111.46	0.22	1.56
1.50	232.54	216.50	383.50	616.05	499.78	116.27	0.23	1.61
1.75	241.74	229.60	370.40	612.14	491.27	120.87	0.25	1.65
2.00	250.28	243.38	356.62	606.89	481.75	125.14	0.26	1.70
2.50	262.23	262.00	338.00	600.23	469.12	131.12	0.28	1.78
3.00	272.72	277.17	322.83	595.55	459.19	136.36	0.30	1.84
3.50	277.69	288.20	311.80	589.49	450.64	138.84	0.31	1.89
4.00	284.26	299.23	300.77	585.02	442.90	142.13	0.32	1.95
4.50	287.53	306.13	293.87	581.41	437.64	143.77	0.33	1.98
5.00	288.75	312.33	287.67	576.42	432.04	144.37	0.33	2.00
6.00	288.17	317.85	282.15	570.32	426.23	144.08	0.34	2.02
7.00	282.32	323.36	276.64	558.96	417.80	141.16	0.34	2.02
8.00	237.24	313.02	286.98	524.22	405.60	118.62	0.29	1.83
9.00	224.58	311.64	288.36	512.94	400.65	112.29	0.28	1.78
10.00	218.75	313.02	286.98	505.73	396.35	109.38	0.28	1.76
11.00	216.21	314.40	285.60	501.81	393.70	108.10	0.27	1.76
12.00	220.79	319.23	280.77	501.57	391.17	110.40	0.28	1.79
13.00	225.54	324.05	275.95	501.49	388.72	112.77	0.29	1.82
14.00	227.34	328.19	271.81	499.15	385.48	113.67	0.29	1.84
15.00	233.90	330.26	269.74	503.65	386.69	116.95	0.30	1.87

Nota:

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante estimados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo Ligero Medio Alto Elevado

Ausenco

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nº de muestra / Prof. (m): **TP-CN14-119 / M-2 / 1.70-2.00**

Nº Informe Lab : **AP-139-14**

Descripción / Zona: **Pad de Lixiviación Fase 1**

Nº de Proyecto: **100591-01**

Clasificación SUCS: MH

Estado: Inalterado

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	14.75	14.23
Diámetro (cm)	7.03	6.82
Humedad (%)	42.69	38.96
Densidad seca (gr/cc)	1.213	1.904

Velocidad (pulg/min)	0.01
Parámetro "B"	0.97
Presión de celda kPa	507
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	300

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_s kPa	s_t kPa	\bar{p} kPa	\bar{q} kPa	\bar{q}/\bar{p}	Oblicuidad (s _t /s _s)
0.00	0.00	0.00	300.00	300.00	300.00	0.00	0.00	1.00
0.05	37.58	8.27	291.73	329.30	310.51	18.79	0.06	1.13
0.10	64.54	19.31	280.69	345.23	312.96	32.27	0.10	1.23
0.20	83.66	37.92	262.08	345.74	303.91	41.83	0.14	1.32
0.35	106.93	61.36	238.64	345.57	292.10	53.47	0.18	1.45
0.50	120.69	76.53	223.47	344.16	283.81	60.35	0.21	1.54
0.75	138.02	96.53	203.47	341.49	272.48	69.01	0.25	1.68
1.00	151.64	113.76	186.24	337.88	262.06	75.82	0.29	1.81
1.25	158.23	121.35	178.65	336.88	257.77	79.11	0.31	1.89
1.50	164.78	130.31	169.69	334.47	252.08	82.39	0.33	1.97
1.75	170.22	137.21	162.79	333.01	247.90	85.11	0.34	2.05
2.00	174.91	144.79	155.21	330.12	242.67	87.46	0.36	2.13
2.50	182.32	155.13	144.87	327.19	236.03	91.16	0.39	2.26
3.00	187.88	162.72	137.28	325.16	231.22	93.94	0.41	2.37
3.50	191.37	168.92	131.08	322.45	226.76	95.69	0.42	2.46
4.00	193.07	172.37	127.63	320.70	224.16	96.53	0.43	2.51
4.50	189.16	173.06	126.94	316.10	221.52	94.58	0.43	2.49
5.00	179.04	169.61	130.39	309.42	219.91	89.52	0.41	2.37
6.00	162.17	163.41	136.59	298.76	217.68	81.08	0.37	2.19
7.00	152.75	159.96	140.04	292.79	216.42	76.38	0.35	2.09
8.00	148.65	159.27	140.73	289.38	215.05	74.32	0.35	2.06
9.00	146.03	157.89	142.11	288.14	215.13	73.02	0.34	2.03
10.00	145.74	157.89	142.11	287.85	214.98	72.87	0.34	2.03
11.00	142.07	157.89	142.11	284.18	213.14	71.03	0.33	2.00
12.00	141.33	157.20	142.80	284.13	213.46	70.66	0.33	1.99
13.00	143.53	158.58	141.42	284.95	213.19	71.77	0.34	2.01
14.00	144.91	161.34	138.66	283.58	211.12	72.46	0.34	2.05
15.00	144.78	163.41	136.59	281.38	208.98	72.39	0.35	2.06

Nota:

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante estimados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:
DC / NC

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
TOM

Nº Informe Lab :
AP-139-14

Ausenco

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nº de muestra / Prof. (m): **TP-CN14-119 / M-2 / 1.70-2.00** Nº Informe Lab : **AP-139-14**
 Descripción / Zona: **Pad de Lixiviación Fase 1** Nº de Proyecto: **100591-01**

Clasificación SUCS: MH

Estado: Inalterado

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	14.74	14.36
Diámetro (cm)	7.01	6.88
Humedad (%)	43.34	41.64
Densidad seca (gr/cc)	1.191	1.817

Velocidad (pulg/min)	0.01
Parámetro "B"	0.97
Presión de celda (kPa)	357
Contra presión (kPa)	207
Esf. Efect. Inicial (kPa)	150

Deformación (%)	Esf. Desv. (kPa)	μ (kPa)	s_u (kPa)	s_t (kPa)	\bar{p} (kPa)	\bar{q} (kPa)	\bar{q}/\bar{p}	Oblicuidad (s_t/s_u)
0.00	0.00	0.00	150.00	150.00	150.00	0.00	0.00	1.00
0.05	19.36	8.27	141.73	161.09	151.41	9.68	0.06	1.14
0.10	35.48	16.55	133.45	168.93	151.19	17.74	0.12	1.27
0.20	48.69	28.96	121.04	169.74	145.39	24.35	0.17	1.40
0.35	62.68	43.44	106.56	169.25	137.90	31.34	0.23	1.59
0.50	70.44	51.02	98.98	169.42	134.20	35.22	0.26	1.71
0.75	80.23	62.74	87.26	167.49	127.38	40.12	0.31	1.92
1.00	88.20	71.02	78.98	167.19	123.08	44.10	0.36	2.12
1.25	93.18	76.53	73.47	166.64	120.06	46.59	0.39	2.27
1.50	96.00	80.67	69.33	165.33	117.33	48.00	0.41	2.38
1.75	99.87	83.43	66.57	166.44	116.51	49.94	0.43	2.50
2.00	102.90	86.87	63.13	166.02	114.58	51.45	0.45	2.63
2.50	105.75	88.94	61.06	166.81	113.93	52.88	0.46	2.73
3.00	107.30	90.32	59.68	166.98	113.33	53.65	0.47	2.80
3.50	108.36	86.18	63.82	172.18	118.00	54.18	0.46	2.70
4.00	108.26	91.70	58.30	166.56	112.43	54.13	0.48	2.86
4.50	108.84	91.70	58.30	167.14	112.72	54.42	0.48	2.87
5.00	108.72	91.01	58.99	167.71	113.35	54.36	0.48	2.84
6.00	108.03	90.32	59.68	167.71	113.69	54.01	0.48	2.81
7.00	106.99	89.63	60.37	167.36	113.86	53.50	0.47	2.77
8.00	105.84	89.63	60.37	166.21	113.29	52.92	0.47	2.75
9.00	105.23	89.63	60.37	165.60	112.98	52.62	0.47	2.74
10.00	103.75	90.32	59.68	163.43	111.56	51.88	0.47	2.74
11.00	103.77	90.32	59.68	163.45	111.56	51.89	0.47	2.74
12.00	103.76	90.32	59.68	163.44	111.56	51.88	0.47	2.74
13.00	103.52	90.32	59.68	163.20	111.44	51.76	0.46	2.73
14.00	103.15	90.32	59.68	162.83	111.26	51.58	0.46	2.73
15.00	103.68	91.01	58.99	162.67	110.83	51.84	0.47	2.76

Nota:

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante estimados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación: Bajo Ligero Medio Alto Elevado

Realizado por: DC / NC Ingresado por: HEV Revisado por: TOM Nº Informe Lab : AP-139-14

Ausenco

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

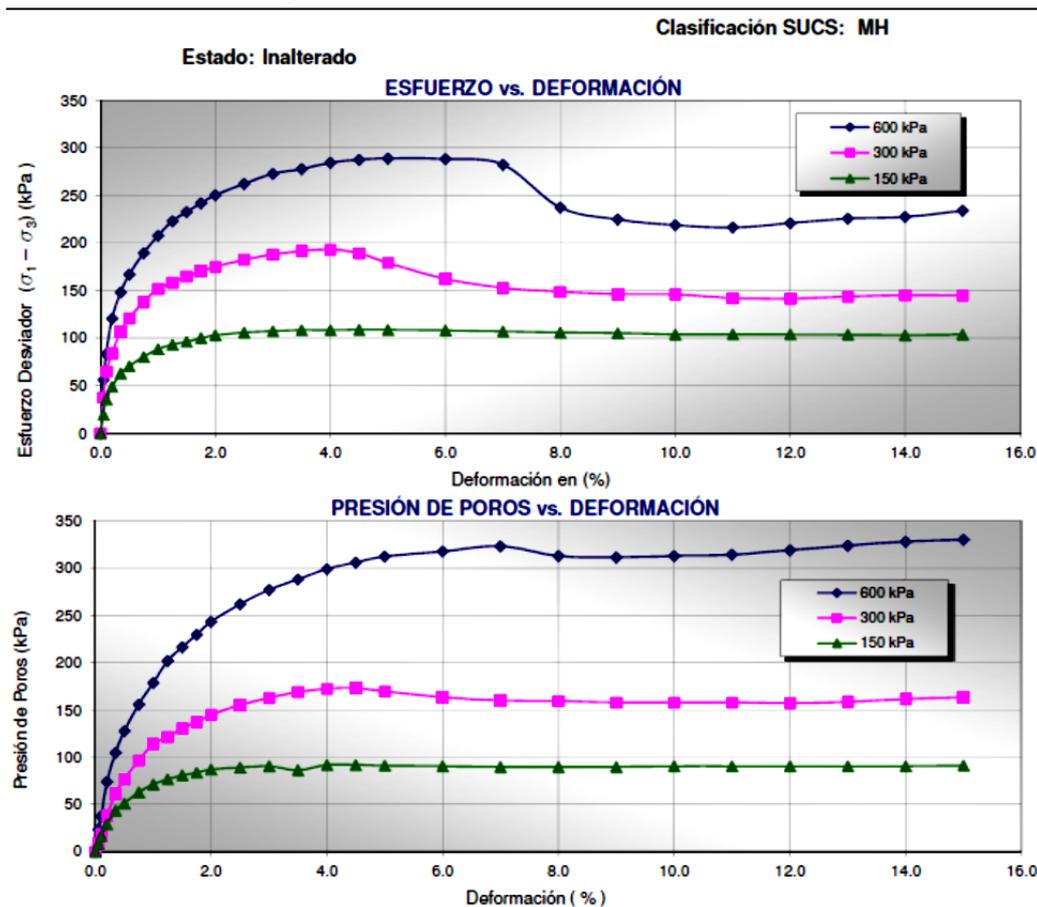
LABORATORIO GEOTÉCNICO

N° de muestra / Prof. (m): **TP-CN14-119 / M-2 / 1.70-2.00**

N° Informe Lab : **AP-139-14**

Descripcion / Zona: **Pad de Lixiviación Fase 1**

N° de Proyecto: **100591-01**



Nota:

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante estimados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:
DC / NC

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
TOM

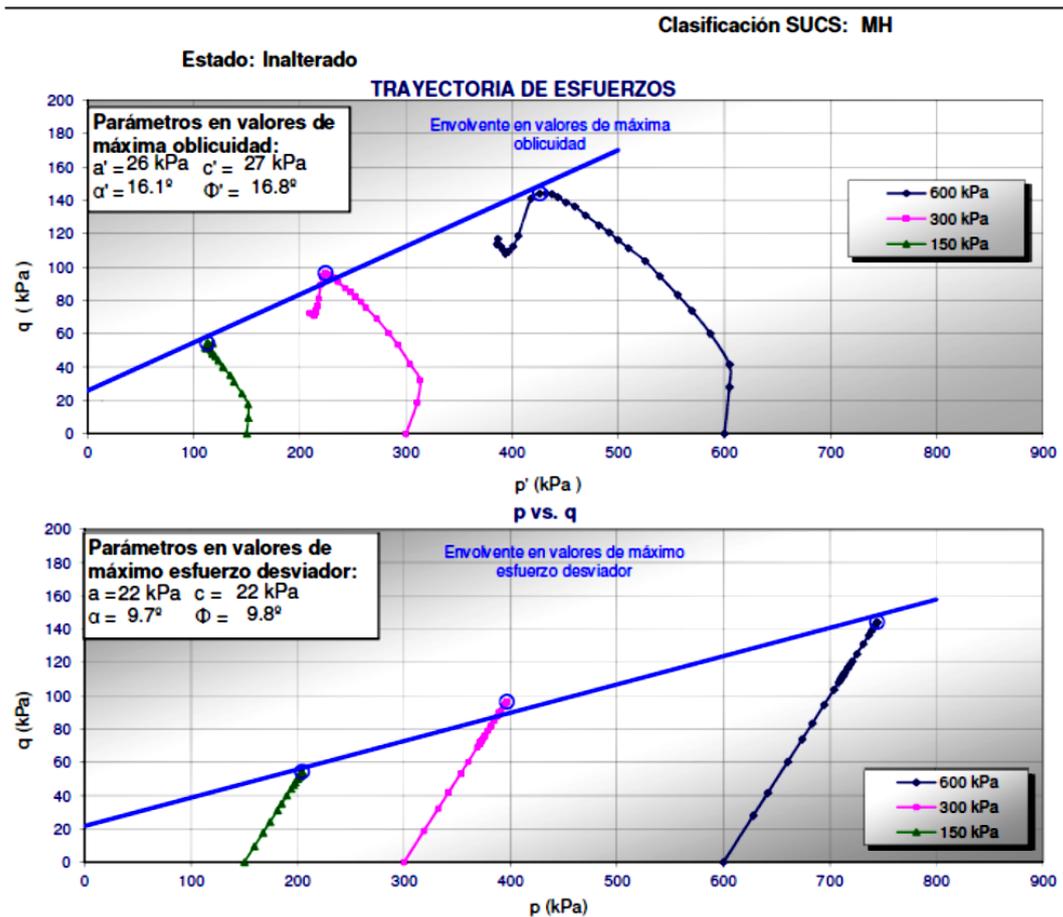
N° Informe Lab :
AP-139-14

Nº de muestra / Prof. (m): **TP-CN14-119 / M-2 / 1.70-2.00**

Nº Informe Lab : **AP-139-14**

Descripción / Zona: **Pad de Lixiviación Fase 1**

Nº de Proyecto: **100591-01**



Nota:

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante estimados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:
DC / NC

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
TOM

Nº Informe Lab :
AP-139-14

Ausenco

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

LABORATORIO GEOTÉCNICO

N° de muestra / Prof. (m): **TP-CN14-119 / M-2 / 1.70-2.00**

N° Informe Lab : **AP-139-14**

Descripcion / Zona: **Pad ded Lixiviación Fase 1**

N° de Proyecto: **100591-01**

Clasificación SUCS: **MH**

Estado: **Inalterado**
PANEL FOTOGRAFICO



Nota:

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante estimados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:
DC / NC

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
TOM

N° Informe Lab :
AP-139-14

ANEXO N° 18: Fotografías del trabajo en campo.

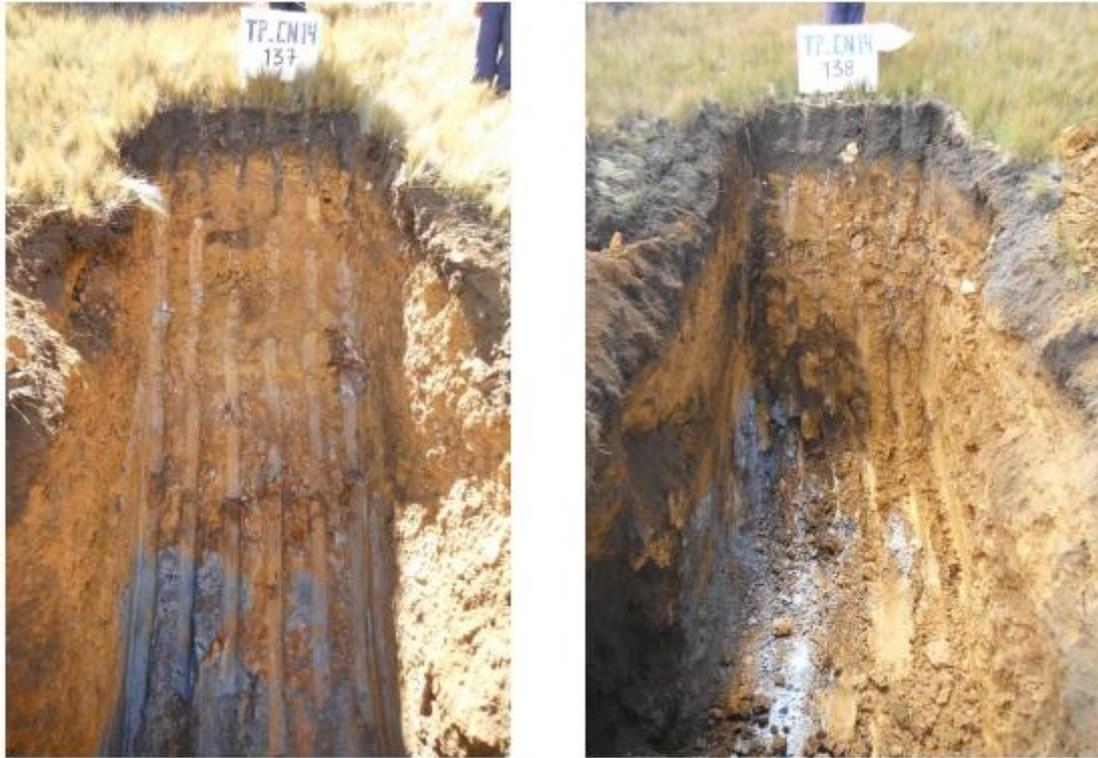


Foto N° 06: Toma de datos en campo.



Perforación geotécnica DH-14-101, caja con muestras de 0,00 a 17,50 m.