

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia

**ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN Y ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO
DE RELAVES N° 2 EN EL RECRECIMIENTO DEL AÑO
2021- UNIDAD MINERA HUANCAPETÍ- RECUAY**

TESIS

Presentada por:

Bach. Blanca Magali Quecaño Yaja

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO - GEOTÉCNICO

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia

HOJA DE JURADO

TESIS

“ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN Y ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVES N° 2 EN EL RECRECIMIENTO DEL AÑO 2021- UNIDAD MINERA HUANCAPETÍ- RECUAY”

Presentado por la bachiller Blanca Magali Quecaño Yaja
Para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo-Geotécnico

Tesis sustentada y aprobada el 12 de diciembre del 2024 (RF N°921-2024-
FIAG/UNJBG)
con el siguiente jurado:

Presidente : 
Dr. Ing. MARIO DAVID HUAMAN RODRIGO

Miembro - Secretario : 
M.Sc. Ing. GINA MACKLINA CHAMBI TAPAHUASCO

Miembro : 
M.Sc. Ing. CESAR ROMERO OSCAMAYTA

Asesor de Tesis : 
Ing. JONATHAN FARAZ DAWIS ZAVALA CURASI

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Jonathan Faraz Dawis Zavaleta Curasi en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°650-2023-FIAG/UNJBG y ampliación de plazo Resolución de Facultad N° 107-2022-FIAG/UNJBG del Trabajo de la Tesis, titulado: "ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN Y ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVES N° 2 EN EL RECRECIMIENTO DEL AÑO 2021– UNIDAD MINERA HUANCAPETI- RECUAY", Presentado por el Bachiller Blanca Magali Quecaño Yaja para optar el título profesional en Ingeniería Geológica– Geotecnia.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 10 %. Por lo que, CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis enunciado líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo - Geotécnico, según corresponda para su publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 24 de marzo del 2025



Docente Asesor de Tesis
Jonathan Faraz Dawis Zavaleta Curasi
DNI N° 45410877



Firma del autor
Blanca Magali Quecaño Yaja
DNI N° 71391550

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre Emiliana Yaja Avalos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a la casa de estudios la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Escuela de Ingeniería Geológica – Geotecnia, al Ing. César Romero, Ing. Jonathan Zavaleta, el Ing. Miguel Banda y la Ing. Gina Chambi por el soporte y calidad brindada durante mi formación, asimismo, a la empresa CIA Minera Lincuna.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
HOJA DE JURADO	ii
CERTIFICADO DE SIMILITUD	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	2
1.1. Ubicación y accesos	2
1.1.1. Ubicación	2
1.1.2. Accesibilidad.....	3
1.2. Clima y vegetación.....	3
1.3. Planteamiento del problema	3
1.4. Justificación	4
1.5. Objetivo5	
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivo específico.....	5
1.6. Hipótesis	6
1.6.1. Hipótesis general	6
1.6.2. Hipótesis específicas	6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de estudio.....	7
2.2. Fundamentos teóricos.....	9
2.2.1. Relaves.....	9
2.2.2. Depósitos de relaves	10
2.3. Métodos de construcción de presa de relaves.....	11
2.3.1. Aguas arriba.....	11
2.3.2. Aguas abajo.....	13
2.3.3. Línea central	14
2.4. Tipos de falla o rotura en depósitos de relaves.....	15
2.4.1. Deslizamiento de taludes.....	15
2.4.2. Fallas por desbordamiento – Over Topping.....	17
2.4.3. Sismo en presas	18
2.4.4. Carga sísmica	19
2.4.5. Erosión interna o tubificación	21
2.4.6. Licuefacción	22
2.5. Análisis de agua subterránea.....	22
2.5.1. Métodos de análisis de infiltración	23
2.5.2. Modelo de la línea de corriente superior (condición de entrada y salida)	26
2.5.3. Presión de poros.....	27
2.6. Estabilidad de taludes.....	28
2.6.1. Mecánica de suelos	28
2.6.2. Métodos para el cálculo de estabilidad de taludes.....	29
2.6.3. Factor de seguridad	33
2.6.4. Instrumentación geotécnica	34

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	39
3.1. Tipo de investigación	39
3.2. Método y diseño de investigación	39
3.3. Población y muestra.....	39
3.4. Procesamiento, recolección y análisis de datos.....	39
3.4.1. Etapa preliminar.....	39
3.4.2. Etapa de campo.....	40
3.4.3. Etapa de gabinete post campo	40
3.5. Técnica e instrumentos de recolección de datos	40
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA ZONA DE ESTUDIO	42
4.1. Geología local	42
4.1.1. Litoestratigrafía	45
4.2. Geomorfología	46
4.3. Geología estructural.....	47
4.4. Topografía.....	47
4.5. Caracterización geotécnica.....	48
4.5.1. Nivel piezométrico.....	54
4.5.2. Precipitación	56
4.5.3. Aceleración sísmica de diseño.....	58
4.5.4. Factores de seguridad mínimos admisibles	58
4.6. Modelo geotécnico.....	59
4.6.1. Sección de análisis	59
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
5.1. Análisis de filtraciones del depósito de relaves N° 2.....	64
5.1.1. Análisis de filtraciones sin considerar la instalación de geomembrana en el dique principal del depósito de relaves.	64

5.1.2. Análisis de filtraciones considerando la instalación de geomembrana en el dique principal del depósito de relaves	67
5.2. Análisis de estabilidad física	70
5.2.1. Análisis de estabilidad física sin considerar geomembrana	70
5.2.2. Análisis de estabilidad física considerando la instalación de geomembrana	75
5.3. Validar geometría que satisface los análisis de estabilidad físico del depósito de relaves N° 2	80
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes que emplean rebanadas verticales.....	31
Tabla 2. Coordenadas UTM WGS 84 de la zona de estudio	49
Tabla 3. Clasificación granulométrica de los materiales	52
Tabla 4. Resumen de propiedades físicas y mecánicas de los materiales.....	53
Tabla 5. Resumen de coeficiente de permeabilidad de materiales.....	53
Tabla 6. Ubicación de estaciones meteorológicas	56
Tabla 7. Precipitación media mensual de la estación Recuay año (1966-2013).....	57
Tabla 8. Resumen de aceleraciones obtenido del PSHA, Suelo tipo B ($V_s30 > 60ms, Roca$).....	58
Tabla 9. Factor de seguridad mínimo para el depósito de relaves	59
Tabla 10. Resumen de cálculo de caudales totales de las secciones A-A' y B-B' (cota 4525 m.s.n.m. – 4530 m.s.n.m.) – sin considerar geomembrana en el dique principal.....	66
Tabla 11. Resumen de cálculo de caudales totales de las secciones A-A' y B-B' (cota 4525 m.s.n.m. – 4530 m.s.n.m.) – considerando geomembrana en el dique principal.....	69
Tabla 12. Factores de seguridad de las secciones A-A' y B-B' en la etapa 1 y 2 (cota 4525 - 4530 m.s.n.m. respectivamente) – sin considerar geomembrana en el dique principal.....	74
Tabla 13. Factores de seguridad de las secciones A-A' y B-B' en la etapa 1 y 2 (cota 4525 - 4530 m.s.n.m. respectivamente) – considerando geomembrana en el dique principal.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.	2
Figura 2. Proceso de recuperación de mineral.	10
Figura 3. Presa de relaves construido con material de préstamo.	11
Figura 4. Método de aguas arriba.	12
Figura 5. Método aguas abajo.	13
Figura 6. Método línea central.	14
Figura 7. Influencia del agua freática en las condiciones de estabilidad de un talud ideal de extensión infinita.	16
Figura 8. Falla de la presa Merriespruit, ocurrida en 1994 - falla por desbordamiento.	17
Figura 9. Tubificación en el interior de una presa de materiales sueltos.	21
Figura 10. Sección de humedecimiento.	24
Figura 11. Red de flujo en una presa de tierra.	27
Figura 12. Esquema de instalación de piezómetro de casa grande.	35
Figura 13. Esquema de instalación de piezómetro de cuerda vibrante.	36
Figura 14. Desplazamientos registrados por instrumentación geotécnica.	38
Figura 15. Vista del flanco izquierdo aguas abajo del componente geotécnico, presencia de material morrénico.	42
Figura 16. Vista Sur aguas arriba del depósito, presencia de afloramiento rocoso - andesitas.	43
Figura 17. Vista del flanco derecho e izquierdo aguas abajo del depósito, presencia de material morrénico y afloramiento de rocas pertenecientes al Grupo Calipuy.	43
Figura 18. Vista de la geología local de la zona del proyecto.	44
Figura 19. Columna estratigráfica, geología del cuadrángulo Recuay.	46

Figura 20. Plano de ubicación de ensayos realizados en la zona de estudio.	49
Figura 21. Registro de niveles piezométricos del instrumento BH-01R, desde el 2020 hasta el 2021	55
Figura 22. Registro de niveles piezométricos del instrumento BH-2, desde el 2018 hasta el 2021	55
Figura 23. Sección geológica del área de estudio (A-A').	60
Figura 24. Sección geológica del área de estudio (B-B').	61
Figura 25. Filtraciones en la sección A-A', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m.	64
Figura 26. Filtraciones en la sección B-B', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m.	64
Figura 27. Filtraciones en la sección A-A', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m.	65
Figura 28. Filtraciones en la sección B-B', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m.	65
Figura 29. Filtraciones en la sección A-A', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m.	67
Figura 30. Filtraciones en la sección B-B', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m.	67
Figura 31. Filtraciones en la sección A-A', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m.	68
Figura 32. Filtraciones en la sección B-B', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m.	68
Figura 33. Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4525 m.s.n.m. (condición estática).....	70

- Figura 34.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición pseudo estática)...70
- Figura 35.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición estática).71
- Figura 36.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición pseudo estática)...71
- Figura 37.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m. (condición estática).72
- Figura 38.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m. (condición pseudo estática)...72
- Figura 39.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m. (condición estática).73
- Figura 40.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m. (condición pseudo estática)...73
- Figura 41.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición estática).75
- Figura 42.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición pseudo estática)...75
- Figura 43.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición estática).76
- Figura 44.** Factor de seguridad (F.S.) en la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición pseudo estática)..76
- Figura 45.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4530 m.s.n.m. (condición estática).....77

- Figura 46.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4530 m.s.n.m. (condición pseudo estática).....77
- Figura 47.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4530 m.s.n.m. (condición estática).....78
- Figura 48.** Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4530 m.s.n.m. (condición pseudo estática).....78

RESUMEN

En la presente investigación *Análisis de filtración y estabilidad del depósito de relaves N° 2 en el recrecimiento del año 2021 Unidad Minera Huancapetí - Recuay*, se realizaron dos secciones transversales A-A' y B-B', considerando su análisis para dos etapas de recrecimiento: la etapa 1 comprende un ancho de berma de 8 m, un borde libre de 2 m, un talud aguas abajo de 3H:1V, alcanzando una altitud de 4525 m.s.n.m. en la corona del dique; la etapa 2 consta de un ancho de berma de 10 m, un borde libre de 1,5 m, un talud aguas abajo del depósito de 3H:1V y alcanza la cota 4530 m.s.n.m.

Para el análisis de estabilidad física por el método de equilibrio límite, se utilizaron dos escenarios: el primero considera una rotura en la geomembrana del dique principal y el segundo considera el correcto revestimiento. Para el análisis de filtraciones en el cuerpo del dique, se consideró la disposición de relaves sumada a la precipitación pluvial en un régimen estacionario, por el método de elementos finitos.

En el caso 1, el análisis de filtración de la sección A-A' y B-B' presenta una superficie piezométrica que atraviesa el dique aumentando la presión de poros, con un Fs de 1,16 y 1,32 respectivamente. Para el caso 2, la superficie piezométrica no satura el dique principal, atraviesa ligeramente el contacto entre el dique de arranque y dique principal, con un Fs de 2,16 y 2,15; es así, el caso 2 es aceptable para la estabilidad física.

Palabras clave: Filtración, estabilidad de talud, equilibrio límite, presa relaves.

ABSTRACT

In the present research, "Analysis of Filtration and Stability of Tailings Dam N° 2 during the 2021 Raise at the Huancapetí Mining Unit - Recuay," two cross-sections, A-A' and B-B', were analyzed for two stages of the dam raise. Stage 1 includes an 8-meter berm width, a 2-meter freeboard, and a downstream slope of 3H:1V, reaching an elevation of 4525 meters above sea level (masl) at the crest of the dam. Stage 2 features an 8-meter berm width, a 1,5-meter freeboard, and a downstream slope of 3H:1V, reaching an elevation of 4530 meters above sea level (masl).

For the physical stability analysis using the limit equilibrium method, two scenarios were considered. The first scenario assumes a rupture in the geomembrane of the main dam, while the second scenario assumes proper lining. For the filtration analysis in the dam body, the tailings disposal and rainfall precipitation in a steady-state regime were considered using the finite element method. In the first scenario, a piezometric curve covering the dam body was obtained, while in the second scenario, the piezometric curve slightly intersects the dam body. A total of 16 stability analyses were performed.

In case 1, the seepage analysis of section A-A' and B-B' presents a piezometric surface that traverses the tailing dam, increasing the pore pressure, with a Factor of Safety (Fs) of 1,16 and 1,32, respectively. For Case 2, the piezometric surface does not saturate the main dam, but slightly goes through the contact between the starting dam and the tailings dam, with an Fs of 2,16 and 2,15, case 2 is acceptable for physical stability.

Keywords: Filtration, slope stability, limit equilibrium, tailings dam.

INTRODUCCIÓN

La explotación de minerales o el rubro de la minería representa el motor de la economía de muchos países a nivel mundial y el Estado peruano no es ajeno a este desarrollo, el cual es necesario para el crecimiento de su población y sociedad; sin embargo, no deja de ser una práctica peligrosa, debido a la generación de miles de toneladas de relaves mineros a diario; los cuales, al no ser depositados correctamente bajo un estricto control de ingeniería, causarían un impacto ambiental, entre ellos, la contaminación de ríos, quebradas, eliminación de ecosistemas, entre otros. Por eso, distintas instituciones en el Perú han implementado normas que protejan el cuidado de los ecosistemas y exigen que la minería realice el almacenamiento adecuado de los relaves mineros, siendo en su mayoría depositados en presas de relaves que cumplen especificaciones técnicas para su diseño en ingeniería antes de su construcción; así como, un monitoreo de instrumentación geotécnica durante su operación (piezómetros tubo abierto, piezómetros cuerda vibrante, inclinómetros, celdas de asentamiento, acelerógrafos, prismas de monitoreo, entre otros) y un análisis de estabilidad de taludes durante el proceso de su operación, incluso durante su proceso de cierre, se exige este tipo de control con la finalidad de eliminar cualquier probabilidad de deslizamientos.

Es así que, en este trabajo, se realiza la evaluación de filtración y análisis de la estabilidad de taludes en condiciones estáticas y pseudo estáticas, de tal forma que se contribuye con brindar recomendaciones, garantizando la buena operatividad en el proceso de ejecución.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Ubicación y accesos

1.1.1. Ubicación

La unidad minera Huancapetí de Compañía Minera Lincuna se encuentra ubicada a 22 kilómetros de Recuay en los Andes del norte del Perú, en el distrito y provincia de Recuay, en la región de Ancash. Con una elevación promedio de 4500 m.s.n.m., el área de estudio se ubica en las coordenadas 9°42' latitud Sur y 77°30' longitud Oeste (véase la figura 1).

Figura 1

Ubicación del área de estudio



Nota. Tomado de Compañía Minera Lincuna (2020).

1.1.2. Accesibilidad

El acceso al área de estudio se realiza por dos tramos por vía terrestre, se inicia desde la ciudad de Lima hacia Pativilca, recorriendo unos 203 km por la carretera panamericana Norte (carretera asfaltada). Se continúa de Pativilca hacia Recuay en unos 203 km (carretera asfaltada – afirmada).

1.2. Clima y vegetación

Según Lincuna (2021), el clima, como en la mayor parte de la región andina del Perú, se caracteriza por dos estaciones marcadas, una estación de lluvias de regular intensidad entre los meses de diciembre a marzo y otra estación de sequía relativa, durante el resto del año, es decir, predomina un clima frígido y lluvioso, precipitación pluvial anual promedio de 500 mm temperatura que varía fuertemente con la altura variando entre 20°C a - 5°C.

La vegetación varía según el clima, topografía y elevación del terreno. Sobre una altitud de 3700 m.s.n.m., la vegetación típica es de puna principalmente ichu y otros pastos naturales.

1.3. Planteamiento del problema

Chambers (2016), en la revista *The Wall Street Journal Americas* menciona que “en el mundo se registraron 226 accidentes, se proyectó que entre los años 2011 y 2020 se registrarían 11 fallas de relaves muy serias de al menos 1 millón de metros cúbicos que recorrerían más de 20 km, causando múltiples daños a su paso”.

Vega (2020), en la publicación de Osinergmin, describe que existen más de 196 depósitos de relaves en operación en el Perú; la importancia de realizar la supervisión geotécnica en la etapa constructiva y de funcionamiento, mencionando las principales

funciones del ingeniero revisor, el cual deberá analizar la seguridad de la presa identificando los principales riesgos y modos de falla.

En región de Ancash, provincia de Recuay se ubica el depósito de relaves N° 2 de la UM Huancapeti, cuyo dique principal está constituido principalmente por material de relave grueso y, actualmente, se encuentra en proceso de recrecimiento, mediante la compactación con rodillos de capas no mayores a 30 cm, con la finalidad de ampliar la capacidad de almacenamiento de relaves finos.

En la actualidad, para el control de estabilidad en el proceso operativo de recrecimiento de dicho depósito, se considera la influencia de la alta precipitación pluvial, típica de la región, y escenarios críticos, como una “posible rotura en el revestimiento de geomembrana del dique principal, aguas arriba del depósito”, es importante conocer la influencia del aumento de presión de poros en las etapas constructivas y su comportamiento frente a escenarios críticos. En consecuencia, al considerar la precipitación y el comportamiento de las filtraciones, se disminuye la probabilidad de un deslizamiento, el cual suele estar acompañado de daños graves como el impacto al ecosistema, pérdida del proceso operativo y daños materiales.

1.4. Justificación

Con el problema mencionado, se buscó analizar la filtración y estabilidad física del depósito en condiciones actuales, considerando distintas geometrías del dique en la etapa 1 y etapa 2 de recrecimiento; evaluar su comportamiento ante escenarios críticos, mediante el método de elementos finitos y equilibrio límite. Garantizando la estabilidad, vida útil de la estructura y disminuyendo en su totalidad la probabilidad de impacto del medio ambiente, ante un posible deslizamiento o falla del dique.

1.5. Objetivo

1.5.1. *Objetivo general*

Analizar las filtraciones y estabilidad física de la presa de relaves N° 2 en las etapas de recrecimiento.

1.5.2. *Objetivo específico*

- Realizar el análisis de filtración en régimen estacionario para la presa de relaves N° 2.
- Determinar factores de seguridad mediante análisis de estabilidad física del dique de la presa de relaves N° 2.
- Validar la geometría de la presa de relaves N° 2 en las etapas de recrecimiento.

1.6. Hipótesis

Para el siguiente trabajo, se plantea las siguientes hipótesis:

1.6.1. Hipótesis general

Existe inestabilidad física y de filtraciones en las etapas de recrecimiento de la presa de relaves N° 2.

1.6.2. Hipótesis específicas

- En régimen estacionario, el flujo de filtración a través de la presa de relaves es estable.
- Realizar el análisis de filtración en régimen estacionario para la presa de relaves N° 2.
- Existen factores de seguridad que no cumplen la estabilidad física, en el recrecimiento de la presa de relaves N° 2.
- La geometría de la presa de relaves N° 2 en las etapas de recrecimiento cumple con la estabilidad física.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Se han revisado investigaciones, modelos técnicos y teóricos relacionados a las filtraciones y estabilidad física, tanto en presas de relaves como presas de agua. Estas investigaciones son de origen nacional e internacional.

- Bernal (2012), en su tesis *Estabilidad sísmica en presa de relave construida por el método de eje central*, describió que, si se controla la laguna de agua clara para evitar la saturación del tramo adyacente al muro, es posible compactar dicho tramo y apoyar sobre él el prisma de crecimiento. En este caso, el análisis de estabilidad cuasi estático muestra que el factor de seguridad es mayor o igual a 1,2, haciendo completamente factible la construcción de este tipo de presa de relaves.
- Toro (2009), en su tesis *Evaluation of leaks in dams, numerical modeling of flow in saturated and unsaturated porous media*, describe un caso real de cálculo de fugas en un muro de presa de relaves. En los cálculos, se utilizaron cinco perfiles representativos. A través del análisis, se pudo determinar el impacto de las variables más relevantes en los valores de caudal. La variable más relevante corresponde a la diferencia de niveles de energía (ΔH) entre la ubicación de la laguna y el nivel del suelo aguas abajo de la presa. En segundo lugar, está el espesor de la formación superior más permeable.
- Pérez (2018), en su trabajo *Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna*, describe que la filtración a través del cuerpo de la presa y el subsuelo es mínima. Esto se debe

a la menor permeabilidad del núcleo y la primera capa de la cimentación. Por este motivo, la única mejora considerada para la cimentación fue la creación de pozos de drenaje aguas abajo para filtrar posibles fugas debajo de la capa impermeable. Si no se aplicase, la estabilidad a largo plazo de la infraestructura puede verse comprometida, lo que provocará fallas desde el nivel de aguas inferior hasta el nivel superior.

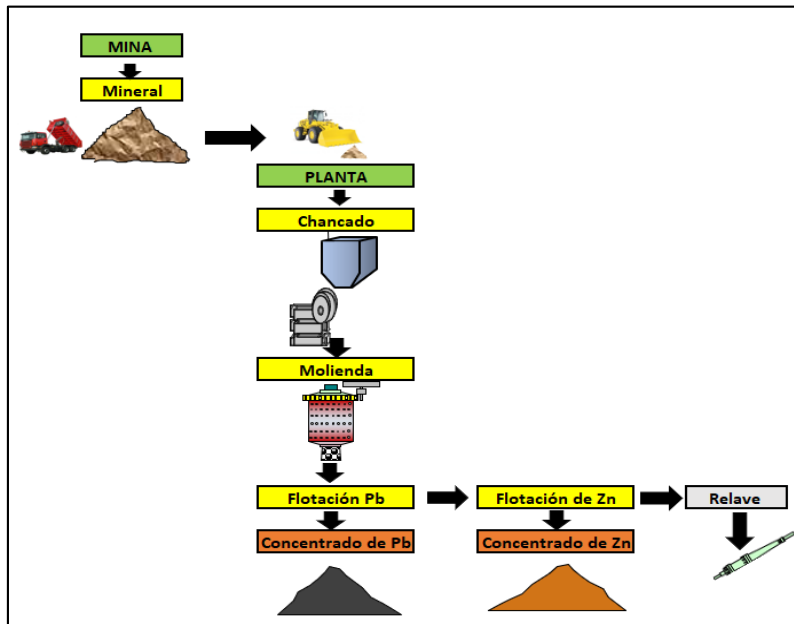
- Alagón (2018), en su artículo *Análisis del flujo de filtraciones para la estabilidad física del deslizamiento en el cerro Tumbay Orcco - Lucre - Cusco, 2018*, describe el objetivo de aplicar el método indicado en la propuesta para el cálculo de precipitaciones y caudales de diseño en la Norma Técnica OS.060. (2014) sobre Drenaje pluvial urbano, donde se aplicó un enfoque cuantitativo obteniendo de registros pluviógrafos del Senamhi y luego aplicó el método racional e hidrograma unitario para encontrar los gastos de diseño. Los resultados son curvas de intensidad-duración-frecuencia, así como caudales de diseño.
- Cavalcanti y Quintana (2020), en la tesis *Análisis de filtraciones y estabilidad física de la presa Vizcachas - en dos fases de ejecución*, describen los parámetros geotécnicos utilizados para el análisis de estabilidad y filtraciones con base en estudios de datos obtenidos previamente y en estudios obtenidos in situ durante la construcción. El esquema de análisis de falla propuesto refleja el comportamiento del flujo en la cimentación y cuerpo de la presa y permite evaluar correctamente las medidas tomadas para reducir la saturación del cuerpo de la presa, por lo que se hace necesario implementar la instalación de cortinas de drenaje en la cimentación y organismo para mitigar línea de saturación en la presa vizcachas.

- Arroyo y Gents (2020), en su artículo *La falla de la presa de relaves de Brumadinho*, menciona que la gran mayoría de relaves son constituidos por limos o arenas limosas, depositadas mediante descarga hidráulica. Esto les da unas características de baja compacidad y elevada saturación que los hacen propensos a licuación. En particular, la licuación estática de los relaves, en la que la acción sísmica no es dominante, se ha identificado repetidas veces como uno de los factores clave en algunas de las fallas más catastróficas y conocidas.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Relaves

Alcides (2016) menciona que el objetivo del proceso de chancado y molienda, que sigue a la extracción del mineral tiene como objetivo reducir el diámetro del mineral y eliminar los residuos mineros, produciendo un material sólido relativamente fino conocido como relave. El proceso finaliza cuando el residuo (en este caso, el relave) se coloca en una presa para su almacenamiento (el depósito de relaves). Del proceso en mención solo una fracción menor al 1 % de los grandes volúmenes del material rocoso extraído del yacimiento que se empleó, corresponde al mineral valioso, el resto es considerado desecho minero o relave.

Figura 2*Proceso de recuperación de mineral*

Nota. Tomado de Minera Lincuna (2021). Flujograma de procesamiento de la recuperación del mineral.

2.2.2. Depósitos de relaves

Ancold (2012) menciona que el depósito de relaves es un terraplén o estructura que se erige para contener los residuos mineros (relaves) y/o regentar el agua asociada con el almacenaje de relaves, e incluye el contenido de la estructura.

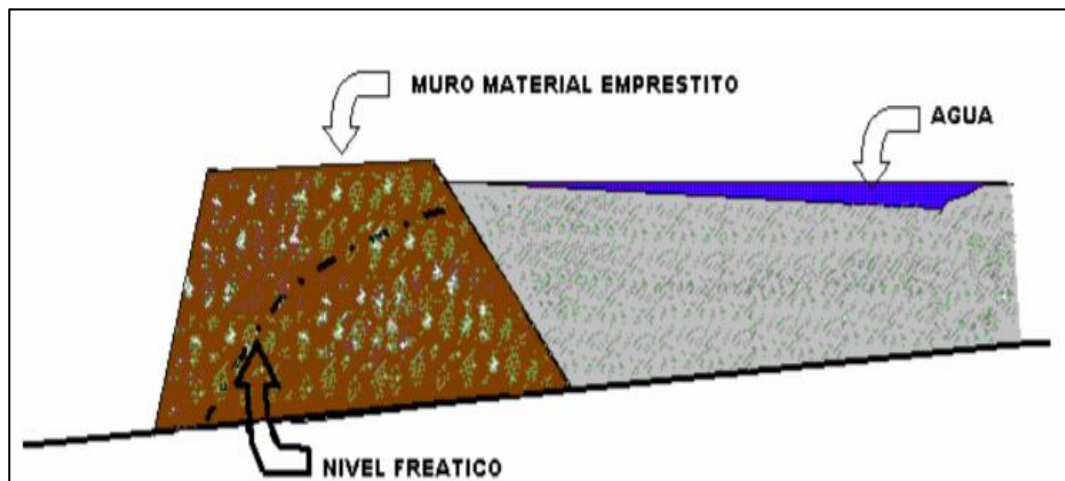
Ramírez (2007) refiere que existen variadas y diferentes formas de disposición de relaves, que, a disposición de diferentes factores como la cercanía a la planta concentradora, topografía del lugar, capacidad de almacenamiento del vaso de relaves, geomorfología, producción del yacimiento, se deberá hacer una selección de la forma más apropiada para la disposición (véase figura 3).

Ramírez (2007) menciona que los diferentes tipos de depósitos de relaves que se contemplan actualmente e indicados en el “*Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de depósitos de relaves*”, son los siguientes:

- Presas de relaves.
- Embalses de relaves.
- Depósito de relaves espesados.
- Depósito de relaves filtrados.
- Depósito de relaves en pasta.

Figura 3

Presas de relaves construido con material de préstamo



Nota. Tomado de Ramírez (2007).

2.3. Métodos de construcción de presa de relaves

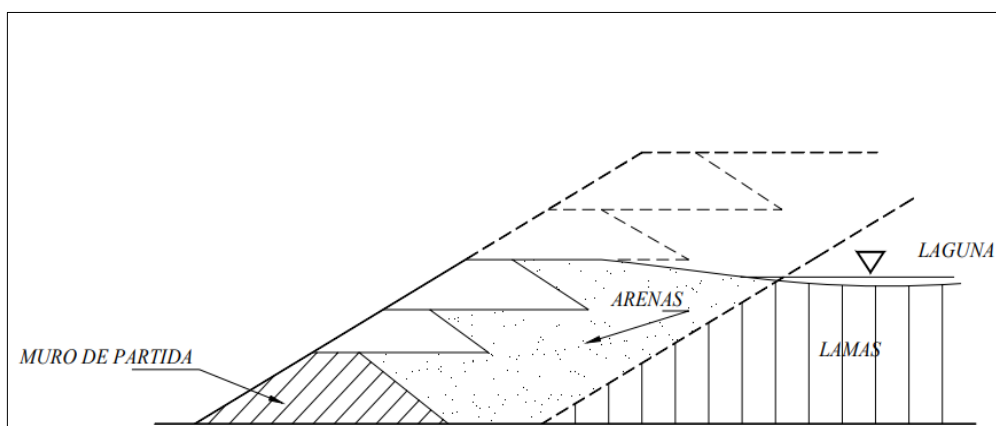
2.3.1. Aguas arriba

Ramírez (2007), en la *Guía técnico de operación y control de depósito de relaves*, describe el método aguas arriba como un dique inicial (starter dam) formado por un suelo compactado por capas, sobre el cual se inicia la deposición del relave, se utilizan

clasificadores para su construcción (hidrociclones); obteniendo dos tipos de material, la fractura más gruesa o arena es transportada por la corriente inferior del hidrociclón (underflow) y es depositada junto al dique inicial, mientras que la fractura más fina o lama, es transportada por la corriente superior del hidrociclón (overflow) y depositada en el centro del depósito de relaves en un punto alejado del dique inicial, una vez el depósito se encuentre próximo a llenarse o culminada la deposición de la presa de relaves se continua con una nueva construcción denominada “recrecimiento” logrando alcanzar alturas de hasta más de 25 metros. Este método de construcción “aguas arriba” es el que utiliza menos arenas de relaves, siendo los más utilizados en la pequeña minería por el costo constructivo, existen numerosas construcciones en el mundo, siendo las estructuras menos resistentes ante posibles oscilaciones sísmicas, en la actualidad no está contemplado aprobar este tipo de construcciones en los depósitos de relaves (Ver figura 4).

Figura 4

Método de aguas arriba



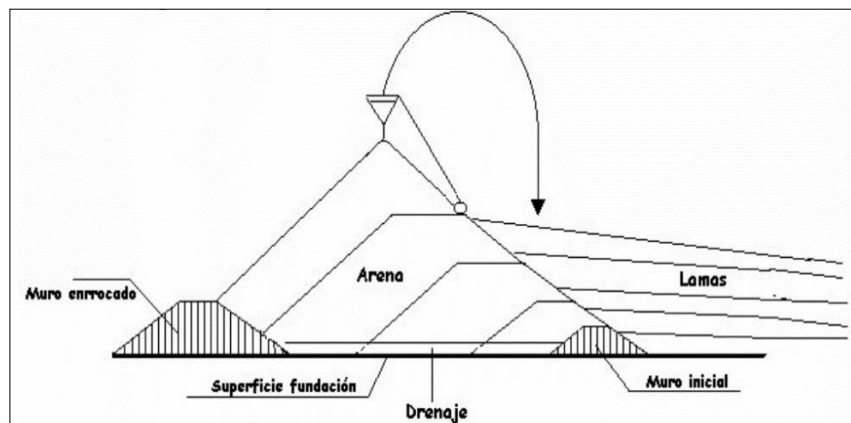
Nota. Tomado de Ramírez (2007).

2.3.2. Aguas abajo

Ramírez (2007), en la *Guía técnico de operación y control de depósito de relaves*, describe el método aguas abajo, cuando el proceso de construcción comienza con un dique inicial de material compactado por capas, donde la arena gruesa se desplaza detrás del dique (aguas abajo) y las arenas finas (lamas) se depositan aguas arriba del dique. El muro se levanta después de haber peraltado lo suficiente, a menudo de 2 a 4 metros, momento en el cual los hidrociclones se mueven a una mayor elevación aguas abajo del dique y comienza una nueva fase de descarga de arena y peraltado del muro. A veces también se dispone un segundo dique (muro enrocado) aguas abajo (ver figura 5). De acuerdo con el manto del talud del dique inicial, se pueden disponer las arenas en capas inclinadas para el recrecimiento. Este método de construcción denominado “aguas abajo” requiere de gran volumen de arenas gruesas, permite obtener estructuras más robustas desde la perspectiva de la resistencia sísmica.

Figura 5

Método aguas abajo



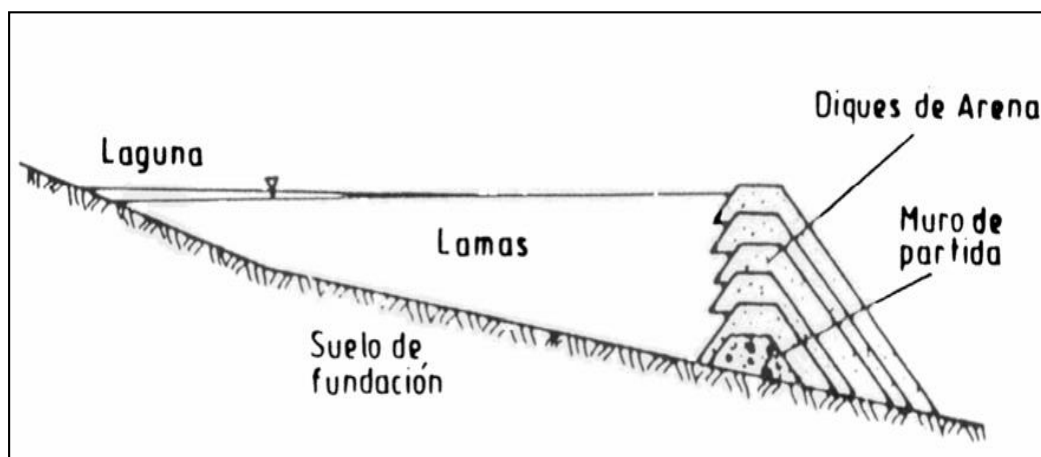
Nota. Tomado de Ramírez (2007).

2.3.3. Línea central

Ramírez (2007) menciona que el método línea central o eje central inicia al igual que los otros métodos con la construcción de un dique de partida de material de préstamo compactado por capas, sobre la cual se colocan arenas gruesas cicloneadas hacia el lado de aguas abajo del dique y las arenas finas (lamas) hacia el lado de aguas arriba del dique. Subsecuentemente al finalizar el vaciado de arenas en el dique inicial, con el mismo diseño vertical de la berma de coronación, se eleva la línea de arenas cicloneadas (gruesas y finas), esto permite construir un muro de arena con un eje que mantiene su plano vertical, con un talud de aguas arriba vertical y cuyo talud de aguas abajo puede tener la inclinación adecuada según el diseño. Este método constructivo requiere disponer de un volumen de arena intermedio entre los dos métodos mencionados anteriormente, y desarrolla diques suficientemente estables.

Figura 6

Método línea central



Nota. Tomado de Ramírez (2007)

2.4. Tipos de falla o rotura en depósitos de relaves

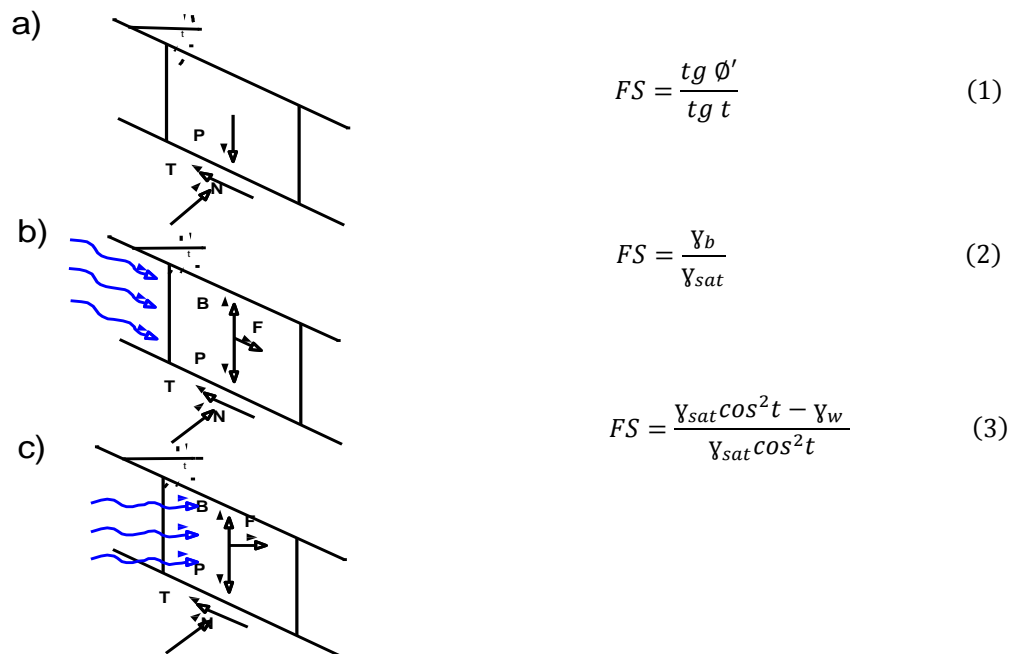
2.4.1. *Deslizamiento de taludes*

Rodríguez y García (2006) señalan que el deslizamiento de taludes se origina al exceder los esfuerzos de corte en una superficie sobre el bloque de suelo o macizo rocoso. Los factores que desencadenan el inicio de un deslizamiento pueden ser de diferente naturaleza, en particular para las presas de relaves, existen dos situaciones que comúnmente la desencadenan:

- 1) La elevación de la superficie freática y su proximidad al talud del dique de relaves.
- 2) El aumento de presión de poros durante el trabajo constructivo de recrecimiento (periodo de tiempo excesivo que impide que las presiones de poros se disipen), o por el paso de maquinaria pesada sobre el dique.

Figura 7

Influencia del agua freática en las condiciones de estabilidad de un talud ideal de extensión infinita



Nota. Tomado de Rodríguez y García (2006).

De la figura 7, se tiene:

a) Sin flujo, seco.

b) Con flujo paralelo al talud.

c) Con un flujo horizontal (P = peso total del elemento suelo, B = fuerza de flotación, F = fuerza de filtración, N y T = fuerza normal y tangencial, respectivamente, sobre la superficie de deslizamiento). El ángulo de fricción efectivo está representado por ϕ' , la densidad específica del suelo por γ_b , la densidad saturada del agua por γ_w , la densidad de partículas sólidas por $\bar{\sigma}_s$ y el

índice de poros por e , i = ángulo de inclinación del talud con respecto a la horizontal; FS es el factor de seguridad.

2.4.2. Fallas por desbordamiento – Over Topping

Mogollón (1996), en el *Análisis de riesgo de fallas en presas*, menciona que la falla por desbordamiento, tubificación, erosión interna, se origina por la disminución de la capacidad del vertedero (estimación inapropiada de máxima avenidas), debido a evaluaciones deficientes y manejo inadecuado en la operación del depósito de relaves.

Figura 8

Falla de la presa Merriespruit, ocurrida en 1994 - falla por desbordamiento



Nota. Tomado de Rodríguez y García (2006).

La calidad hidrológica de una presa de relaves está condicionada por el hecho de que, por la proteger el medio ambiente, el agua que es depositada en su interior por el proceso de recuperación del mineral o aguas que ingresan de manera indirecta en la presa

de relaves, no pueden ser vertidas de manera directa al medio ambiente por la contaminación que esto significaría. Asimismo, si el depósito es de tipo anular el único aporte de agua que puede recibir es el de las precipitaciones pluviales, producto de lluvias, que caen en el área de deposición, algunas estructuras cuentan con canales de captación denominados canales perimetrales o de coronación, los cuales evitan que las aguas de escorrentía superficiales ingresen directamente a la presa de relaves (Rodríguez y García, 2006, p. 232).

El riesgo de desbordamiento puede iniciarse por una inadecuada operación en el manejo de aguas dentro de la presa de relaves, la obstrucción de tuberías es un problema que también puede desencadenar este evento (Rodríguez y García, 2006, p. 233).

2.4.3. Sismo en presas

La influencia que los sismos tienen sobre las presas es uno de los temas más importantes a considerar, ya que pueden provocar fallas por ondas sísmicas o el fenómeno de licuefacción del suelo. Si se comprende primero cómo estos materiales tienden a reducir el volumen de porosidad cuando se someten a deformaciones de corte cíclicas, entonces es posible comprender el fenómeno de la licuefacción granular (más que plástica). Cuando el material se encuentra en condición saturada, existen cambios de volumen para poder expulsar el agua de los poros. El flujo de agua recorre el material de acuerdo con la permeabilidad misma, cuando la permeabilidad es baja y el sistema de drenaje se encuentra a una distancia grande, las cargas sobre el material se manifiestan, aumentando la presión de poros por efecto del agua. Este efecto disminuye la resistencia cortante entre las partículas, es así que el material falla, mediante un comportamiento similar a un fluido viscoso de alta densidad (Oyola, 2006, p. 2).

2.4.4. Carga sísmica

En el año 1920, se realizaba un análisis mediante un encuadre pseudo estadístico, en los que los efectos de un evento sísmico se representan como aceleraciones horizontales o verticales continuas. Según esta información, Terzaghi es el primero en explicar claramente el enfoque del análisis de estabilidad pseudo estático de taludes sísmicos. El análisis pseudo estático interpreta las fuerzas (F_h y F_v) como producto del peso del bloque de falla (W) y un coeficiente sísmico (K_h y K_v). Dichas fuerzas inerciales actúan en el suelo inestable (denominado centro de gravedad). De esta manera, si comparamos la línea interfaz que existe en el suelo que falla y el cuerpo del talud, observaremos que las fuerzas normales y cortantes que se desarrollan en la superficie de falla se estiman con la sumatoria de la descomposición de fuerzas que existan sobre dicho plano. Este método es empleado en la gran cantidad de métodos de evaluación de estabilidad de taludes (Kramer, 1996, p.434).

2.4.4.1. Estimación de riesgo sísmico.

a) Método probabilístico. Tavera (2014), en su publicación *Evaluación del peligro sísmico en Perú*, señala que la teoría establece que la peligrosidad sísmica corresponde a la probabilidad de que un terremoto de cierta magnitud produzca una aceleración igual o mayor que un valor determinado en un punto específico durante un período de tiempo determinado. Considerando que la ocurrencia de sismos sigue la distribución de Poisson.

b) Coeficiente sísmico horizontal. Los coeficientes utilizados varían dependiendo del criterio y experiencia del diseñador, ya que no existen normas estándar en el Perú que definan el análisis de los coeficientes pseudo estáticos, que deben utilizarse en los análisis de estabilidad. El presente estudio, comentando desde esta premisa,

establece un estándar que es ampliamente aceptado en la comunidad científica para expresiones como las de Saragoni, Hynes y Franklin (Tavera, 2019, p. 48).

c) Hynes y franklin (1984). Cuando se utilizan métodos de análisis pseudo estático para el diseño de estructuras y taludes, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. aconseja utilizar un coeficiente sísmico horizontal igual al 50 % de la aceleración máxima del terreno PGA (Tavera, 2019, p. 48).

$$k = 0,50 * \frac{a_{max}}{g} \quad (4)$$

La recomendación del USACE se basa en el uso del método Newmark, que utiliza más de 350 registros de datos sísmicos para determinar los desplazamientos del terreno permanentes. El uso del método llevó a la conclusión de que las estructuras examinadas por este método no experimentan deformaciones mayores a 1 metro, que es un valor arbitrario que puede ser tolerado y no representa un riesgo para la estructura.

d) Saragoni (1993).

$$k = 0,30 * \frac{a_{max}}{g}; \quad \text{si } a_{max} < 6.6 \frac{m}{s^2} \text{ ó } 0,67 g \quad (5)$$

$$k = 0,22 * \left(\frac{a_{max}}{g}\right)^{\frac{1}{3}}; \quad \text{si } a_{max} \geq 6.6 \frac{m}{s^2} \text{ ó } 0,67 g \quad (6)$$

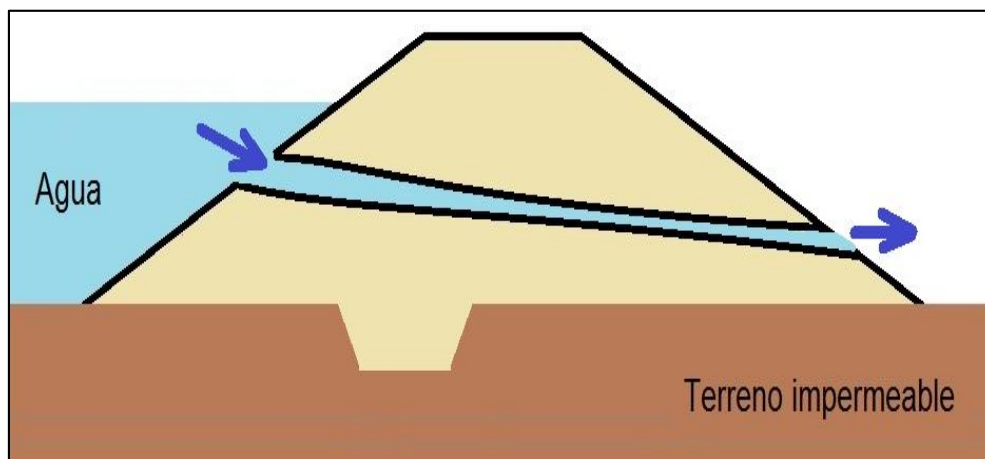
Donde a_{max} representa la aceleración pico del terreno (PGA), g corresponde a la aceleración de la gravedad $\frac{9,81m}{s^2}$ (Tavera, 2019, p. 48).

2.4.5. Erosión interna o tubificación

De acuerdo con el tamaño de la partícula y el tamaño de espacios, además del gradiente hidráulico, una partícula se desplaza por acción del agua entre los espacios del suelo (véase figura 9). El flujo produce espacio tubular al dispersar las partículas a lo largo de los caminos de la corriente a través de la superficie del terreno. Otro efecto del suelo por ser heterogéneo: cuando el flujo en un punto determinado alcanza una velocidad mayor, se produce un primer arrastre de partículas. La formación de un flujo turbulento provoca un aumento del gradiente hidráulico y una progresión de la erosión. Este fenómeno es más común en materiales dispersables. Se utilizan filtros de gradiente o incluso geotextiles, para evitar arrastres, y se toman medidas para disminuir el gradiente hidráulico (Yepes, 2020).

Figura 9

Tubificación en el interior de una presa de materiales sueltos



Nota. Tomado de Yepes (2020).

2.4.6. Licuefacción

La pérdida de resistencia al corte del material, provocada por un aumento de la presión de los poros, podría interpretarse como licuefacción. Los suelos que exhiben una tendencia a la contracción de volumen bajo cizallamiento, como las arenas, este fenómeno puede ser desencadenado por sismos o aumentos en la saturación por el agua. La mayoría de los desechos mineros consisten en materiales granulados o muy finos no plásticos que, cuando se eliminan hidráulicamente, tienen la tendencia de producir capas de material de densidad relativamente baja que están muy saturados y propensos a la licuefacción cuando se aplican cargas no drenadas (Maturano, 2019, p. 1815).

2.5. Análisis de agua subterránea

Flores (2003) refiere que la presencia de agua en el suelo es un factor que afecta la estabilidad de taludes y los efectos sobre los taludes del flujo del agua pueden ser:

- a) La erosión interna (tubificación) es causada debido a la eliminación de partículas del suelo, lo que puede hacer que se originen conductos de agua que se expanden rápidamente, originando que se den condiciones para una falla.
- b) Una mayor presión del agua conduce a disminuir los esfuerzos efectivos y, como resultado, disminuye la resistencia al corte del suelo.
- c) Incremento de las fuerzas del flujo que, combinadas con la fuerza de gravedad, pueden lograr que el factor de seguridad disminuya significativamente hasta el punto en que se produzca un colapso o falla.

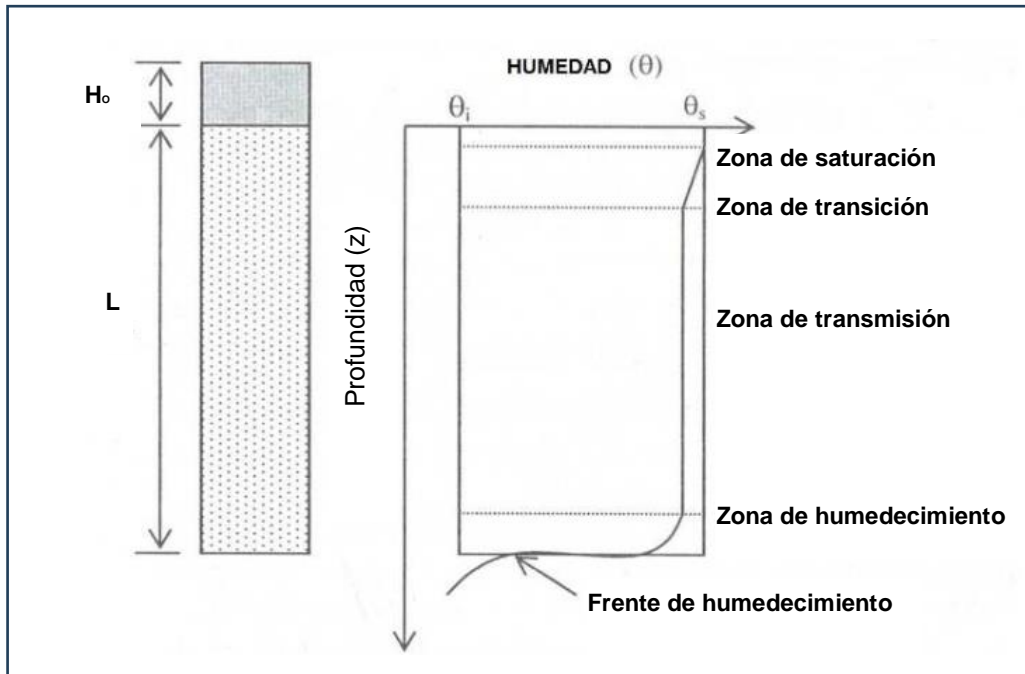
Como se mencionó anteriormente, se resalta la importancia de evaluar las filtraciones, caracterizar con precisión los materiales que conforman la estructura interna en una presa de relaves.

2.5.1. Métodos de análisis de infiltración

Torres (2020) refiere que el análisis de infiltración en el terreno se deberá evaluar en un plano (eje x,y), y su comportamiento en la vertical, considerando el sentido de flujo, de acuerdo a la escala del modelo propuesto, considerando la carga hidráulica de operación. La caracterización del terreno, y obtención de los parámetros geotécnicos e hidráulicos, en cada material que lo compone, podría ser obtenida a partir de excavaciones o calicatas. La precipitación pluvial y evapotranspiración no son consideradas a menudo en los análisis de infiltración. Los análisis de infiltración se podrían desarrollar por dos métodos, el analítico y método numérico utilizando programa.

- Proceso de infiltración

El agua infiltra el terreno, por la diferencia que existe entre las cargas hidráulicas, las capas superiores del terreno van humedeciéndose y modificando el contenido de agua, saturándolo. En la figura 10 se puede apreciar la distribución natural del agua, en una sección del terreno sometido a una carga hidráulica. En esta sección se puede ver las zonas de saturación, transición, transmisión y humedecimiento. (Torres, 2020, p. 29)

Figura 10*Sección de humedecimiento*

Nota. Tomado de Brandão et al., (2010).

θ_i corresponde a la humedad volumétrica inicial del suelo, θ_s corresponde a la humedad volumétrica de saturación de suelo y H_0 corresponde a la carga hidráulica superficial.

Si se conoce la humedad inicial del terreno, la infiltración acumulada I , que es el volumen de agua infiltrada en el suelo por una unidad de área, sería:

$$I = \int_0^z (\theta - \theta_i) dz \quad (7)$$

En la ecuación 7, z corresponde a la distancia en la dirección del flujo, θ corresponde a la humedad volumétrica a lo largo de la profundidad z , y θ_i corresponde a la humedad volumétrica presente en el perfil de suelo antes del inicio de la infiltración.

El movimiento del agua en un suelo no saturado puede describirse mediante la ecuación de Darcy, y puede expresarse de la siguiente forma:

$$q = -k(\theta) \frac{\partial \psi_t}{\partial z} \quad (8)$$

En la ecuación 8, q corresponde al flujo, $k(\theta)$ corresponde a la conductividad hidráulica para el medio no saturado que depende de la humedad volumétrica, ψ_t corresponde al potencial total en el suelo, y $\frac{\partial \psi_t}{\partial z}$ corresponde al gradiente hidráulico.

- Modelo analítico para el análisis de infiltración

Existen modelos de analíticos, teóricos y empíricos para realizar análisis de infiltración. La ventaja de los modelos de análisis empíricos es que los parámetros del modelo están relacionados con las características del suelo y no necesariamente tienen un significado físico y como desventaja es que dichos modelos en su mayoría son adecuados solo para las condiciones y suelos utilizados para estudiarlos. El modelo teórico se basa en la ecuación de Darcy o la ecuación de Richard desarrollada a partir de la ecuación de Darcy (Torres, 2020, p. 31).

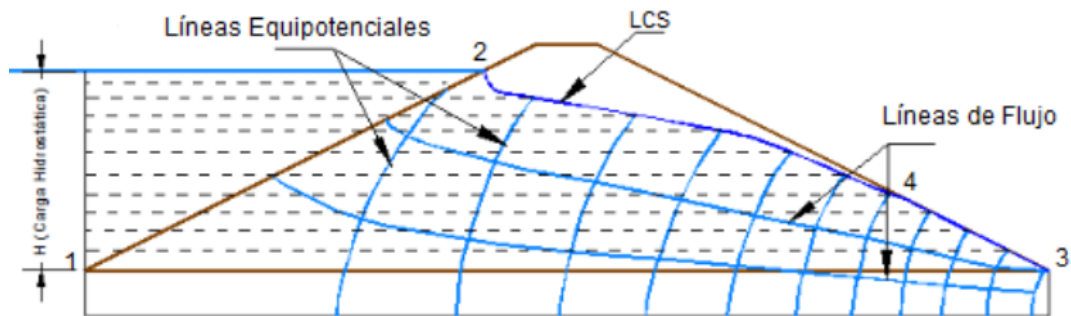
- Método numérico de análisis infiltración

Los modelos matemáticos de flujo en medios porosos siguen esencialmente la ecuación de Richard's, que es una ecuación de conservación de masa basada en la ecuación de Darcy. Este programa simula el movimiento del flujo de agua en medios porosos en una dimensión, utilizando el método de elementos finitos para resolver la ecuación de flujo de Richard's para condiciones saturadas e insaturadas, así como para regímenes permanentes y transitorios. Este software fue utilizado para las simulaciones numéricas del presente trabajo. (Torres, 2020, p. 38)

2.5.2. Modelo de la línea de corriente superior (condición de entrada y salida)

Una red de flujo está formada por líneas equipotenciales y líneas de flujo, como se puede ver en la figura 11. Las primeras líneas unen todos los puntos en una región con una misma carga hidráulica, mientras que las segundas representan la trayectoria real y física que tiene el agua por medio de la región del flujo, desde la zona de mayor potencial a la zona de menor potencial, formando entre si canales de flujo (Cordero, 2017, p. 28).

Figura 11
Red de flujo en una presa de tierra



Nota. Tomado de Tenreiro (2003).

2.5.3. Presión de poros

Rodríguez y García (2006) afirman que, cuando los poros de los depósitos de relaves se saturan con agua, se comportan según el principio de tensión efectiva de Terzaghi, como cualquier otro material granular. Con base en este principio, la resistencia del material al corte, se puede expresar de la siguiente manera:

$$s = (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi' + c' \quad (9)$$

Donde los parámetros de la resistencia al corte (s) quedan definidos por, la tensión normal al plano de deslizamiento (σ), la presión de agua en los poros del material (u) y los parámetros de resistencia del material, el ángulo de fricción y cohesión respectivamente (ϕ' y c').

Según la expresión (9), si la presión del agua en los poros aumenta por cualquier motivo, la resistencia del material al pandeo disminuirá y eventualmente puede producirse la inestabilidad.

$$u = \gamma_w \times H_w \quad (10)$$

Donde γ_w es el peso unitario del agua y H_w es la profundidad vertical del punto por debajo del nivel de agua freática.

Los incrementos de presión de poros pueden ser provocados por:

- 1) Recrecimiento de la presa o vertido de nuevas capas de colas al depósito.
- 2) Instalación de la cobertura de cierre en depósitos llenos.
- 3) Tránsito de maquinarias.
- 4) Voladuras.
- 5) Sismos.

2.6. Estabilidad de taludes

Gonzales (2002), en su libro *Ingeniería geológica*, se señala que el método de análisis de estabilidad se basa en métodos físico-matemáticos, en los que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud y determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad.

2.6.1. Mecánica de suelos

Duque (2017) mencionó que la mecánica de suelos consta de los siguientes fundamentos: teoría del comportamiento del suelo bajo carga, estudio de las propiedades físicas del suelo y aplicación de conocimientos teóricos y empíricos a problemas prácticos. A diferencia de los materiales estructurales como el acero y el hormigón (que tienen un módulo de elasticidad y resistencia a la fractura), se deben considerar muchas más variables en el suelo, existe una gran variabilidad y los procesos naturales que forman el suelo están fuera del control total de los ingenieros. De acuerdo con lo anterior, el procesamiento de las muestras, ya sean alteradas o inalteradas, es crucial para clasificar

sus propiedades como color, textura, tamaño y plasticidad con el fin de obtener parámetros mecánicos y aplicar la mecánica de pisos para enmarcar el problema.

2.6.2. Métodos para el cálculo de estabilidad de taludes

2.6.2.1. Métodos numéricos. Estrada y Soberanis (2014), en su tesis *Estabilidad de taludes en suelos*, refiere que los métodos numéricos consideran no solo las leyes de la estática, sino también las deformaciones del terreno. La implementación práctica de estos métodos es bastante compleja, por lo que es necesario estudiar el problema mediante la aplicación del método de elementos finitos o técnicas numéricas alternativas.

2.6.2.2. Método de equilibrio límite. Estrada y Soberanis (2014), en su tesis *Estabilidad de taludes en suelos*, mencionan que el método del equilibrio límite se basa enteramente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de un terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta la deformación del terreno. Supusieron que la resistencia al corte actúa completa y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte.

Se pueden clasificar a su vez en dos grupos:

- Métodos exactos.
- Métodos no exactos.

a) Método de Morgenstern–Price. Morgenstern y Price (1965), en la publicación *The analysis of the stability of general slip surfaces*, refieren que es un método de corte universal basado en un equilibrio extremo. Debe satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos que actúan sobre los bloques individuales. Los bloques se crean dividiendo el terreno en la superficie terrestre con planos divisorios.

b) Método de Spencer. Spencer (1967), en su publicación *A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces*, refiere que este método propone un corte basado en el equilibrio límite. Es necesario satisfacer el equilibrio de fuerzas y momentos que actúan sobre bloques individuales. El bloque se crea dividiendo el suelo sobre la superficie de deslizamiento con planos divisorios.

c) Método de Bishop. Bishop (1955) menciona que el método de simplificación Bishop, admite que no existe ninguna fuerza entre los bloques. El método está basado en satisfacer la ecuación del momento de equilibrio y la ecuación de equilibrio de fuerzas verticales.

Tabla 1*Métodos de cálculo de estabilidad de taludes que emplean rebanadas verticales*

Método	Condiciones de equilibrio	Tipo de superficie	Observaciones
Bishop simplificado (1955)	No cumple equilibrio de fuerzas horizontales ni momentos en rebanadas.	Circular	Errores minúsculos si la superficie es circular. No tiene en cuenta variaciones de las fuerzas horizontales entre rebanadas,
Bishop Riguroso (1955)	Cumple todas las condiciones de equilibrio.	Circular	Supone una distribución determinada de las fuerzas horizontales (E) entre las rebanadas que cumplan con el equilibrio, Se comprueban que las líneas de acción de E sean razonables.
Janbu Simplificado (1957)	No satisface equilibrio de momentos.	Arbitraria	Obligan a que se satisfaga el equilibrio de las fuerzas horizontales. Emplean un factor de corrección para mejorar los resultados.
Janbu Generalizado (1957)	Satisface equilibrio (salvo momentos en la última rebanada).	Arbitraria	Supone conocida la línea de acción de las fuerzas horizontales entre rebanadas. No siempre convergen. Cuando convergen da buenos resultados.
Lowe y Karafiath (1960)	No satisface equilibrio de momentos.	Circular	Supone que la inclinación de las fuerzas entre las rebanadas es la media entre las pendientes del terreno y de la superficie de rotura.

Morgenstern y Price (1965)	Satisface todas las condiciones de equilibrio.	Arbitraria	El problema se plantea de manera diferencial. Se conjetura que la inclinación de fuerzas entre rebanadas es: $X/E = \lambda \cdot f(x)$, donde λ es un factor de escala y $f(x)$ es una función dada. El problema puede solucionarse empleando el método de Newton–Raphson.
Spencer (1967)	Satisface todas las condiciones de equilibrio.	Circular	Supone $X/E = \tan \theta = \text{cte}$, ($f(x)=1$; $\lambda = \tan \theta$) Varía $\tan \theta$ hasta que los factores de seguridad resultantes del equilibrio de fuerzas y momento global coincidan, Línea de acción dada a posteriori por equilibrio de momentos en cada rebanada. Generalizado a superficie arbitraria (Wright, 1969).
Carter (1971)	No cumple equilibrio de fuerzas horizontales y momentos en rebanadas	Arbitraria	Resultados conservadores razonablemente exactos.
Fredlund (1981) (G.L.E.)	Satisface todas las condiciones de equilibrio.	Compuesta (círculo y secante)	Análogo a Morgenstern y Price en forma discreta.
Chugh (1983)	Satisface todas las condiciones de equilibrio.	Circular	Análogo a Spencer, pero considerando el equilibrio de momentos en cada rebanada, Solución iterativa para cálculo recursivo.

Nota. Tomada de Pérez (2005).

Perez (2005) menciona que de manera resumida puede decirse lo siguiente:

- Los métodos que se basan en el círculo de rozamiento y distribución de tensiones efectivas normales a la superficie de falla concentradas en un punto, entrega valores por el lado de la seguridad. Son utilizados en anteproyectos cuando el terreno es homogéneo.
- Los métodos denominados “exactos” (Morgenstern y Price, Bishop, Janbu) se recomiendan si se tienen los programas adecuados.
- El método de Bishop ofrece en sus resultados con errores por debajo del 7 %, es sencillo de introducir en ordenadores y se adecúa a geometrías no convencionales en terrenos heterogéneos.
- Para terrenos homogéneos y geometrías sencillas, se sugiere el uso de ábacos.

2.6.3. Factor de seguridad

Canadian Dam Association (2013) refiere como factor de seguridad al coeficiente medido entre la posible resistencia al corte en el plano de falla potencial y la fuerza de corte activa en el mismo plano. El factor de seguridad considera la confiabilidad de los insumos en el análisis de estabilidad, la probabilidad de las condiciones de carga y las consecuencias de posibles fallas.

En términos matemáticos, se expresa de la manera siguiente:

$$F. S. = \frac{\text{Resistencia al corte disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}} \quad (11)$$

En las superficies circulares, existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F. S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}} \quad (12)$$

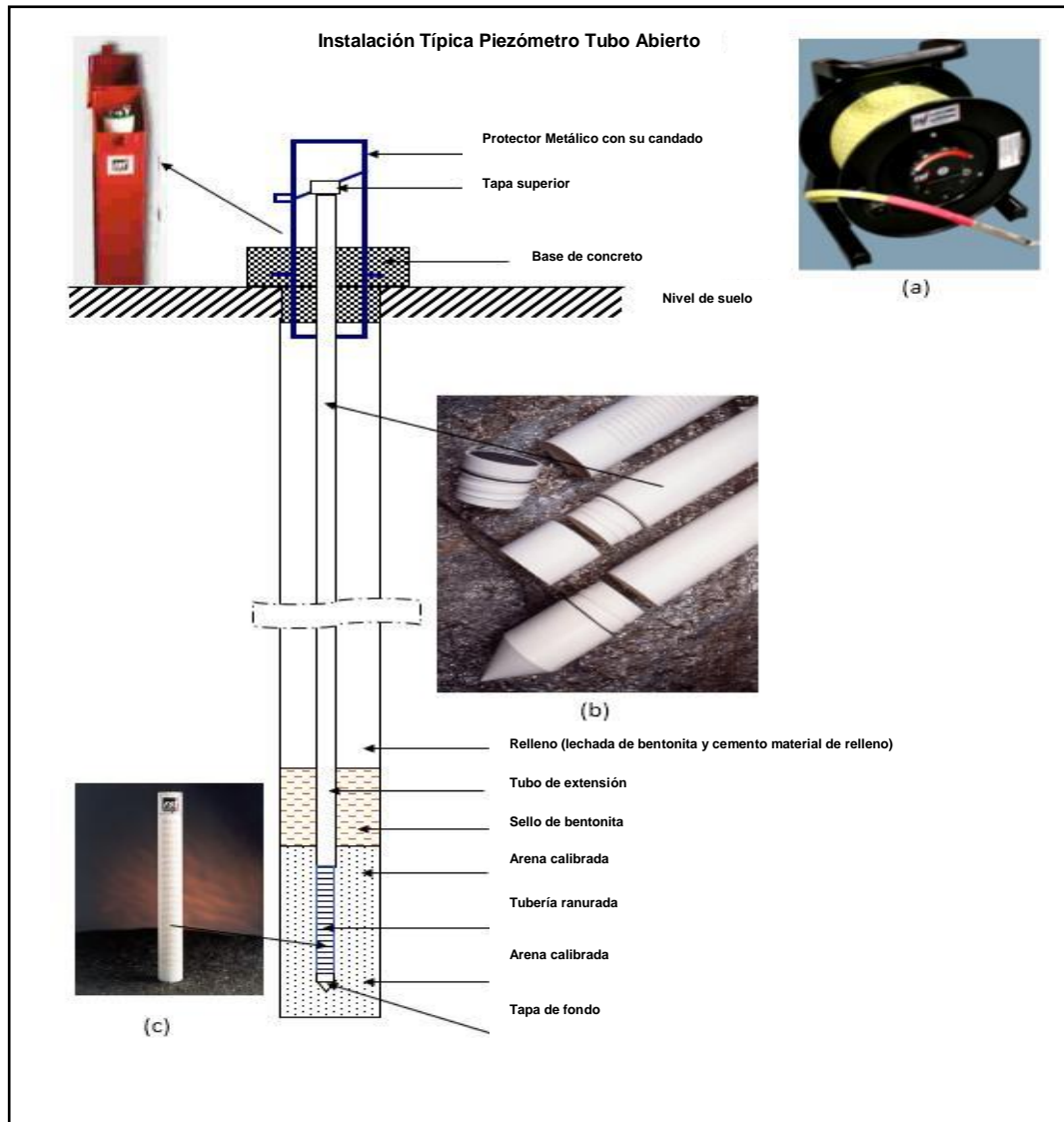
2.6.4. Instrumentación geotécnica

Uno de los objetivos fundamentales de la instrumentación geotécnica es medir la respuesta del terreno a los cambios en su entorno, los cuales pueden producirse como consecuencia de proyectos de ingeniería en ejecución o fenómenos naturales. La mayoría de los movimientos significativos se clasifican en una de tres categorías: rotacional, horizontal (traslacional) o vertical. Los indicadores de asentamientos son movimientos verticales. Los términos "movimientos horizontales" o "movimientos de traslación" se refieren a movimientos que son aproximadamente perpendiculares al borde del terreno en evaluación (Medina et al., 2020).

2.6.4.1. Piezómetro de tubo abierto tipo Casagrande. Estos sondeos de monitoreo se utilizan para medir el nivel piezométrico del agua subterránea, basándose en el principio de las diferencias de presión es del agua dentro de un terreno. Estos piezómetros constan de perforaciones o sondeos que atraviesen el nivel freático en la zona de interés, seguidos por el revestimiento de una tubería de PVC de 2" de diámetro con orificios perforados para van a permitir el paso del agua subterránea necesaria para la medición, finalmente se coloca un filtro de arena alrededor de la tubería piezométrica. Para su medición, se utiliza un sensor (water level meter). Gracias a este instrumento, es posible determinar el nivel piezométrico del agua subterránea, ya que las mediciones se toman directamente desde la superficie de la tubería piezométrica (Medina et al., 2020).

Figura 12

Esquema de instalación de piezómetro de casa grande

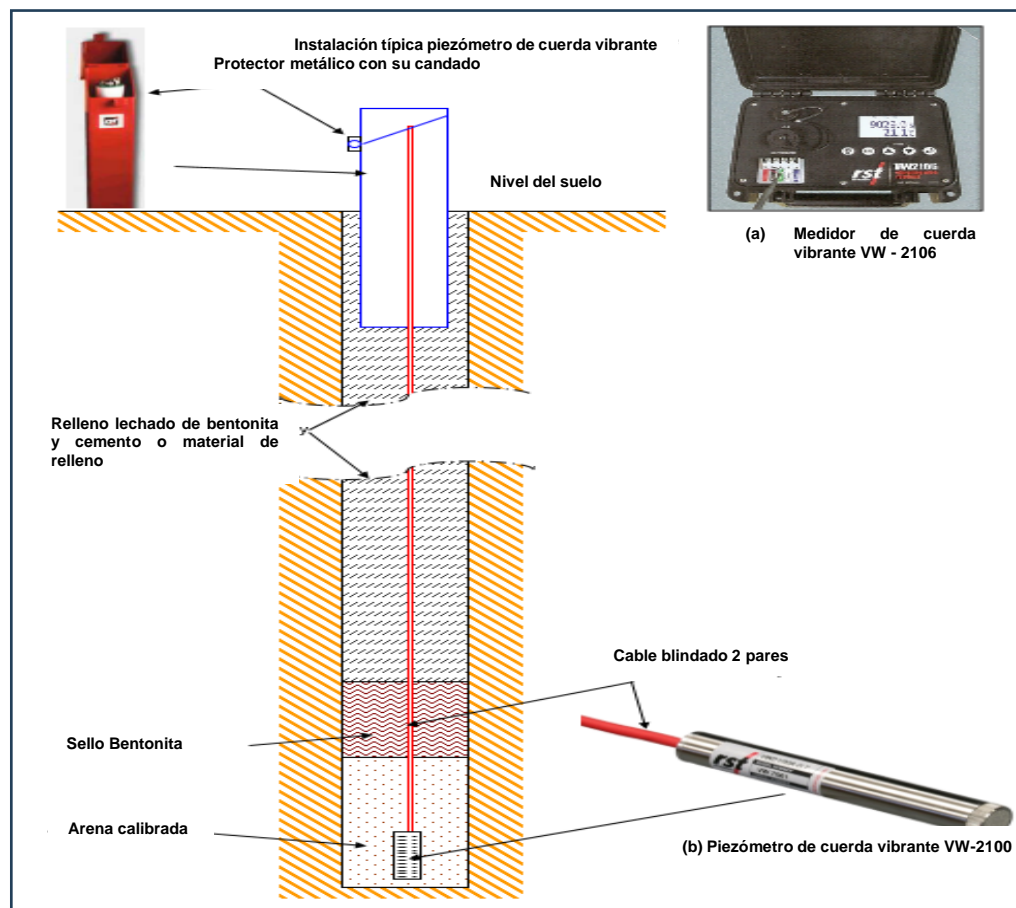


Nota. Tomado de Medina et al., 2020.

2.6.4.2. Piezómetro de cuerda vibrante. Es un instrumento “transductor de presión”, ideado para mediciones remotas del nivel piezométrico y de presión de poros en sondeos para periodos largos de tiempo. La señal de salida es una señal de frecuencia, este instrumento brinda indirectamente el nivel de aguas subterráneas (Medina et al., 2020).

Figura 13

Esquema de instalación de piezómetro de cuerda vibrante

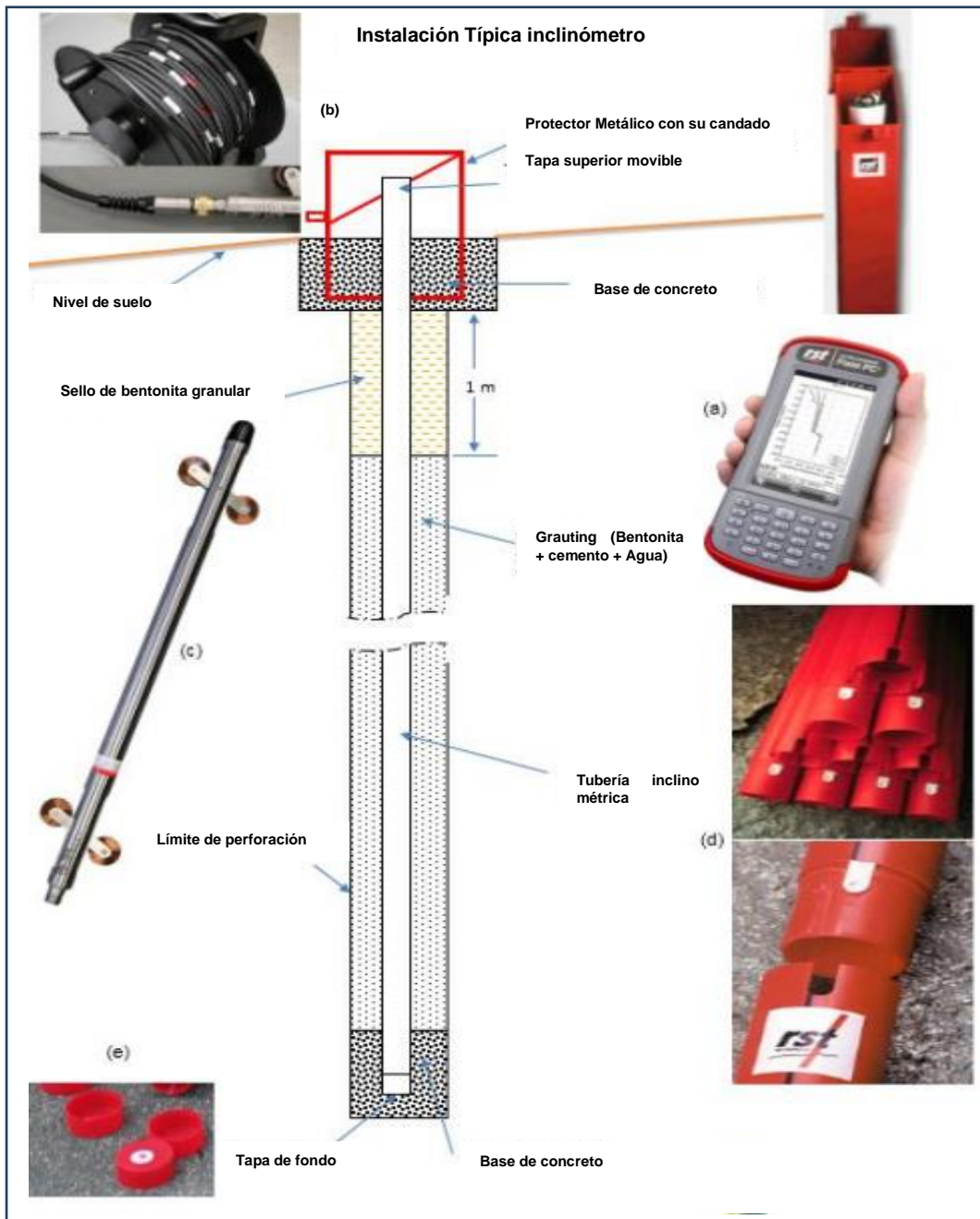


Nota. Tomado de Medina et al., 2020.

2.6.4.3. Inclínómetros. Los inclinómetros se consideran uno de los métodos principales para medir los desplazamientos laterales y controlar la deformación del suelo. Implican el uso de una sonda para transmitir señales digitales proporcionadas por dos sensores acelerómetros MEMS, midiendo la inclinación a intervalos constantes en todo el interior del sondeo. La diferencia entre las mediciones registradas a intervalos de 0,5 m permite la identificación y cuantificación del movimiento transversal al sondeo, es decir, el desplazamiento horizontal. Los datos del inclinómetro se utilizan junto con los datos del piezómetro para permitir una evaluación más precisa de los mismos. En las presas, los inclinómetros detectan el movimiento en el lado aguas abajo de la presa y monitorean la estabilidad de la pendiente en el lado aguas arriba, especialmente durante el embalse. También ayudan a identificar zonas de corte que pueden estar presentes en la cimentación (Medina et al., 2020).

Figura 14

Desplazamientos registrados por instrumentación geotécnica



Nota. Tomado de Medina et al., 2020.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Por el tipo de proyecto realizado, se define el tipo de investigación como “aplicada”, ya que se utilizan conocimientos de los métodos numéricos a fin de aplicarlos en el desarrollo de análisis de filtración y estabilidad.

3.2. Método y diseño de investigación

El método del trabajo es “cuantitativo” y presenta un diseño “experimental”.

3.3. Población y muestra

La población en el presente trabajo queda definida por el depósito de relaves N° 2. La muestra fue representada por las dos secciones de evaluación.

3.4. Procesamiento, recolección y análisis de datos

Ensayos a realizar para definir el análisis de estabilidad de taludes:

3.4.1. Etapa preliminar

Se realiza la revisión de información referente al tema de investigación:

- “Ensayos de mecánica de suelos realizados en el proceso de recrecimiento del depósito de relaves N° 2, Etapa 1”.
- “Estudio de peligro sísmico para la Unidad Minera Huancapetí, distrito de Recuay – Aija, Ancash - Perú.
- “Boletín N° 76 - Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquian y Yanahuanca – Hoja 20 – h”, INGEMMET, noviembre de 1996, Lima Perú.

Se revisó el fundamento teórico: métodos numéricos, equilibrio límite, filtración, mecánica de suelos, instrumentación geotécnica y presas de relaves.

3.4.2. *Etapa de campo*

- Levantamiento geológico local, consiste en el reconocimiento de las principales unidades litológicas en la evaluación.
- Ejecución de calicatas y ensayos de suelos para la caracterización de materiales.
- Monitoreo e interpretación de instrumentación geotécnica actual e histórica (piezómetros).
- Levantamiento topográfico en la zona de evaluación (topografía inicial y final).

3.4.3. *Etapa de gabinete post campo*

Esta fase incluyó el procesamiento e interpretación de los resultados de acuerdo con los datos de campo recopilados mediante el uso de programas (método de equilibrio límite y elementos finitos), así como la redacción de las tablas de resultados del análisis de estabilidad física e infiltración.

3.5. *Técnica e instrumentos de recolección de datos*

Los equipos utilizados para el presente proyecto son los siguientes:

- Tabla de datos
- Sonda piezométrica
- Juego de tamices
- Espátulas
- Balanza
- Vibrador de tamices

- Horno de secado o estufa
- Arena de otawa
- Cucharas
- Recipientes cerámicos o capsulas
- Frasco de plástico de cono de arena
- Cono metálico (con válvula)
- Placa metálica de cono de arena
- Brocha
- Cincel
- Bolsas herméticas
- Comba o martillo de jebe
- Dispositivo de Casagrande
- Ranurador de Casagrande
- Placa de vidrio pulido
- Contenedores de agua
- Piseta
- Agua
- Bandejas metálicas
- Aparato de corte directo
- Pistón para compactar el suelo
- Caja de corte
- Aditamentos de carga
- Estación total

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1. Geología local

El área ubicada en el distrito de Recuay se encuentra en la cota 4500 m.s.n.m., la litología de la zona presenta afloramientos de rocas volcánicas (andesitas) pertenecientes al grupo Calipuy, secuencia de lavas andesíticas y brechas existe presencia de intrusivos de composición riodacítica del cenozoico, así como depósitos glaciales y aluviales del cuaternario.

Se evidencian dos unidades geológicas importantes en el sector de estudio, compuesta por tobas ignimbritas y rocas intrusivas (riodacitas y dacitas).

Figura 15

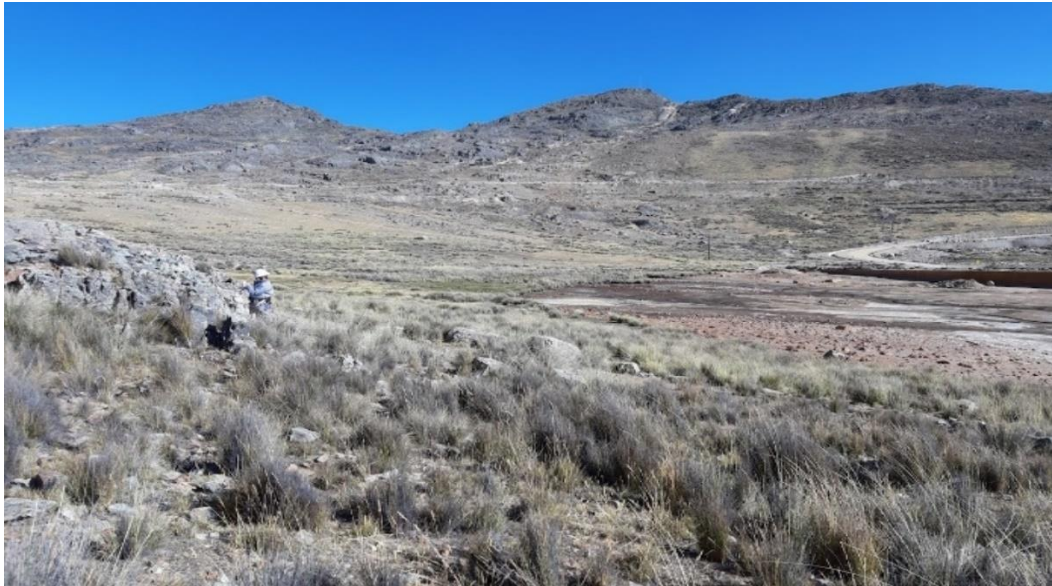
Vista del flanco izquierdo aguas abajo del componente geotécnico, presencia de material morrénico



Nota. Tomado de Compañía Minera Lincuna (2021)

Figura 16

Vista Sur aguas arriba del depósito, presencia de afloramiento rocoso - andesitas



Nota. Tomado de Compañía Minera Lincuna (2021).

Figura 17

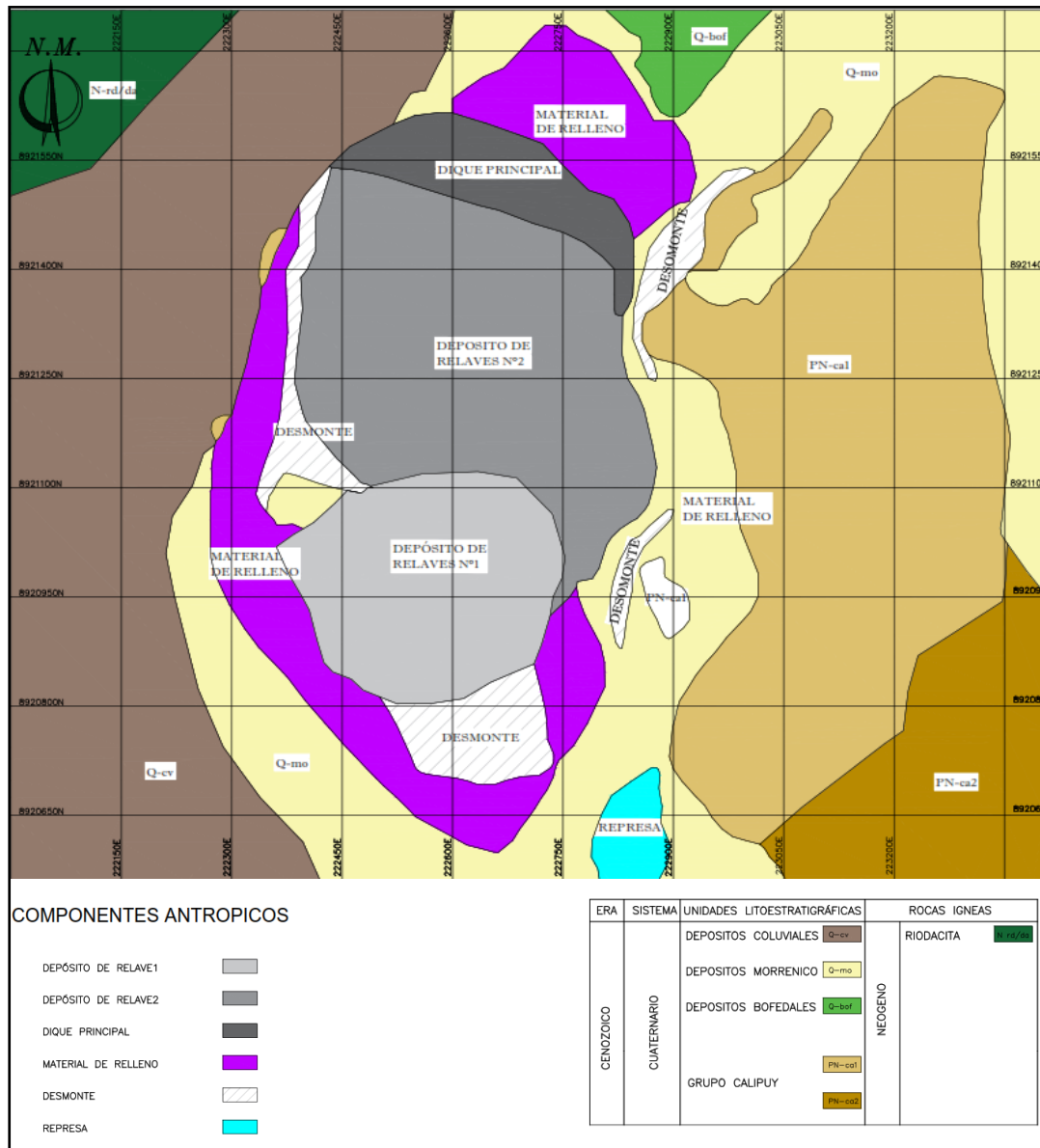
Vista del flanco derecho e izquierdo aguas abajo del depósito, presencia de material morrénico y afloramiento de rocas pertenecientes al Grupo Calipuy



Nota. Tomado de Compañía Minera Lincuna (2021).

Figura 18

Vista de la geología local de la zona del proyecto



Nota. Tomado de Área de geología Lincuna (2021).

4.1.1. Litoestratigrafía

La zona de estudio se caracteriza por depósitos cuaternarios, que incluyen depósitos de origen glacial y coluvial. Se reconocieron depósitos antrópicos producto de las actividades mineras como son los relaves, material estéril o desmonte. Se puede observar la presencia de rocas volcánicas en su extensión, como brechas y andesitas del grupo Calipuy, que conforman parte del fundamento rocoso sobre el cual se edifica el depósito de relaves.

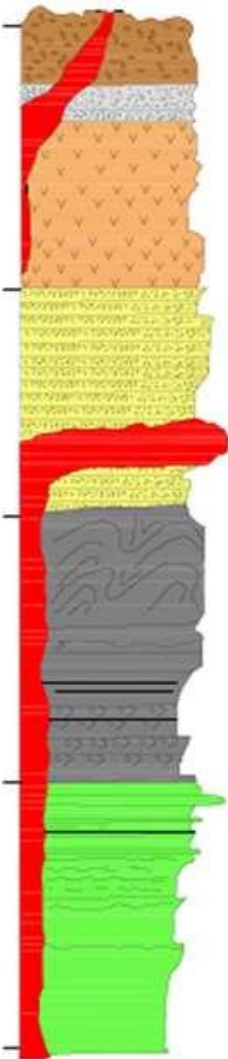
Se evidencian afloramientos rocosos caracterizados por presencia de brechas y lavas andesíticas. Debido a la presencia de lluvias y fuertes climas, se evidencia meteorización marcada, con afloramientos rocoso rojizo producto de la oxidación.

En el margen derecho aguas abajo, se evidencia rocas andesíticas con presencia de alteraciones argílicas. En el margen izquierdo aguas abajo del depósito, se evidencia oxidación producto de la meteorización, con presencia de fracturamiento.

La principal unidad intrusiva es conformada por el pórfido huancapeti con una matriz afanítica silificada, con algunos cristales de cuarzo de composición diorítica.

Los depósitos mineralizados, los yacimientos se muestran tipo vetas con contenido alto de plomo, plata, zinc de cobre se ubican en la vertiente occidental de la cordillera negra. Se puede dividir el grupo Callipuy en dos miembros superior e inferior: el primero se evidencia en la zona central del terreno, con presencia de depósitos morrénicos “morrenas” e intrusiones de rocas volcánicas (riodacita, monzonita) y el miembro inferior cubierto parcialmente por material morrénico y depósitos aluviales.

Figura 19*Columna estratigráfica, geología del cuadrángulo Recuay*

Era	Sistema	Serie	Unidad Estratigráfica	Columna estratigráfica	Descripción
Cenozoico C ₂	Cuaternario		Grupo Calipuy		Lavas andesíticas porfídicas endos miembros una superior andesítica y otra inferior de tufo brechados,
	Paleoceno		Formación Casapalca		Consiste de secuencias de lutitas y areniscas rojizas con hematitas,
Mesozoico M ₂	Cretácico	Superior	Formación Jumasha		Estratificación de calizas grises en estratos de 1 hasta 2m, En algunos lugares puede ser una secuencia lajosa de calizas oscuras,
		Inferior	Grupo Guoyllarisquizga		Areniscas blancas friables de 500m, con miembros de estratificación cruzada de 2m de grosor, con lutitas,

Nota. Tomado de Ingemme (1996)

4.2. Geomorfología

Las unidades geomorfológicas de la zona de estudio corresponden a la quebrada que nace en la cordillera negra, denominada quebrada Sipchoc con prominentes taludes

de pendientes de 20 hasta 35°, su morfología fue modelada por agentes glaciares, presenta una forma de U con una depresión cubierta por material glacial y coluvial sobre en cual se reviste una vegetación conformada por plantas como el ichu la cual soporta climas agrestes de la zona (véase anexo 3).

En el margen izquierdo aguas abajo del depósito (sector NW), se evidencia una morfología cubierta por depósitos cuaternarios y afloramientos rocosos volcánico.

En el margen derecho aguas (sector NE), presentan pendientes suaves de 12° aproximadamente, revestido de depósitos cuaternarios, coluviales con poca presencia de afloramientos volcánicos.

En la zona norte, presenta una planicie aluvial, material ubicado encima del cauce producto de inundaciones fluviales. Esto se ubica aguas abajo del dique del depósito de relaves.

4.3. Geología estructural

En la zona de estudio, no se identificaron fallas, en una revisión macro predomina el grupo Calipuy conformado por estratos de rocas andesíticas, con estructuras de rumbo NW-SE y buzamientos con dirección NE en relación con sistemas de diaclasamiento con rumbos NE-SW y NW-SE, ambas estructuras con buzamientos semi verticales.

4.4. Topografía

El relieve de la zona de estudio se encuentra conformado por el dique principal y diques laterales del depósito de relaves. Este relieve se obtiene a través del equipo de topografía, quien utiliza una estación total Leica de alta precisión para la adquisición y actualización de información de acuerdo al avance del recrecimiento del depósito de

relaves, obteniendo dos topografías; en cota 4525 m.s.n.m. y proyección de la etapa 2, cota 4530 m.s.n.m.

4.5. Caracterización geotécnica

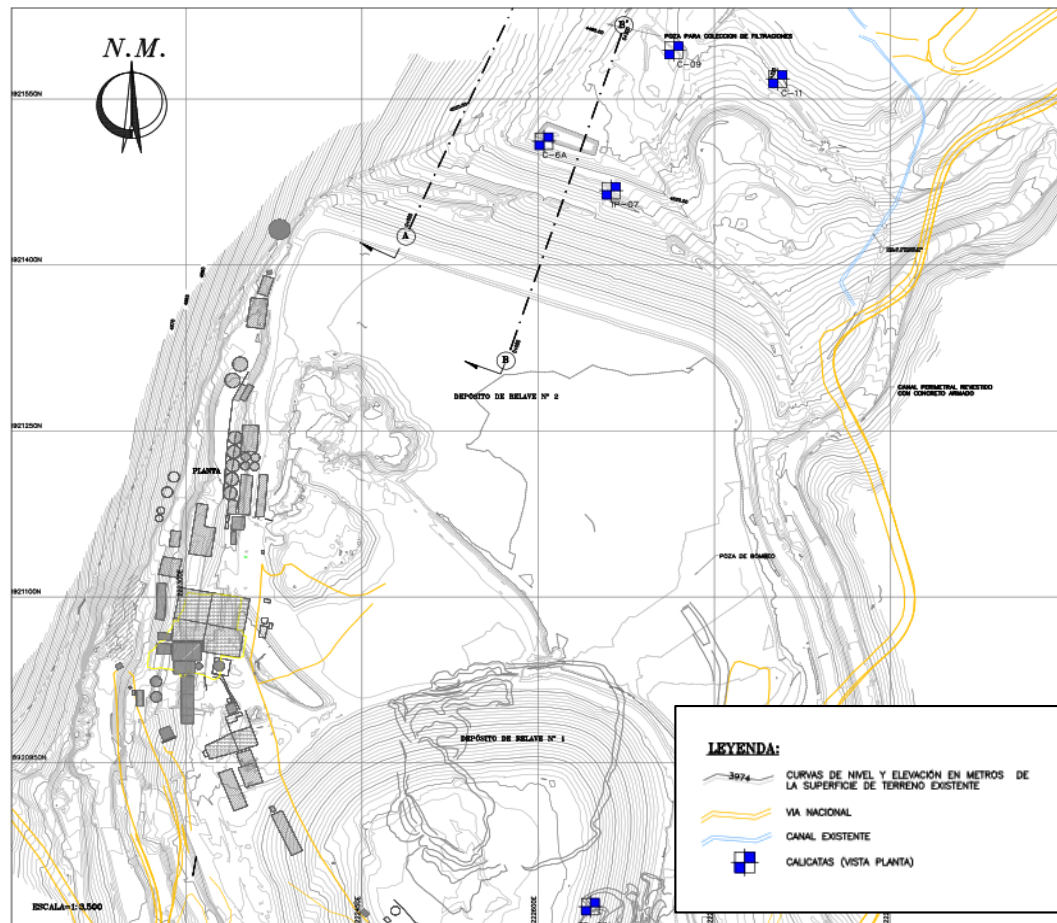
La caracterización geotécnica en el sector se obtuvo mediante la revisión geológica, ensayos de laboratorio e in situ, y monitoreo geotécnico para calibrar el modelo de análisis de estabilidad e infiltración de la zona de evaluación (véase anexo 9).

Se reconoce las características de cada uno de los elementos, desde el basamento rocoso, suelo de cimentación, sobre el cual se inicia la construcción del dique de arranque y sobre esta las capas de relave que alcanzan una cota de acuerdo con la etapa o fase operativa. Para el recrecimiento de la relavera, se conforman capas de 0,3 m que van siendo compactadas y liberadas conforme a las regulaciones técnicas, para dar paso al apilamiento de relaves de manera cíclica.

En las etapas de recrecimiento de la relavera, se ha utilizado como materia prima para su construcción arenas gruesas de relaves, el cual es producto de la clasificación de relave grueso y fino de los hidrociclones al final del proceso de recuperación de minerales. Es así que el relave fino es depositado en el vaso del depósito y el relave grueso es apilado, utilizado para la construcción del dique principal (este material debe contar un 25 % máximo de partículas finas, material que pasa la malla N° 200). Se han realizado ensayos de densidad in situ mediante cono de arena y reemplazo de agua; asimismo, se ha utilizado información de ensayos triaxiales del recrecimiento de la etapa inicial 4515 m.s.n.m. para caracterizar las propiedades geotécnicas de los materiales que componen el dique.

Figura 20

Plano de ubicación de ensayos realizados en la zona de estudio

**Tabla 2**

Coordenadas UTM WGS 84 de la zona de estudio

COORDENADAS UTM WGS 84			
CODIGO	NORTE	ESTE	ALTITUD
TP-03	8920820	222644	4529
C-6A	8921512	222605	4513
C-09	8921594	222715	4485
C-11	8921568	222804	4499
TP-07	8921467	222662	4497

Nota. Elaboración propia

a) Relave fino

Es el material fino obtenido del hidrociclón, que es acumulado en el vaso del depósito. De acuerdo al análisis granulométrico, este material se clasifica como una arcilla limosa CL, con un contenido de fino que varía entre el 80,96 % y un índice de plasticidad promedio de 12 %.

Los parámetros de fricción y cohesión son de 0° y 8 kN/m^2 respectivamente con un peso específico de $17,8 \text{ kN/m}^3$. Los resultados de cohesión y fricción fueron obtenidos de dos ensayos anteriores TP-03 y M-04, de compresión triaxial utilizando los valores más conservadores para el análisis respectivo (véase tabla 4).

b) Relave grueso

Es el material de arena gruesa obtenido de la clasificación del hidrociclón, que compone más del 60 % de la estructura del dique principal del depósito. De acuerdo con el ensayo de granulométrica, se clasifica en arena limosa SM (véase tabla 3); se ha evaluado la resistencia del relave grueso obteniendo un peso específico igual a $18,0 \text{ kN/m}^3$. Los valores de fricción y cohesión utilizados para el análisis en esta capa son de $32,5^\circ$ y $4,9 \text{ kN/m}^2$ respectivamente (véase tabla 4). Estos últimos han sido obtenidos de ensayos especiales realizados en el estudio de ingeniería.

De acuerdo con el ensayo de permeabilidad del relave grueso, ha sido definido un valor $K = 7,73 \text{ E-04 cm/s}$ (véase tabla 5).

c) Desmonte de mina compactado

Es el material estéril obtenido del depósito de desmonte Coturcan, perteneciente a la unidad minera Huancapetí. El cual ha sido seleccionado y cumple el uso requerido para el recrecimiento del depósito. Este compuesto, de acuerdo a su clasificación granulométrica, tiene un porcentaje de finos promedio de 13, se define como grava mal gradada con presencia de arcilla limosa (GC- GM). De acuerdo con el ensayo Proctor, se tiene un peso específico de $24,5 \text{ kN/m}^3$. Los ensayos especiales para este material se han obtenido de ensayos anteriores utilizando una fricción de $38,4^\circ$ y una cohesión de 20 kN/m^2 (véase tabla 4).

d) Dique de arranque

El dique de arranque está formado por compactación de capas de 30 cm de espesor que han sido conformadas bajo ciclos de acuerdo con la metodología de construcción. Los ensayos de granulometría presentan un porcentaje de finos promedio de 20, clasificando este material como una grava arcillosa con presencia de arenas (GC) (véase tabla 3). Presenta un índice de plasticidad promedio de 9; sin embargo, la permeabilidad medida in situ arrojó un valor de $K= 2,380 \text{ E- } 06 \text{ cm/s}$ (véase tabla 5). Los parámetros de resistencia al esfuerzo triaxial desarrollados y ensayo de densidad in situ, nos brinda un peso específico de 21 kN/m^3 , muestran valores de ángulo de fricción de 34° y una cohesión mínima de $5,8 \text{ kN/m}^2$ (véase tabla 4).

e) Suelo de cimentación

La cimentación de los diques frontal, lateral y de pie está apoyado en un depósito glaciario que ha sido caracterizado como una grava arcillosa (GC), medianamente densa a densa según el sistema SUCS, con un porcentaje de finos promedio de 28. Un peso específico de $20,5 \text{ kN/m}^3$, de los ensayos especiales realizados se ha considerado evaluar con un ángulo de fricción interna igual a 35° y una cohesión de 10 kN/m^2 (véase tabla 4).

Tabla 3

Clasificación granulométrica de los materiales

	CODIGO	W %	Grava %	Arena %	Finos %	LL	LP	IP	SUCS
Relave fino	TP-03	64,6	0	4,1	95,9	36	24	12	CL
Relave grueso	C-6A	8,4	0	74,5	25,5	NP	NP	NP	SM
Desmonte	C-09	2,2	51,4	36,5	12,2	19	13	6	GC-GM
Dique de arranque	C-11	4,2	54,3	26,2	19,5	21	12	9	GC
Dique de pie	*	4,2	54,3	26,2	19,5	21	12	9	GC
Suelo de cimentación	TP-07	8,7	37,6	34,4	28	29	18	11	GC

Nota. Tomado de CIA Lincuna.

* Se utilizaron las propiedades del dique de arranque para la caracterización del material (dique de pies).

Tabla 4*Resumen de propiedades físicas y mecánicas de los materiales*

Material	Peso unitario (kN/m ³)		Cohesión (kN/m ²)	Angulo de fricción (grados)
	Natural	Saturado		
Relave grueso compactado	17,0	18,0	4,9	32,5
Relave fino in situ TP-03	13,0	13,6	8,0	0,0
Relave fino in situ M-04	17,0	17,8	30,0	0,0
Dique de arranque	21,0	22,0	6,0	34,5
Dique de pie	21,0	22,0	6,0	34,5
Desmonte de mina compactado	21,0	22,0	20,0	38,4
Cimentación	20,5	20,5	10,0	35,0
Geosintético	16,0	16,0	0,0	30,0
Dren	20,0	20,0	1,0	35,0

*Nota. Tomado de CIA Lincuna.***Tabla 5***Resumen de coeficiente de permeabilidad de materiales*

Material	Permeabilidad cm/s
Relave grueso compactado	$7,73 \times 10^{-4}$
Relave fino in situ	$1,00 \times 10^{-8}$
Dique de arranque	$9,04 \times 10^{-6}$
Dique de pie	$9,04 \times 10^{-6}$
Desmonte de mina compactado	$1,00 \times 10^{-3}$
Cimentación	$4,76 \times 10^{-6}$
Geosintético	$1,00 \times 10^{-10}$
Dren	$1,00 \times 10^{-2}$

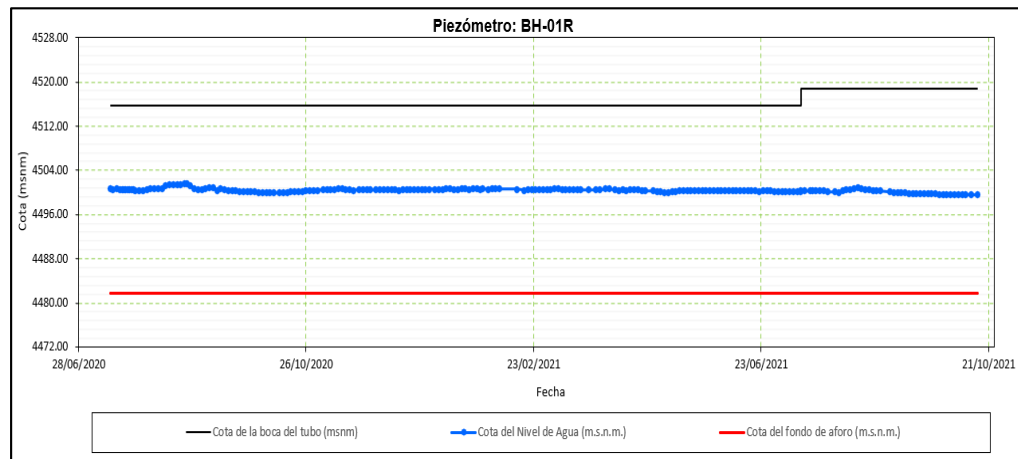
Nota. Tomado de CIA Lincuna.

4.5.1. Nivel piezométrico

En este trabajo, se hace uso de los registros obtenidos de dos sondas (piezómetros de Casagrande): el primero BH-01R ubicado en el margen izquierdo aguas abajo y el segundo BH-2 ubicado en el talud principal del dique (véase figura 21 y 22). Los sondajes tienen una profundidad aproximada de 40,0 metros, fueron instalados en el año 2018 y cuentan con una frecuencia de monitoreo de una vez por semana, permitiendo enriquecer la base datos. Asimismo, se realizó la revisión de datos históricos, donde la superficie piezométrica aumenta abruptamente, con un ascenso de hasta 1 metro en la columna de agua, en los meses de diciembre hasta marzo, considerados como épocas de lluvias. Esta información fue utilizada para la calibración del modelo geotécnico de infiltración, permitiéndonos conocer la superficie piezométrica (véase anexo 9).

Figura 21

Registro de niveles piezométricos del instrumento BH-01R, desde el 2020 hasta el 2021

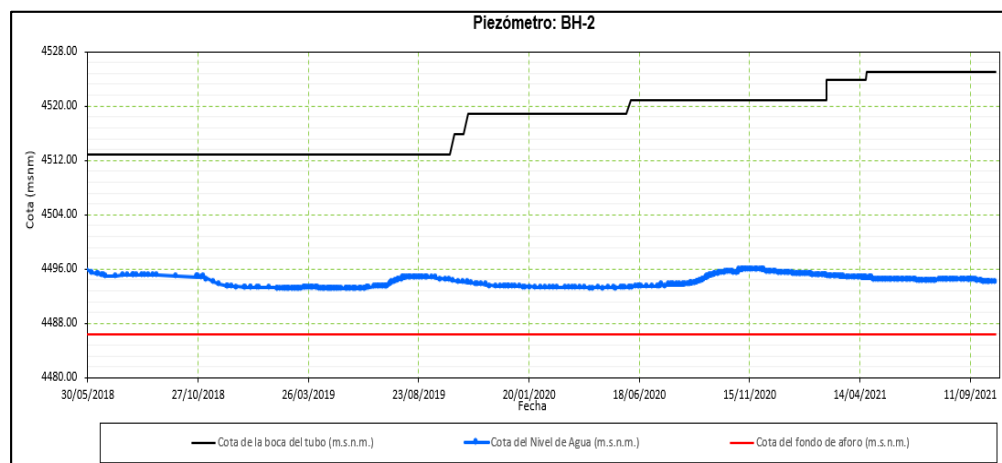


Nota. Esta tabla muestra Registro de niveles piezométricos del instrumento BH-01R.

Fuente: Área de geotecnia Minera Lincuna (2021).

Figura 22

Registro de niveles piezométricos del instrumento BH-2, desde el 2018 hasta el 2021



Nota. Esta tabla muestra Registro de niveles piezométricos del instrumento BH-2. Fuente:

Área de geotecnia Minera Lincuna (2021).

4.5.2. Precipitación

La precipitación del área de estudio fue calculada mediante la revisión de los registros de las estaciones meteorológicas ubicadas en las provincias de Aija, Malvas, Milpo y Recuay, estos registros tienen las siguientes características:

Tabla 6

Ubicación de estaciones meteorológicas

Estación	Coordenadas		Altitud m.s.n.m.	Ubicación			Años de Registro	Precipitación media anual (mm/año)
	UTM-WGS 84			Dpto.	Prov.	Dist.		
	Este	Norte						
Aija	214746	8919274	3440	Ancash	Aija	Aija	1966-2 013	467,5
Malvas	209403	8900786	3250	Ancash	Huarmey	Malvas	1966-2 013	494,6
Milpo	255081	8906654	4400	Ancash	Recuay	Catac	1980-2 010	1095,0
Recuay	231173	8924931	3444	Ancash	Recuay	Recuay	1966-2 013	916

Nota. Tomado de SENAMHI.

Actualmente, en la base de datos de las redes de estaciones meteorológicas de SENAMHI, no se encuentran registros de precipitación actualizados hasta la fecha. Sin embargo, es de interés conocer el comportamiento de la precipitación y su influencia en la estructura o depósito de relaves, siendo esta estación “Recuay” la de mayor interés.

Tabla 7*Precipitación media mensual de la estación Recuay año (1966-2013)*

Precipitación pluvial – promedio mensual (mm)													
Est.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Recuay	114	120,5	153,9	173,3	27,7	5,8	2,7	8,2	32,6	85,1	86,8	105,4	916

Nota. Tomado de SENAMHI (2013)

Para el presente análisis, se consideró el registro de la estación de Recuay (véase tabla 7). Tomando los registros desde el año 1966 hasta 2013, se obtuvo una precipitación media anual de 916 mm/año.

Se calculará el caudal en mm/s para ingresarlo en nuestro modelo de filtraciones, obteniendo lo siguiente:

$$\text{Caudal} = 916 \frac{\text{mm}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$\text{Caudal} = 2,95 \times 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Para el modelo de filtraciones, se asumirá una precipitación pluvial obtenida del cálculo del caudal, igual a $2,95 \times 10^{-5}$ mm/s.

4.5.3. Aceleración sísmica de diseño

De acuerdo con la USACE, U.S. Army Corps of Engineers, Hynes y Franklin, se empleará el coeficiente sísmico horizontal equivalente al 50 % de la aceleración pico de diseño (0,38 g), obtenido un coeficiente sísmico para el análisis en condición pseudo estática igual a 0,19 g. Este valor ha sido utilizado para analizar la estabilidad pseudo estática en etapa del recrecimiento del depósito, correspondiente a un sismo con período de retorno de 475 años (véase la tabla 8).

Tabla 8

Resumen de aceleraciones obtenido del PSHA, Suelo tipo B ($V_{s30} > 60 \frac{m}{s}$, Roca).

Periodo de retorno	PGA(g)	0,20 s	1,00 s	1,50 s	2,00 s	3,00 s
100	0,202	0,450	0,114	0,069	0,048	0,026
250	0,298	0,665	0,175	0,108	0,076	0,041
475	0,380	0,850	0,227	0,141	0,099	0,055
975	0,495	1,121	0,297	0,187	0,131	0,074
2475	0,662	1,509	0,399	0,256	0,180	0,102
5000	0,811	1,876	0,493	0,314	0,225	0,127
10000	0,988	2,283	0,595	0,385	0,276	0,158

Nota. Aceleraciones obtenidas del estudio de peligro Sísmico para la UM Huancapetí.

4.5.4. Factores de seguridad mínimos admisibles

El factor de seguridad mínimo aceptable utilizado para el estudio se muestra en la tabla 8, de acuerdo con la guía de revisión de presas Canadian Dam Association (2013).

Tabla 9*Factor de seguridad mínimo para el depósito de relaves*

Caso	Factor de seguridad mínimo aceptable
Análisis estático	1,5
Análisis pseudo estático	1,1

*Nota. Tomado de CAD-ACB (2013).***4.6. Modelo geotécnico****4.6.1. Sección de análisis**

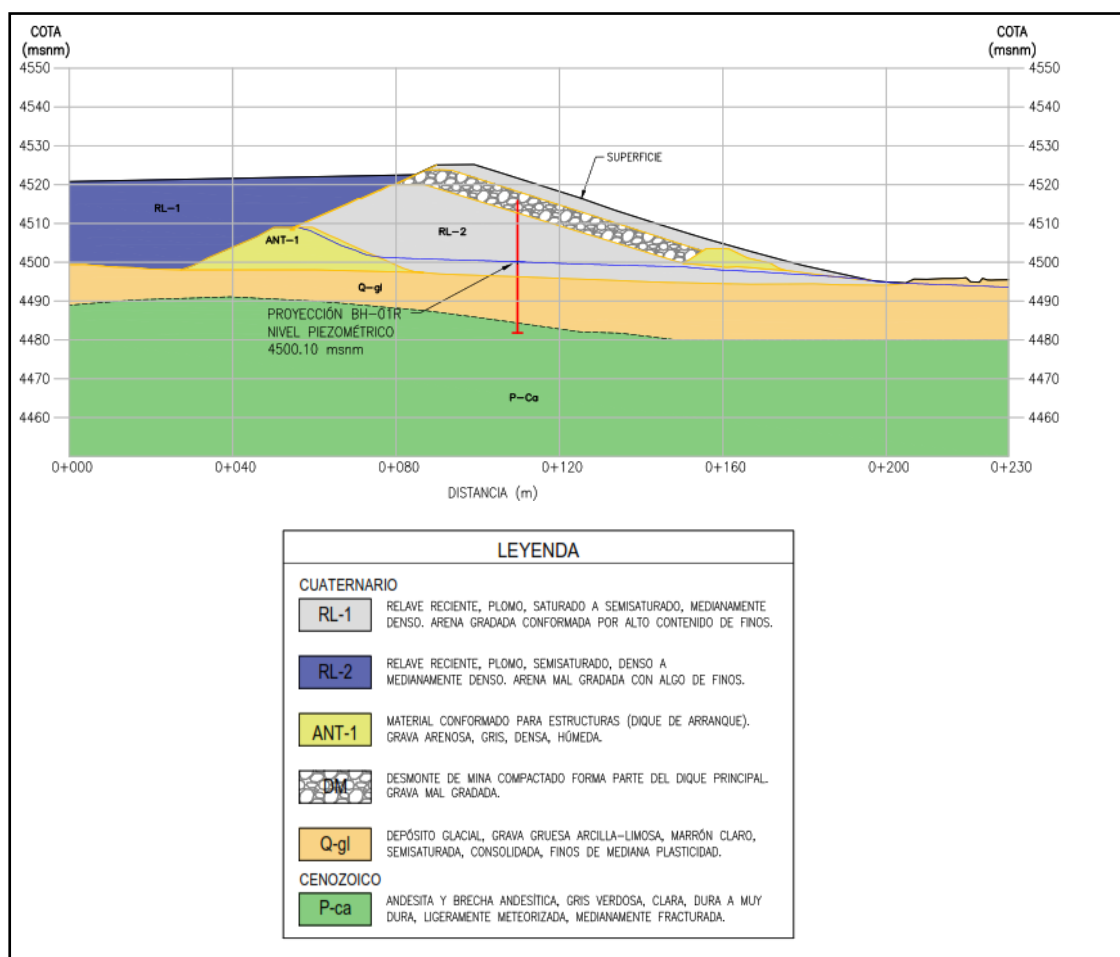
Se ha realizado dos secciones transversales A-A' y B-B' consideradas zonas de posible deslizamiento, de acuerdo al diseño utilizado para su construcción en la etapa de recrecimiento del 2021, cuyas componentes están conformadas por las siguientes unidades geológicas:

- Relave fino in situ (RL-1): Esta unidad está conformada por vertimientos reciente de relave fino, saturado a semi saturado, medianamente denso conformada por arenas gradadas con alto contenido de finos.
- Relave grueso compactado (RL-2): Material reciente constituido principalmente de arenas mal gradada con bajo contenido de finos, considerado suelo denso.
- Dique de arranque (Ant-1): Material reciente para formar el dique de arranque conformado por grava arenosa gris, material denso y húmedo.
- Cimentación (Q-gl): Conformado por depósito glacial, grava gruesa, consolidada con presencia de finos de baja plasticidad.

- Basamento rocoso (P-Ca): Conformado por rocas volcánicas andesitas y brechas andesíticas de coloración gris verdosa a clara, material duro a muy duro medianamente fracturado.

Figura 23

Sección geológica del área de estudio (A-A´)



Nota. Elaboración propia.

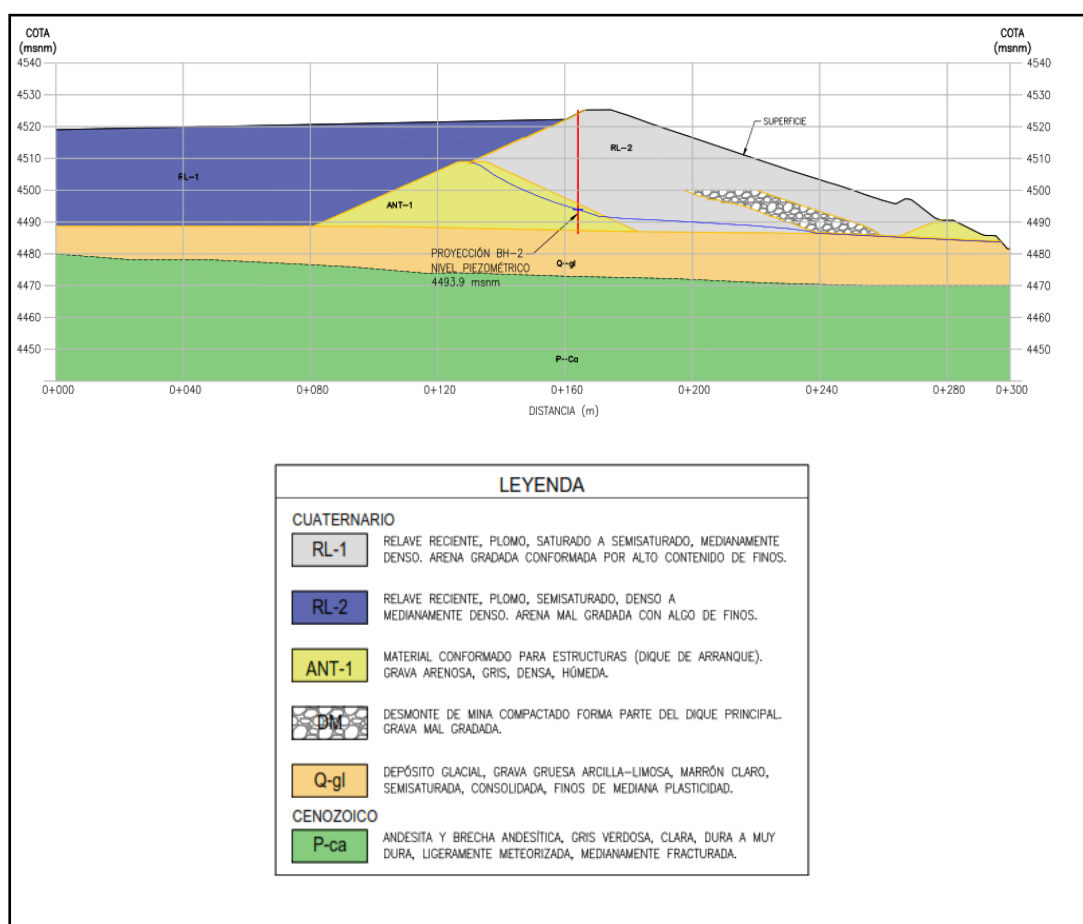
- Sección A-A´

En esta sección, se ubica en la progresiva 0+090. Analiza la estabilidad física del dique en la zona oeste del dique principal del depósito de relaves N° 2. Es la zona más crítica debido a la reciente reconstrucción realizada en el año 2018. Para este análisis, se

ha contemplado el modelo geológico y caracterización geotécnica. Asimismo, se consideran dos geometrías de análisis: en la primera, el dique principal alcanza la cota 4525 m.s.n.m. y, en la segunda, una proyección en la cota 4530 m.s.n.m. (véase anexo 5).

Figura 24

Sección geológica del área de estudio (B-B')



Nota. Elaboración propia.

- Sección B-B'

En esta sección, se ubica en la progresiva 0+115. Analiza la estabilidad física del dique en la zona central relacionado a la máxima carga a la que es sometido el dique

principal de acuerdo con la geomorfología de la quebrada Shipchoc. En la sección B-B', se consideran dos geometrías del dique principal para su análisis: la primera en la cota 4525 m.s.n.m. y la segunda en la cota 4530 m.s.n.m. (véase anexo 5).

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se muestran los resultados obtenidos del análisis de estabilidad y filtración de dos secciones (A-A' y B-B'), ubicadas en la zona oeste y central del dique utilizando método de equilibrio límite y elementos finitos. Para el análisis, se utilizaron dos geometrías distintas de acuerdo con las etapas constructivas, la primera etapa llega a la cota 4525 m.s.n.m. en el dique principal y la segunda alcanza la cota 4530 m.s.n.m., en ambas etapas de construcción se considera en el modelo un borde libre (distancia desde la cresta del dique aguas arriba de la estructura, hasta la superficie de la playa de relaves) de 2,0 m y 1,5 en la etapa 1 y etapa 2 respectivamente.

Considerando ambas etapas constructivas, se evaluarán dos escenarios: el primero considera una posible fuga en el revestimiento de geomembrana aguas arriba del dique principal, evaluando así un caso crítico y, en el segundo escenario, se evalúa la filtración y estabilidad, considerando el revestimiento de geomembrana en óptimas condiciones, en la pared del dique principal aguas arriba del depósito de relaves.

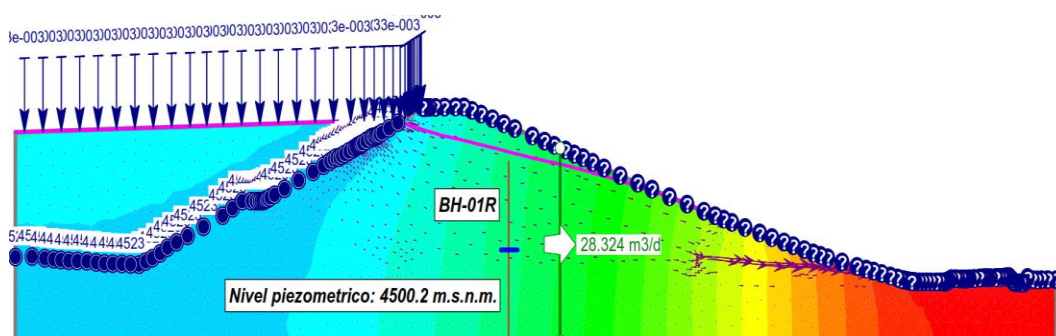
Para el método de elementos finitos, se usó un flujo de régimen estacionario y configuró las condiciones de borde considerando los niveles piezométricos próximos a las secciones de evaluación. Asimismo, para el equilibrio límite, se utilizó el método de análisis Spencer que satisface el equilibrio de fuerzas y momentos. Se obtuvo un total de 16 análisis de estabilidad física.

5.1. Análisis de filtraciones del depósito de relaves N° 2

5.1.1. Análisis de filtraciones sin considerar la instalación de geomembrana en el dique principal del depósito de relaves.

Figura 25

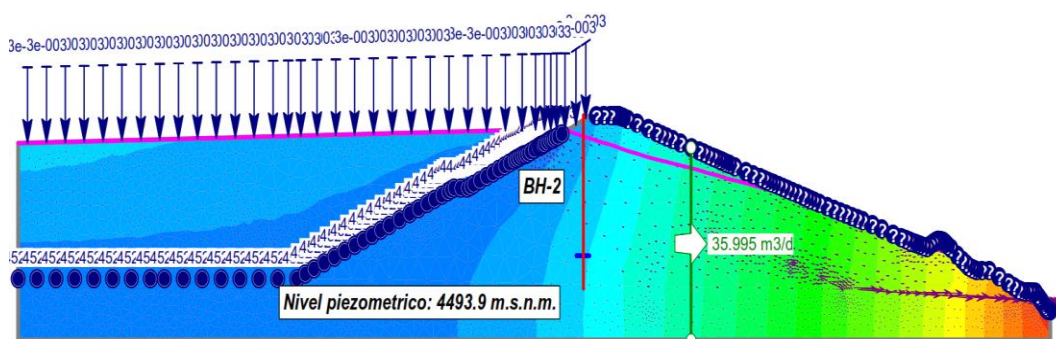
Filtraciones en la sección A-A', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m.



Nota. Elaboración propia.

Figura 26

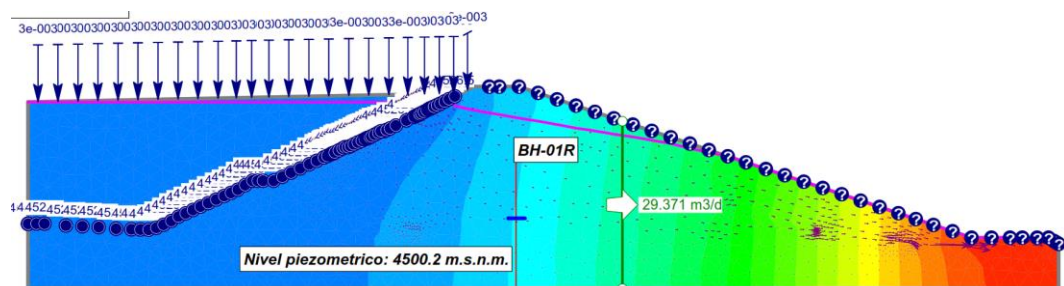
Filtraciones en la sección B-B', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m.



Nota. Elaboración propia.

Figura 27

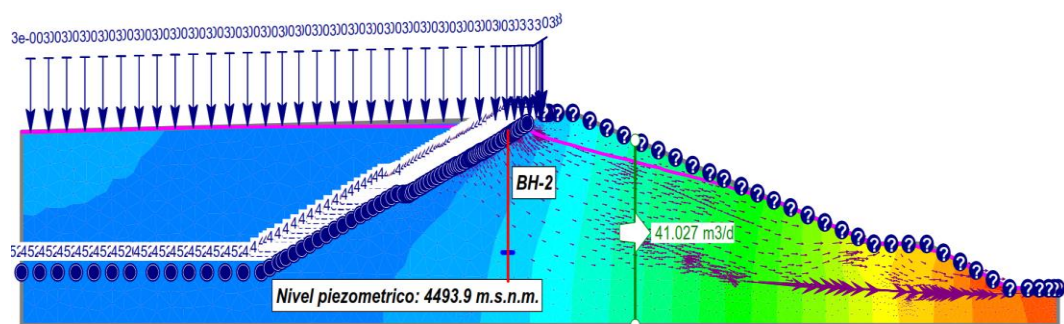
Filtraciones en la sección A-A', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m.



Nota. Elaboración propia.

Figura 28

Filtraciones en la sección B-B', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 10

Resumen de cálculo de caudales totales de las secciones A-A' y B-B' (cota 4525 m.s.n.m. – 4530 m.s.n.m.) – sin considerar geomembrana en el dique principal

Etapa	Sección	Caudal unitario m³/día/m	Ancho considerado m	Caudal total L / s
Etapa 1	A - A'	28,32	109	35,32
	B - B'	35,99	221	92,04
Etapa 2	A - A'	29,37	109	37,04
	B - B'	41,02	221	104,86

Nota. Elaboración propia.

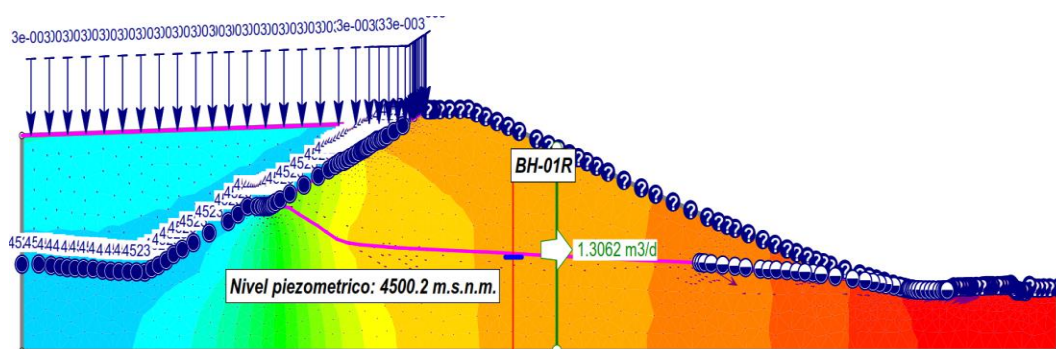
En la etapa 1, a una cota de 4525 m.s.n.m., las evaluaciones de filtración en la sección A-A' y B-B' presentan caudales totales de 35,32 y 92,04 L/s respectivamente (véase figuras 25 y 26), donde se aprecia que la curva piezométrica inicia en la superficie del relave fino o playa del depósito y, al entrar en contacto con la pared del dique, se filtra por la permeabilidad del relave grueso. Es así que satura la estructura en su totalidad, aflorando en la pared del dique aguas abajo y, al aumentar la presencia del agua y ocupar los espacios vacíos entre los granos del material, aumenta la presión de poros y disminuye la resistencia al corte de los materiales, generando así la inestabilidad de la estructura.

En la etapa 2, a una cota de 4530 m.s.n.m., se realizaron dos análisis de filtración en las mismas secciones A-A' y B-B' presentando un ligero aumento de caudal total de 37,04 y 104,86 L/s respecto a la evaluación realizada en la etapa 1. En el análisis de filtración, se evidencia una altura de la carga de saturación en la sección A-A' a los $H_w = 25$ m aproximadamente; mientras que, en la sección B-B', alcanza una altura $H_w = 34$ m. Es así que, al aumentar la presión de poros en el dique, se tiene el afloramiento de la superficie piezométrica aguas abajo a una altitud de 4505 m.s.n.m. (véase figura 27 y 28).

5.1.2. Análisis de filtraciones considerando la instalación de geomembrana en el dique principal del depósito de relaves

Figura 29

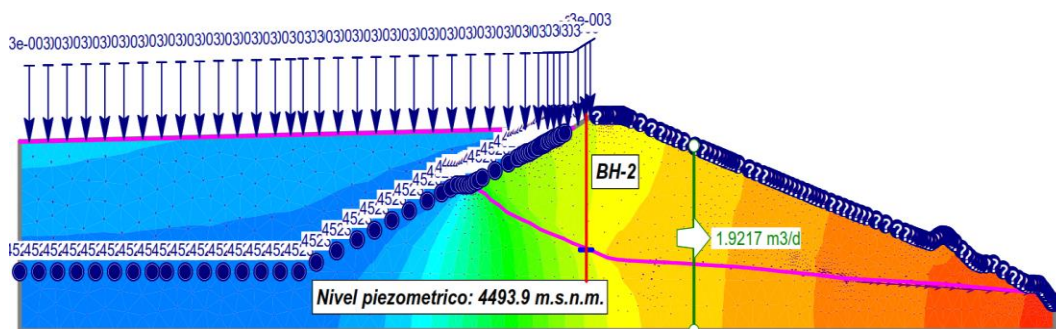
Filtraciones en la sección A-A', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m.



Nota. Elaboración propia.

Figura 30

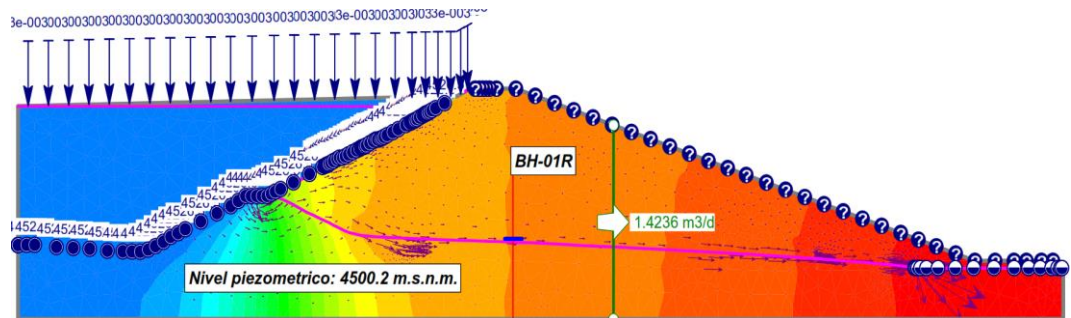
Filtraciones en la sección B-B', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m.



Nota. Elaboración propia.

Figura 31

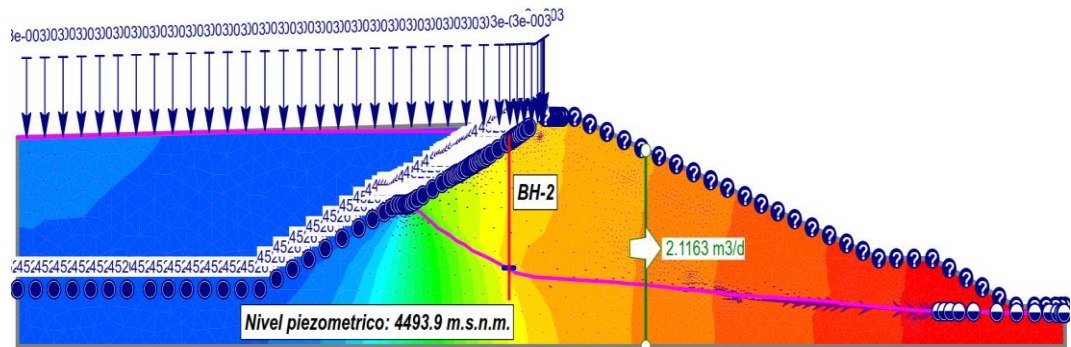
Filtraciones en la sección A-A', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m.



Nota. Elaboración propia.

Figura 32

Filtraciones en la sección B-B', del dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

Resumen de cálculo de caudales totales de las secciones A-A' y B-B' (cota 4525 m.s.n.m. – 4530 m.s.n.m.) – considerando geomembrana en el dique principal

Etapa	Sección	Caudal unitario m³/día/m	Ancho considerado m	Caudal total L / s
Etapa 1	A - A'	1,30	109	1,64
	B - B'	1,92	221	4,91
Etapa 2	A - A'	1,42	109	1,79
	B - B'	2,11	221	5,39

Nota. Elaboración propia.

En la etapa 1, se realizaron dos evaluaciones de filtración en la sección A-A' y B-B', esto considerando la instalación de geomembrana en la cara libre del talud que contiene los relaves. Siendo la etapa 1 la condición actual del depósito de relaves, se refleja como la superficie freática, filtra por el contacto entre el dique de arranque y relaves gruesos, hasta aflorar en el pie del talud en la poza de filtraciones. El caudal total disminuye enormemente, al ser más largo el trayecto de filtración, con caudales de 1,64 y 4,91 m³/s. Es así que, al disminuir el caudal la presión de poros, se mantiene normal, sin afectar la resistencia al corte de los materiales (véase figura 29 y 30).

En la etapa 2, se realizaron dos evaluaciones de filtración en la sección A-A' y B-B'. Siendo la etapa 2 la proyección de recrecimiento, se refleja como la superficie freática, filtra por el contacto entre el dique de arranque y relaves gruesos, hasta aflorar en el pie del talud en la poza de filtraciones. El caudal total disminuye al ser más largo el trayecto de filtración, esto debido a la ubicación de la geomembrana. Se obtuvo caudales totales de 1,79 y 5,39 m³/s, los cuales no generan un ascenso de presión de poros (véase figura 31 y 32).

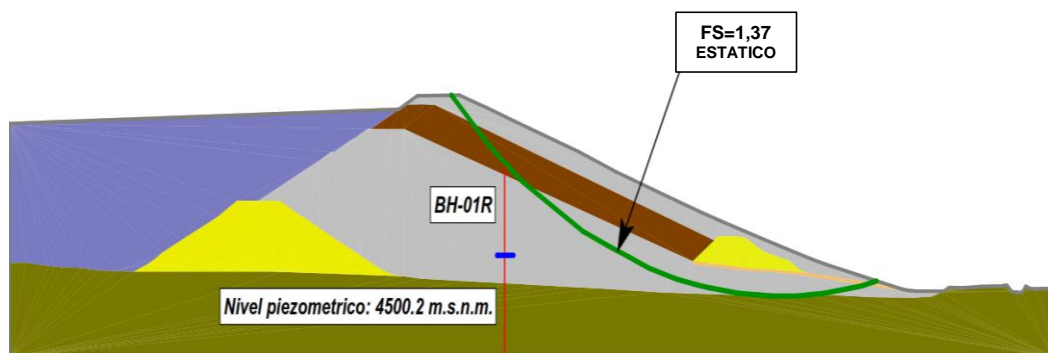
5.2. Análisis de estabilidad física

5.2.1. Análisis de estabilidad física sin considerar geomembrana

Se realizó un total de 08 análisis de estabilidad para las etapas de recrecimiento del depósito de relaves, sin considerar la instalación de geomembrana en el dique principal (véase anexo 6).

Figura 33

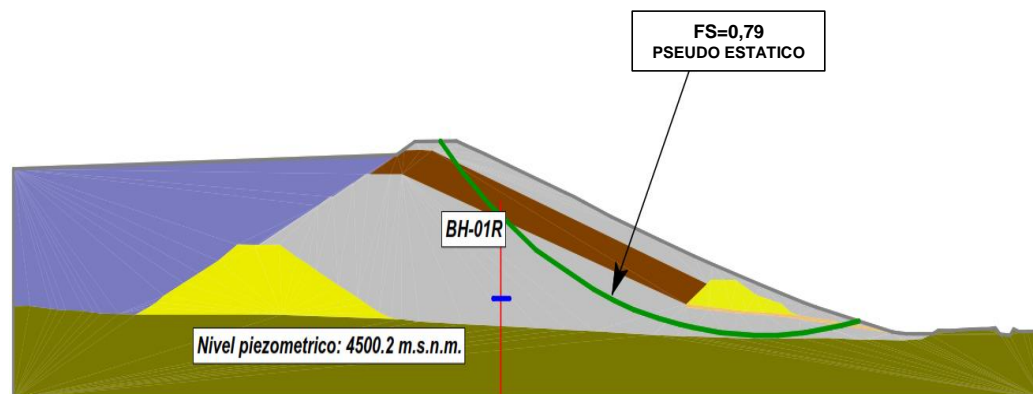
Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4525 m.s.n.m. (condición estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 34

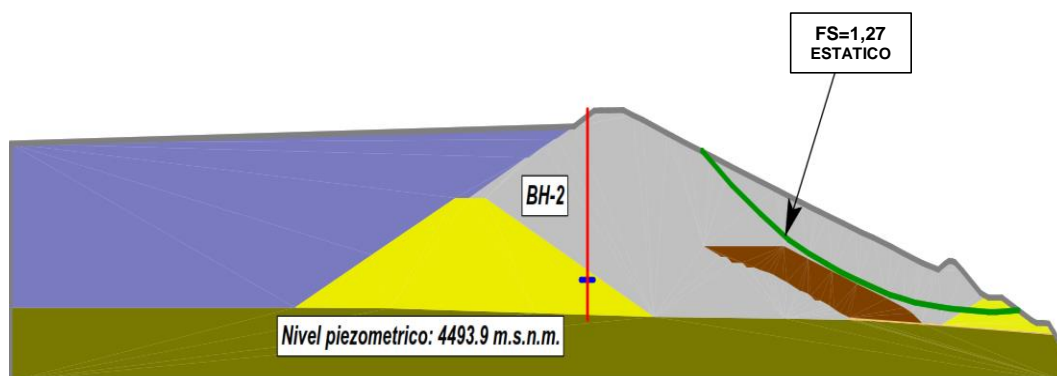
Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición pseudo estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 35

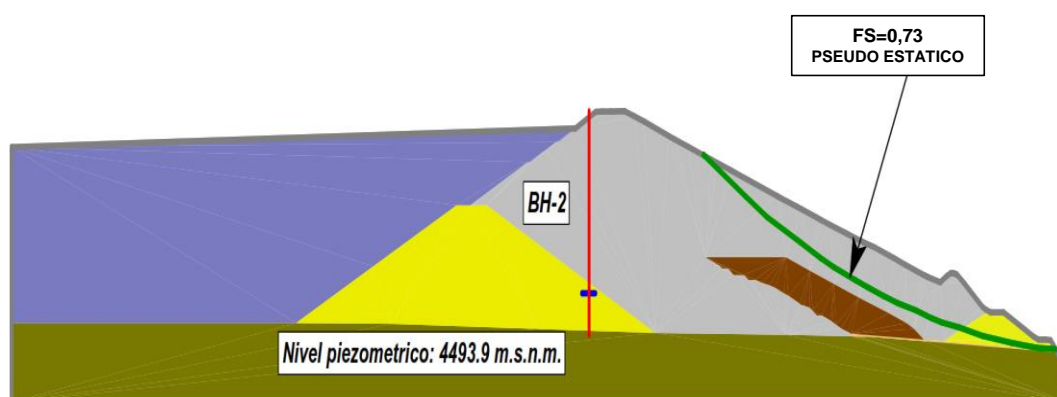
Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 36

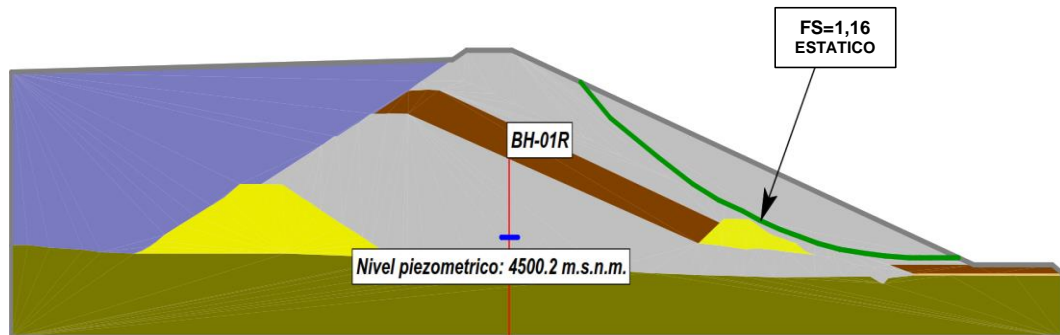
Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición pseudo estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 37

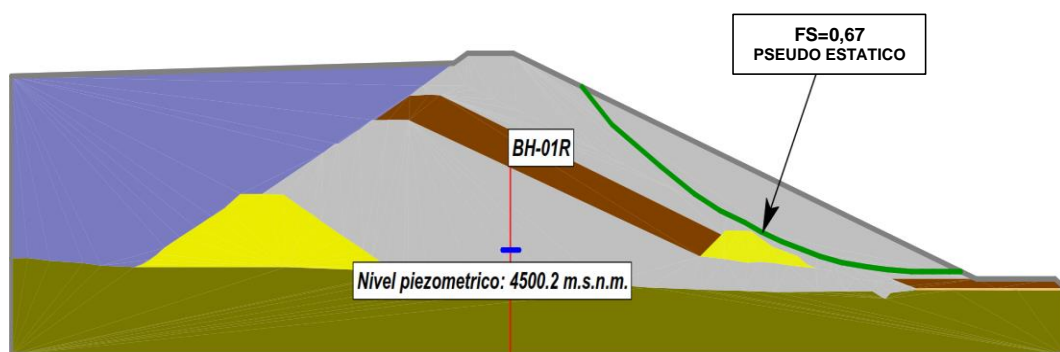
Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m. (condición estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 38

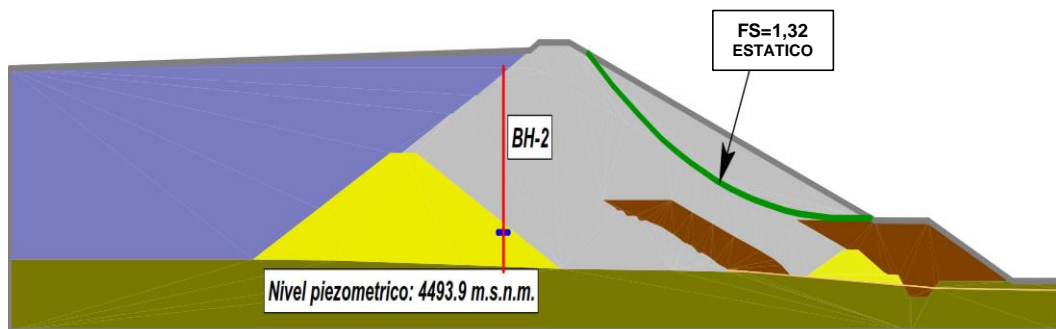
Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m. (condición pseudo estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 39

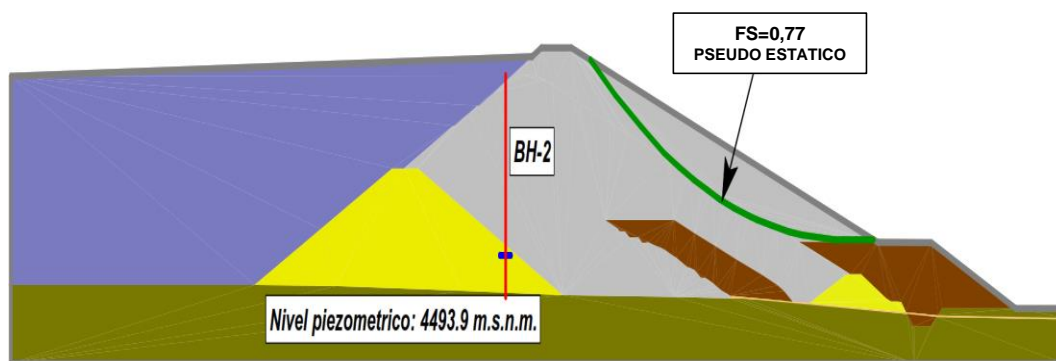
Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m. (condición estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 40

Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4530 m.s.n.m. (condición pseudo estática)



Nota. Elaboración propia.

Tabla 12

Factores de seguridad de las secciones A-A' y B-B' en la etapa 1 y 2 (cota 4525 - 4530 m.s.n.m. respectivamente) – sin considerar geomembrana en el dique principal

Etapa	Sección	Factor de seguridad		Método
		Estática	Pseudo estática	
Etapa 1	A-A'	1,37	0,79	Spencer
Etapa 1	B-B'	1,27	0,73	Spencer
Etapa 2	A-A'	1,16	0,67	Spencer
Etapa 2	B-B'	1,32	0,77	Spencer

Nota. Elaboración propia.

En la etapa 1, a una altitud de 4525 m.s.n.m., se realizó la evaluación de estabilidad física de dos secciones A-A' y B-B' ubicadas en la zona oeste y central del dique, ambas en condición estática y pseudo estática, considerando que no existe geomembrana en el dique principal de la presa de relaves (véase tabla 10). Los factores de seguridad obtenidos en la sección A-A', en condición estática fueron igual a 1,37, y en condición pseudo estática fueron igual a 0,79 con una carga sísmica igual a 0,19 (véase figura 33 y 34). De la misma manera, en la sección B-B', se obtuvo un factor de seguridad menor a 1,5, en condición estática y menor a 1 en condición pseudo estática (véase figura 35 y 36). Estos resultados no son favorables para la estabilidad física, siendo relacionados a la inexistencia de geomembrana en el dique principal.

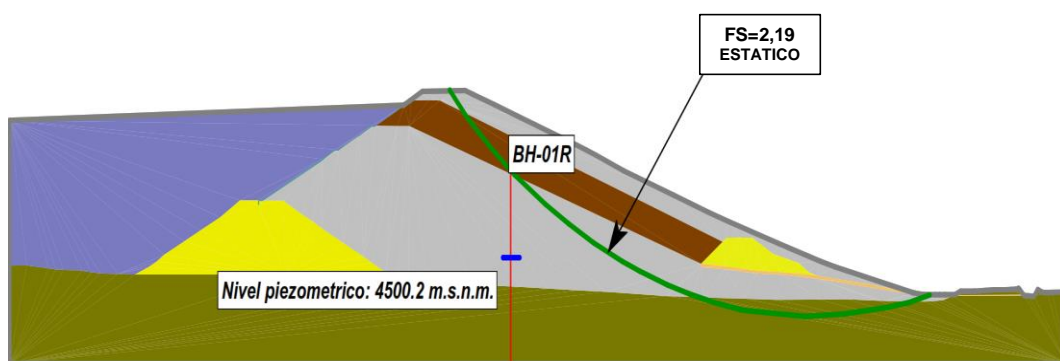
La etapa 2 con una altitud de 4530 m.s.n.m. tiene un comportamiento similar a la etapa 1, con factores de seguridad poco favorables para la estabilidad del dique principal en la sección A-A' (véase figura 37 y 38) y sección B-B' (véase figura 39 y 40).

5.2.2. Análisis de estabilidad física considerando la instalación de geomembrana

Se realizó un total de 08 análisis de estabilidad para las etapas de recrecimiento del depósito de relaves considerando la instalación de geomembrana en el dique principal (véase anexo 7).

Figura 41

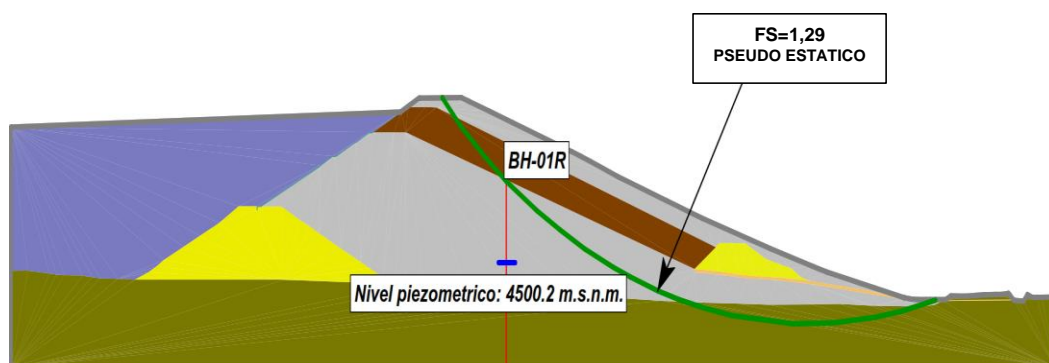
Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 42

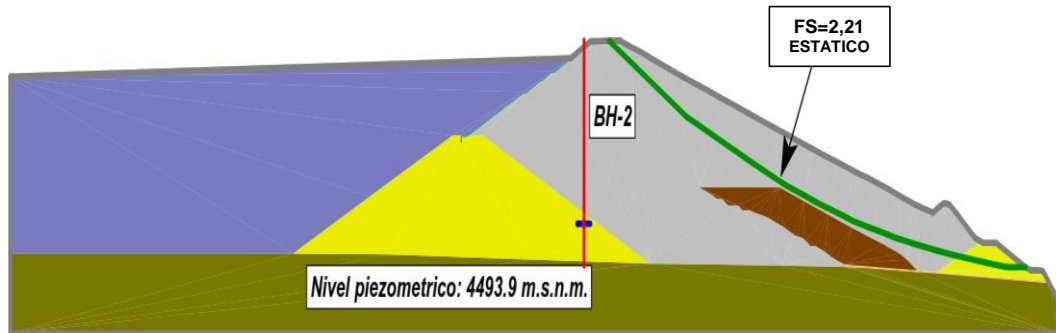
Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición pseudo estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 43

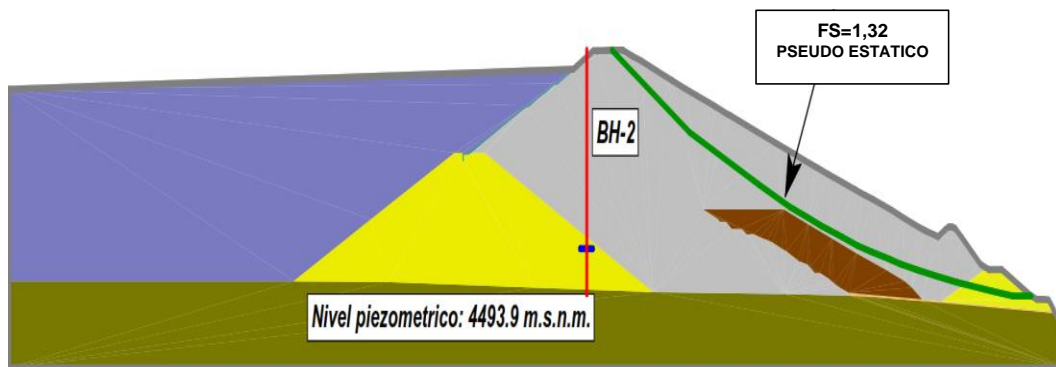
Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 44

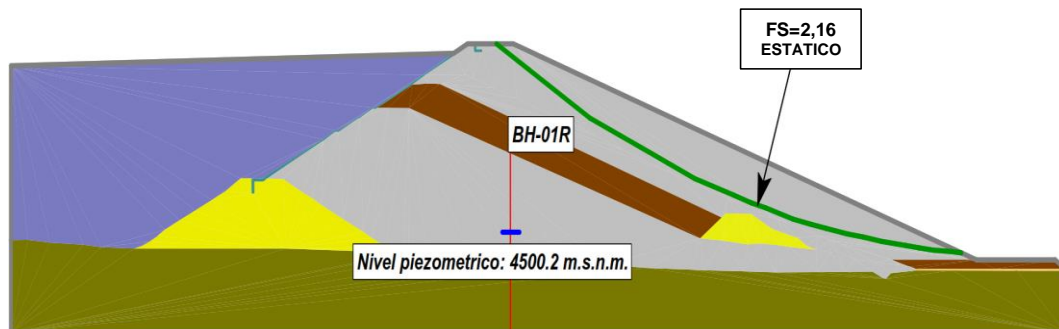
Factor de seguridad (F.S.) en la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota 4525 m.s.n.m. (condición pseudo estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 45

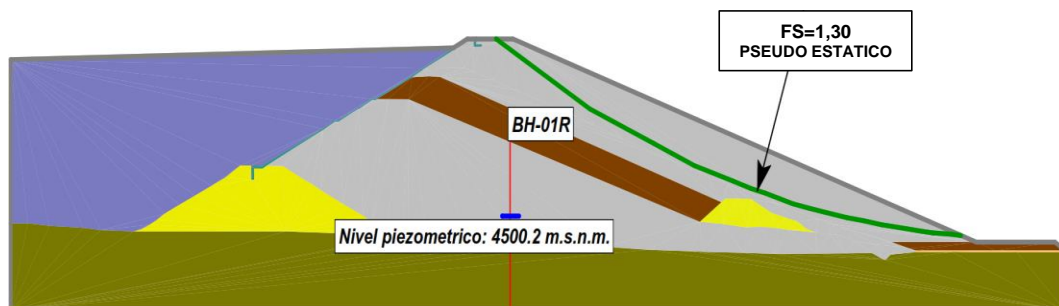
Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4530 m.s.n.m. (condición estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 46

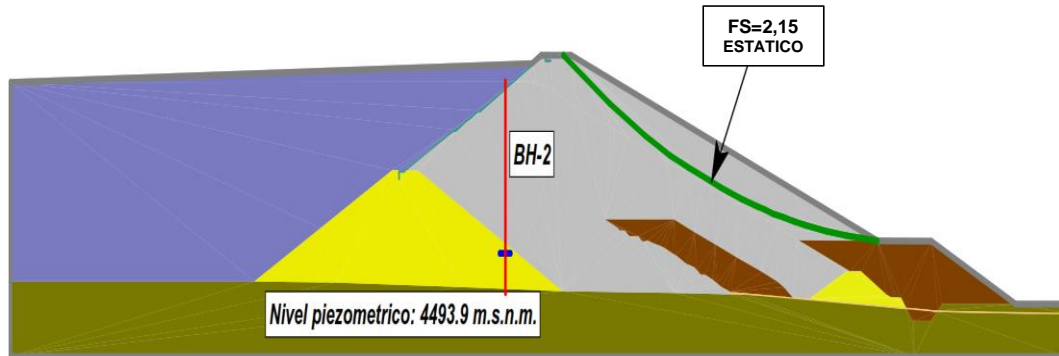
Factor de seguridad (F.S.) de la sección A-A', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4530 m.s.n.m. (condición pseudo estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 47

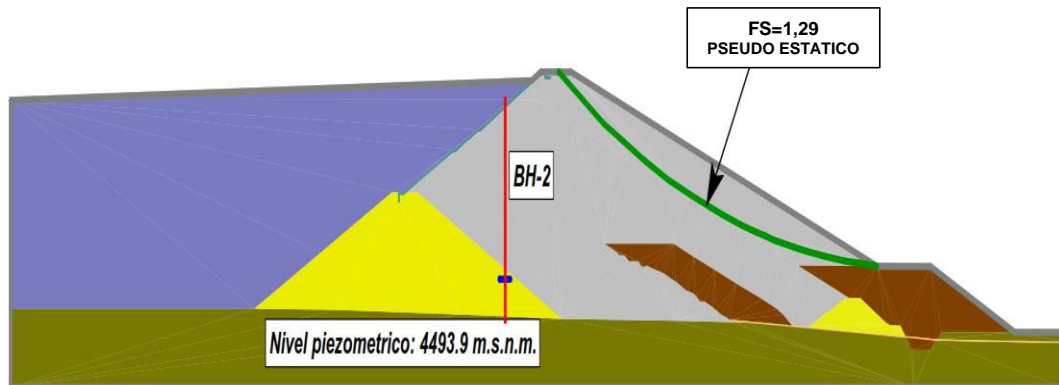
Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4530 m.s.n.m. (condición estática)



Nota. Elaboración propia.

Figura 48

Factor de seguridad (F.S.) de la sección B-B', en el dique principal del depósito de relaves, en la cota de 4530 m.s.n.m. (condición pseudo estática)



Nota. Elaboración propia.

Tabla 13

Factores de seguridad de las secciones A-A' y B-B' en la etapa 1 y 2 (cota 4525 - 4530 m.s.n.m. respectivamente) – considerando geomembrana en el dique principal

Etapa	Sección	Factor de seguridad		Método
		Estática	Pseudo estática	
Etapa 1	A-A'	2,19	1,29	Spencer
	B-B'	2,21	1,32	
Etapa 2	A-A'	2,16	1,30	Spencer
	B-B'	2,15	1,29	

Nota. Elaboración propia.

En la etapa 1, a una altitud de 4525 m.s.n.m., se realizó la evaluación de estabilidad física de dos secciones A-A' y B-B' ubicadas en la zona oeste y central del dique, ambas en condición estática y pseudo estática. En este caso, se asume la instalación de geomembrana en el dique principal de la presa de relaves (véase tabla 11). Los factores de seguridad obtenidos en la sección A-A', en condición estática fueron igual a 2,19, y en condición pseudo estática con una carga sísmica igual a 0,19 se obtuvo un factor de seguridad a 1,29 (véase figura 41 y 42). De la misma manera, en la sección B-B', se obtuvo un factor de seguridad estático igual a 2,21 y un factor de seguridad pseudo estático igual a 1,32 (véase figura 43 y 44). Estos resultados son favorables para la estabilidad física y son relacionados a la baja permeabilidad de la geomembrana en el dique principal.

La etapa 2 con una altitud de 4530 m.s.n.m. tiene el mismo comportamiento de la etapa 1, con factores de seguridad aceptables para la estabilidad del dique en la sección A-A' (véase figura 45 y 46) y sección B-B' (véase figura 47 y 48).

5.3. Validar geometría que satisface los análisis de estabilidad físico del depósito de relaves N° 2

En el análisis de estabilidad física y filtraciones, para la etapa de recremento, se ha utilizado las secciones A-A' y B-B' (véase 23 y 24), donde el dique principal tiene las siguientes características geométricas que si cumplen con la estabilidad:

- Altitud de dique 4530 m.s.n.m.
- Borde libre aguas arriba 1,5 m.
- Ancho de berma 10 m.
- Angulo de talud aguas abajo 3H:1V

La geometría para el recremento de la presa de relaves cumple con los factores de seguridad aceptables de acuerdo con los análisis físico realizados (véase figura 45 y 47).

CONCLUSIONES

- Primera.** El depósito de relaves se encuentra ubicado sobre macizos volcánicos conformada por rocas andesitas predominando el Grupo Calipuy, con la presencia de material morrénico y depósitos pluviales.
- Segunda.** Se ha realizado un total de 16 análisis de estabilidad física y 8 análisis de filtraciones en las distintas etapas de recrecimiento por el método de equilibrio límite y elementos finitos respectivamente. Obteniendo como resultados de la estabilidad física, 8 análisis en el escenario 1 (sin considerar revestimiento) que no cumplen los factores mínimos aceptables, con filtraciones superiores a 28 m³/día en el dique.
- Tercera.** El análisis de estabilidad físico en condición pseudo estática utiliza una aceleración sísmica de 0,19 g, obteniendo factores de seguridad superiores a 1,1 (al considerar geomembrana) y factores de seguridad menor a 1 cuando no se considera la geomembrana en el dique principal. Confirmando la estabilidad física en las etapas de recrecimiento, cuando sí se considera la impermeabilización del dique.
- Cuarta.** En el modelo de entrada del análisis de filtración, se ingresó la precipitación pluvial; en el escenario más conservador en condición estática, se observó factores de seguridad aceptables y una curva piezométrica que ingresa por el contacto entre el dique de arranque y material de relaves grueso compactado, con un caudal mínimo, debido a la distancia de recorrido y propiedades de permeabilidad de los materiales.

- Quinta.** Se concluye que el revestimiento de geomembrana en el dique principal favorece la estabilidad de la estructura, en las etapas de recrecimiento del depósito de relaves.
- Sexta.** Se han utilizado los parámetros geotécnicos de los materiales con los que se realizará el recrecimiento del depósito de relaves (véase tabla 2) y parámetros geométricos de diseño, garantizando la estabilidad física y de filtración en condiciones estáticas y pseudo estáticas, solo cuando consideramos la impermeabilización con geomembrana del dique principal.
- Sétima.** Se concluye ante una posible rotura de la geomembrana, el material de relave compactado es alcanzado rápidamente por la curva piezométrica, aumentando la presión de poros en el material, incrementando la ocurrencia de una rotura o superficie de falla.
- Octava.** Es de suma importancia la instrumentación geotécnica (piezómetros de casagrande). Permite mantener en el control de la curva piezométrica y correlacionarla a algún problema interno que pudiera originarse en el dique principal. Asimismo, permitió calibrar el modelo de filtración, observando su comportamiento mediante los vectores de flujo, que atraviesan el contacto del dique de arranque y relaves compactado, hasta ingresar al sistema de sub drenaje del depósito sin desestabilizar la estructura.

RECOMENDACIONES

- Primera.** En el primer escenario de evaluación, considerando una fuga o en caso de fuga o falla del revestimiento de geomembrana, se recomienda realizar un sub dren vertical que conecte la capa drenante y elimine el excedente de filtración evitando el aumento de la presión de poros, en consecuencia, aumente el factor de seguridad y disminuya la probabilidad de falla en el dique.
- Segunda.** De acuerdo con los criterios considerados en la evaluación, se tiene material de relave y desmonte, los cuales son considerados generadores de acidez siendo el principal componente del depósito de relaves, por lo que se debería contemplar un análisis geoquímico, para una mejor integración de datos en el análisis de estabilidad y filtración.
- Tercera.** Realizar mayores auscultaciones geotécnicas in situ y analizar la estabilidad física en distintos softwares que permitan realizar una comparación del factor de seguridad en distintos escenarios, de acuerdo con las etapas de recrecimiento hasta la geometría final de diseño.
- Cuarta.** Realizar la implementación de control de caudales en la poza colectora del depósito de relaves N° 2, relacionar los caudales obtenidos con los resultados del análisis de filtración.
- Quinta.** Continuar inspecciones y monitoreo geotécnico de manera continua en el depósito de relaves N° 2, verificando el mantenimiento de la instrumentación geotécnica y su correcto funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alagón, D. (2018). *Análisis del flujo de filtraciones para la estabilidad física del deslizamiento cerro Tumbay Orcco Lucre – Cusco 2018*. Lima – Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Alcides , G. (2016). *Conceptos básicos sobre relaves*. Iquique - Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- ANCOLD. (2012). *Guidelines on tailings dams planning, design, construction, operation and closure*. Obtenido de Gobierno de Australia: <https://www.ancold.org.au/wp-content/uploads/2012/11/Guidelines-onPlanning-esign-Construction-Operation-and-Closure-of-Ta>
- Arroyo, M. y Gents, A. (2020). *La falla de la presa de relaves de Brumadinho*. Barcelona – España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Bernal, A. (2012). *Estabilidad sísmica en presa de relave construida por el método de eje central*. Santiago – Chile: Universidad de Chile.
- Bishop, A. (1955). The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Geotechnique.Great Britain*,, Vol. 5, No. 1, Mar., pp. 7-17.
- Brandão, V., Cecílio, R., Pruski, F. y Silva, D. (2010). *Infiltração da Água no solo*. Brasil: UFB.
- Canadian Dam Association. (2013). *Dam safety guidelines 2007*. Association Canadienne des Barrages.
- Cavalcanti, A. y Quintana, J. (2020). *Análisis de filtraciones y estabilidad física de la presa Vizcachas - en dos fases de ejecución*. Lima – Perú: Universidad Ricardo Palma.

- Cordero, L. (2017). *Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra para suelos parcialmente saturados*. Santa Clara – Cuba: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Duque, G. (2017). *Manual de geología para ingenieros*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/330/movimientosmasales.pdf>
- Estrada, V. y Soberanis, J. (2014). *Estabilidad de Taludes en suelos*. Coyoacán – México: Universidad Autónoma de México.
- Flores, R. (2003). *Efecto del flujo de agua en la estabilidad de taludes*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Gonzales, L. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson.
- Ingemmet. (1996). *Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Union, Chiquian y Yanahuanca*. Lima – Perú. Hoja 20 – h.
- Kiernan, P. (2016). *Las presas de desechos de los minerales crecen en tamaño y en riesgos*. New York - Estados Unidos: The Wall Street Journal Americas.
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey – USA: Prentice Hall.
- Lincuna. (2021). *Proceso metalúrgico en la planta concentradora*.
- Maturano, H. (2019). *Potencial de liquefacción estática en el recrecimiento de una represa de relaves*. Cancún – México: International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Medina, F., Choque, K. y Ysuiza, J. (2020). *Instrumentación geotécnica de presas*. Lima – Peru.: Geoinstruments.

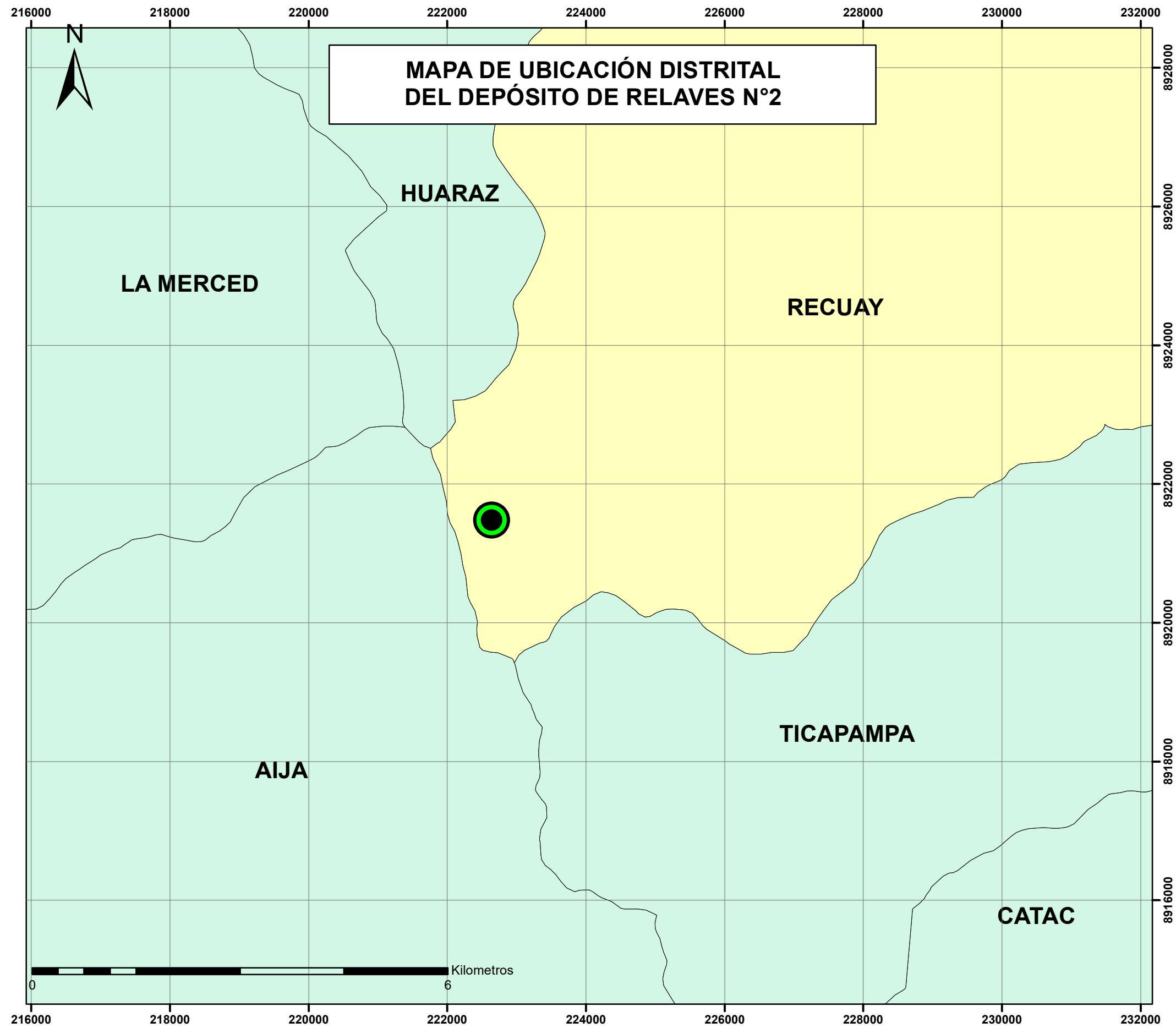
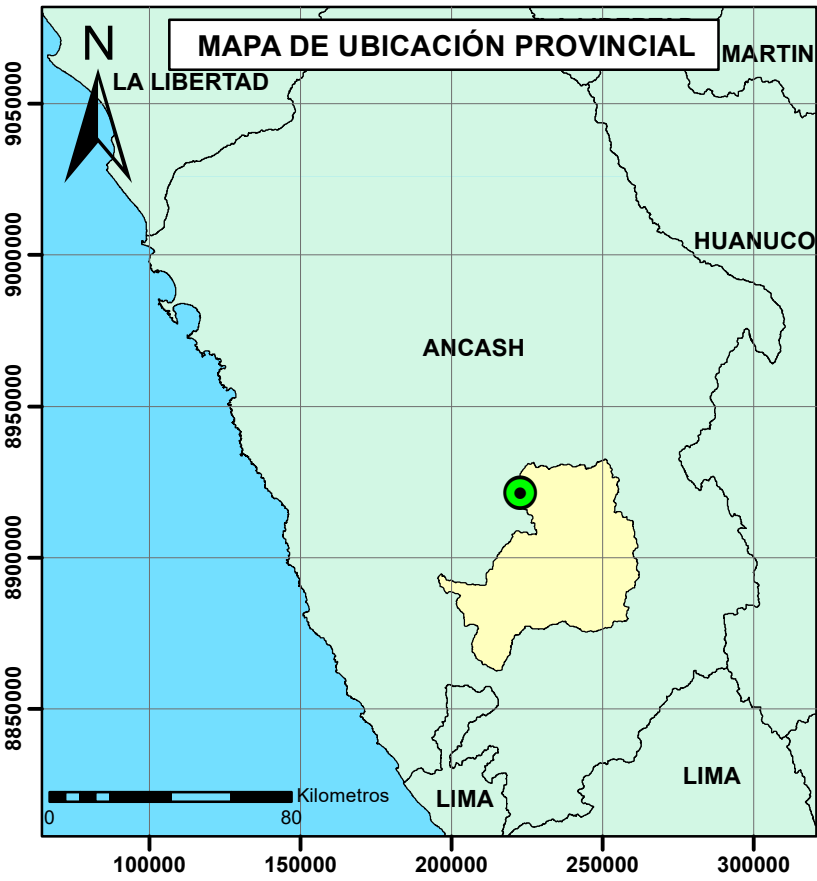
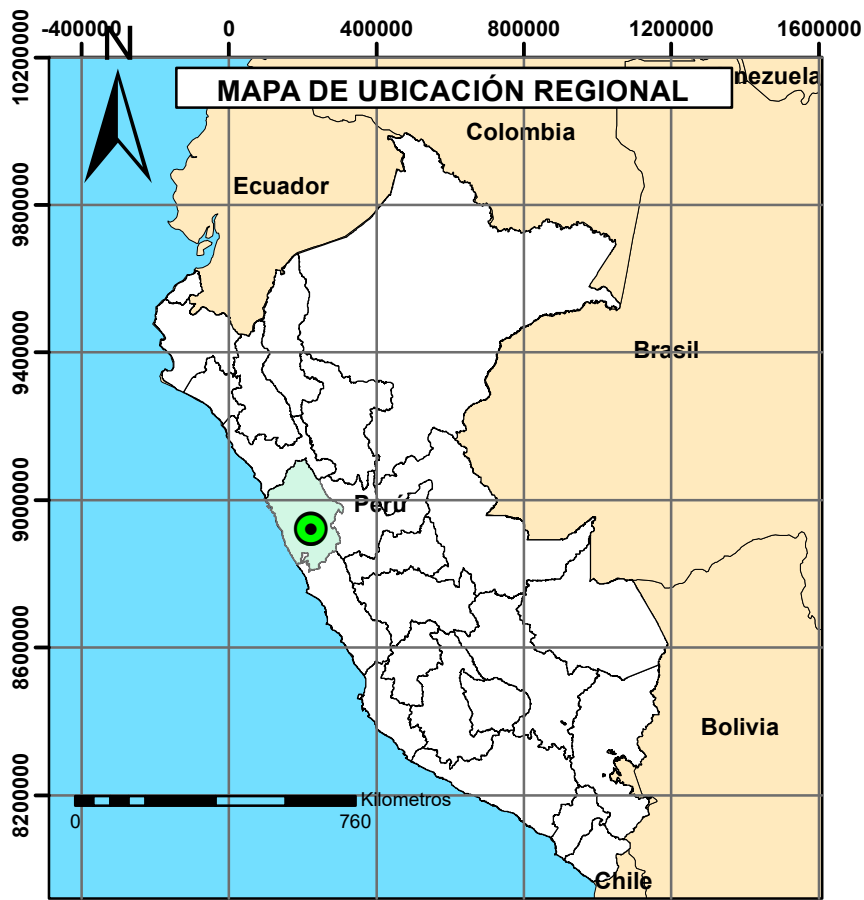
- Mogollón, H. M. (1996). *Análisis de riesgo de fallas en presas*. México: La Comisión Internacional de Grandes Presas ICOLD.
- Morgenstern, N. y Price, V. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Géotechnique*, 15(1): 79–93.
- Oyola, V. (2006). *Causas y mecanismos de fallas en presas de relaves*. Instituto de la Construcción y Gerencia: Lima – Perú.
- Perez, E. (2005). *Estabilidad de taludes*. Catalunya – España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Pérez, M. (2018). *Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna*. Lima – Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ramírez, N. (2007). *Guía técnica de operación y control de depósito de relaves*. Santiago – Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería Departamento de Seguridad Minera.
- SENAMHI. (2013). *Precipitaciones medias mensuales de las estaciones Recuay*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>
- Spencer, E. (1967). A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces. *Géotechnique*, 17(1): 11–26.
- Tavera, H. (2014). *Evaluación de peligro sísmico en Perú*. Lima – Perú: Instituto Geofísico del Perú.

- Tavera, H. (2019). *Estabilidad física, química e hidrológica 3 desmontaras y 2 relaveras de la Unidad Minera Huancapetí*. Lima – Peru: Consultores en geofísica y geología.
- Toro, M. (2009). *Evaluación de filtraciones en presas modelación numérica de flujo en medios porosos saturados y no saturados*. Santiago – Chile: Universidad de Chile.
- Torres, C. (2020). *Análisis de infiltración en lagunas de salmuera*. Lima – Perú: Universidad Nacional de ingeniería.
- Vega, A. (2020). *Organismo superior de la inversión en energía y minería*. Lima – Perú: Supervisión en geotecnia.
- Yepes, S. (2020). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Obtenido de Colección Manual de Referencia:
<https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/tubificacion/>

ANEXOS

Anexo 1

Plano de ubicación del depósito de relaves N°2.



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERO CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA



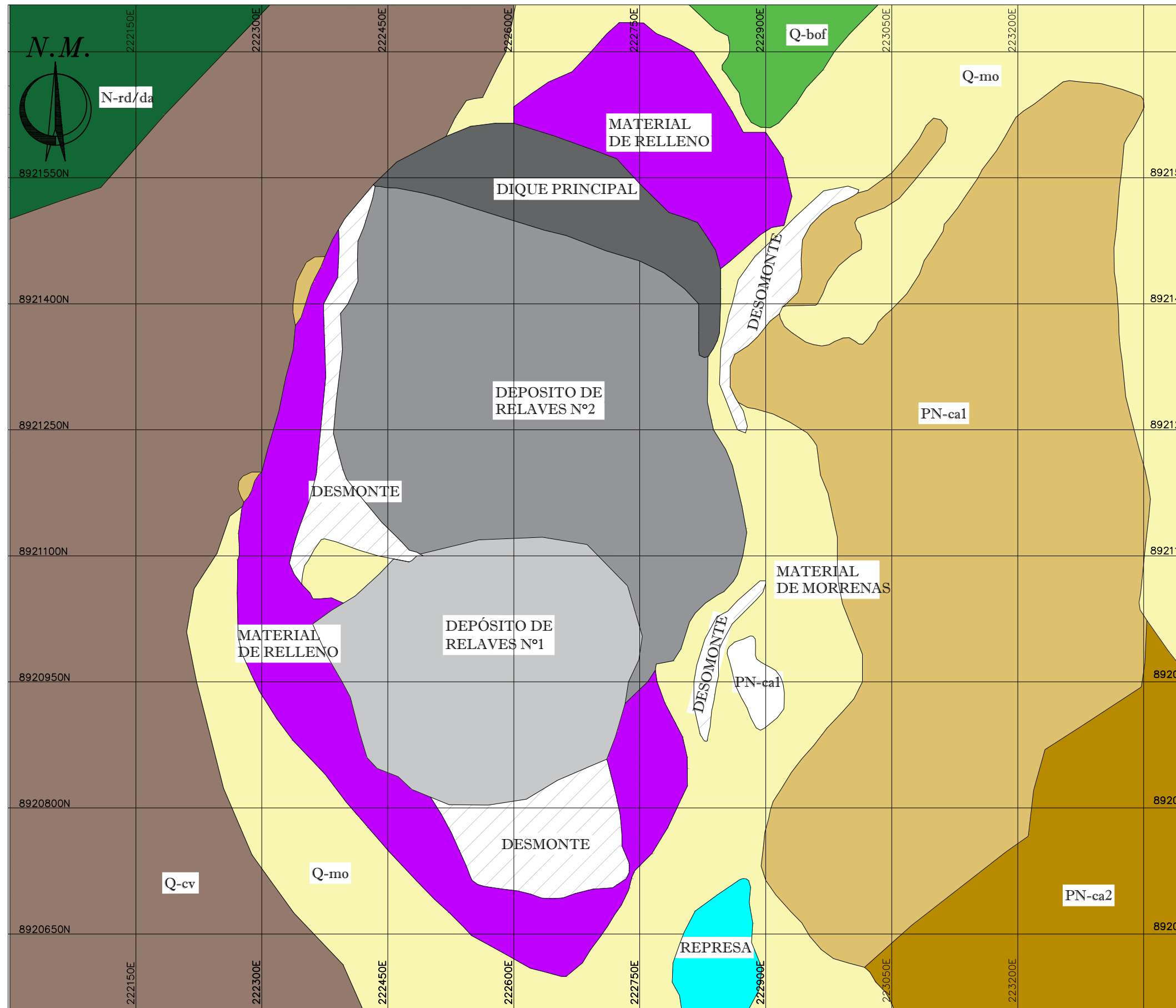
TITULO DE TESIS:
ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN Y ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVES N°2 EN EL RECRECIMIENTO DEL AÑO 2021 UNIDAD MINERA HUANCAPETI - RECUAY

NOMBRES	FECHA	FIRMA
DIBUJADO: B. QUECAÑO	OCT-2021	
DIBUJADO: B. QUECAÑO	OCT-2021	
FUENTE: GEOCATMIN		

PLANO DE UBICACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES N°2			
ESC: INDICADA	FECHA: OCT-2021	PLANO: 01	REV: 0

Anexo 2

Plano geológico de la zona de estudio.



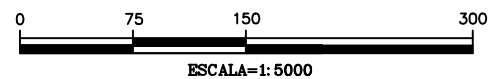
LEYENDA

ERA	SISTEMA	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS IGNEAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	DEPOSITOS COLUVIALES	RIODACITA	
		DEPOSITOS MORRENICO		
		DEPOSITOS BOFEDALES		
		GRUPO CALIPUY	NEOGENO	

COMPONENTES ANTROPICOS

- DEPÓSITO DE RELAVE1
- DEPÓSITO DE RELAVE2
- DIQUE PRINCIPAL
- MATERIAL DE RELLENO
- DESMONTE
- REPRESA

PLANTA



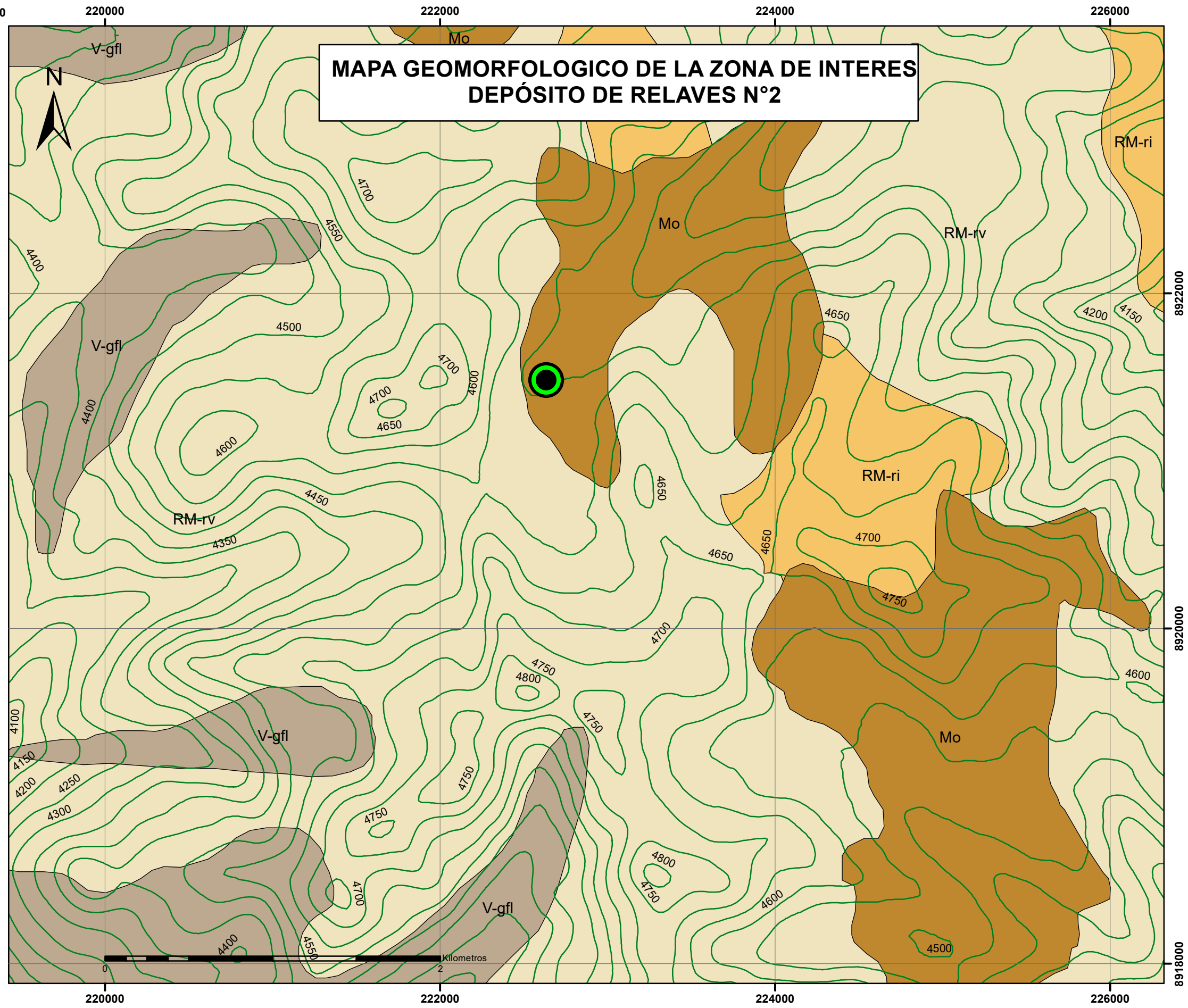
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA - GEOTECNIA

TITULO DE TESIS			
ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN Y ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVES N° 2 EN EL RECRECIMIENTO DEL AÑO 2021- UNIDAD MINERA HUANCAPETI-RECUAY			
NOMBRES		FECHA	FIRMAS
DISEÑADO POR: B.QUECAÑO		OCT	
DIBUJADO POR: B.QUECAÑO		OCT	
FUENTE: CIA LINCUNA			
APROBADO POR:			
UNIBG	ESC:	FECHA:	PLANO N°:
	INDICADA:	OCT 2021	04
			REV. 03

GEOLOGIA LOCAL

Anexo 3

Plano geomorfológico de la zona de estudio.




LEYENDA

DEPÓSITO DE RELAVES N°2

CURVAS 50 m

**Unidad geomorfológica
etiqueta**

- Mo Morrenas
- RM-ri Macizo de roca intrusiva de alta pendiente
- RM-rv Macizo de roca volcanica de alta pendiente
- V-gfl Depósitos glacio fluviales



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERO CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA



TITULO DE TESIS: **ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN Y ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVES N°2 EN EL RECRECIMIENTO DEL AÑO 2021 UNIDAD MINERA HUANCAPETI - RECUAY**

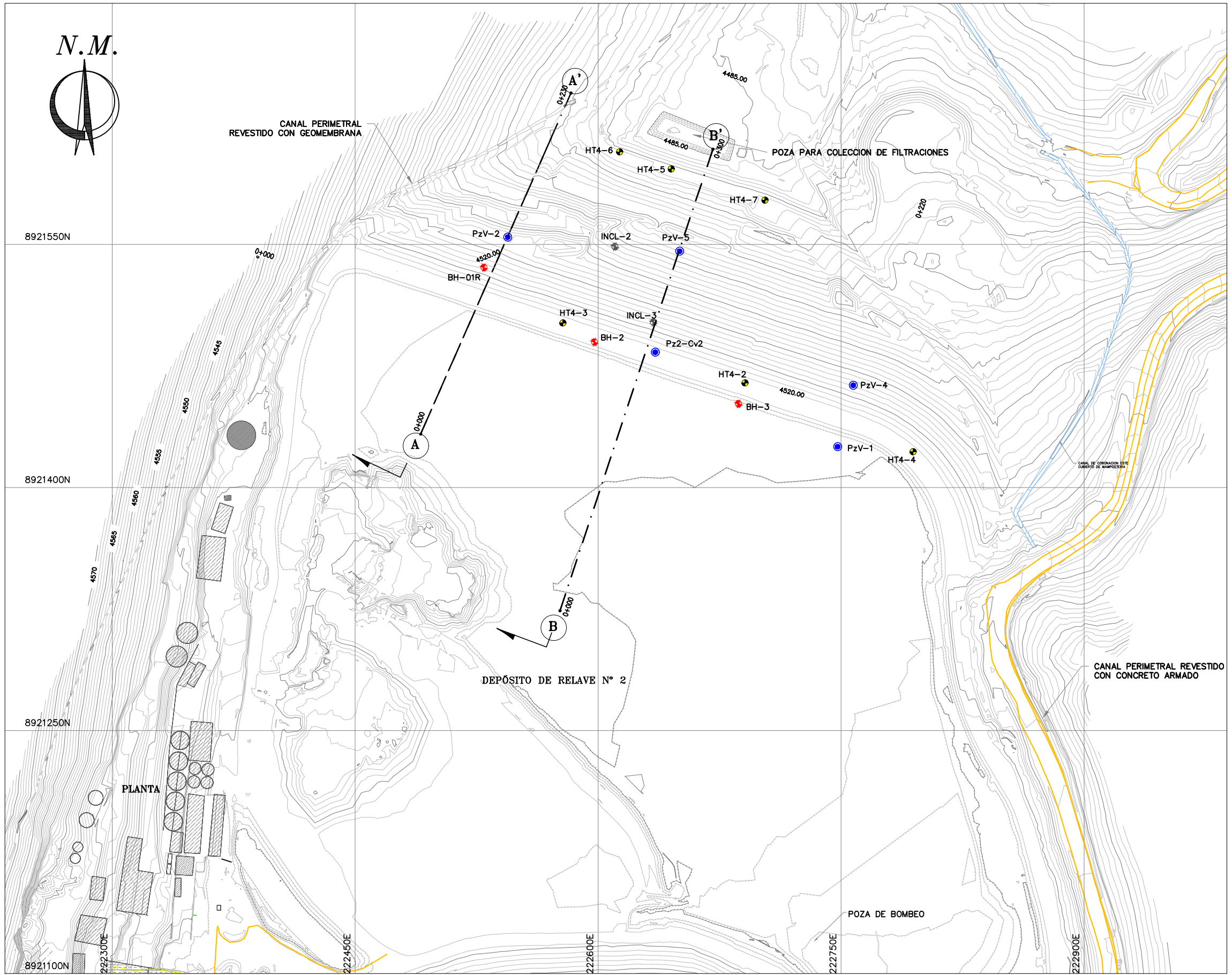
NOMBRES	FECHA	FIRMA
DIBUJADO: B.QUECAÑO	OCT-2021	
DIBUJADO: B.QUECAÑO	OCT-2021	
FUENTE: INGEMMET		

PLANO GEOMORFOLOGICO REGIONAL

ESC:	FECHA:	PLANO:	REV:
INDICADA	OCT-2021	03	0

Anexo 4.

Plano de instrumentación geotécnica del depósito de relaves
N°2.



LEYENDA:

- CURVAS DE NIVEL Y ELEVACION EN METROS DE LA SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
- VIA NACIONAL
- CANAL EXISTENTE
- FACILIDADES EXISTENTES (PLANTA)
- PIEZÓMETRO CASAGRANDE
- PIEZÓMETRO DE CUERDA VIBRANTE
- HITO DE MONITOREO TOPOGRÁFICO
- INCLINÓMETRO

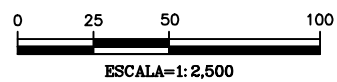
CUADRO DE COORDENADAS INSTRUMENTACION GEOTECNICA WGS 84

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCION
PzV-01	222,747.83	8,921,425.19	4,499.48	CUERDA VIBRANTE
PzV-02	222,544.19	8,921,554.54	4,501.45	CUERDA VIBRANTE
PzV-05	222,650.33	8,921,545.84	4,496.73	CUERDA VIBRANTE
PzV-04	222,757.47	8,921,463.05	4,502.46	CUERDA VIBRANTE
Pz2-Cv2	222,635.25	8,921,483.45	4,482.87	CUERDA VIBRANTE
BH-02	222,597.70	8,921,489.76	4,525.04	PIEZOMETRO DE CASAGRANDE
BH-03	222,686.44	8,921,451.37	4,521.37	PIEZOMETRO DE CASAGRANDE
INCL-2	222,635.84	8,921,556.71	4,500.65	INCLINOMETRO
BH-01R	222,529.45	8,921,535.69	4,518.82	PIEZOMETRO DE CASAGRANDE
INCL-3	222,634.13	8,921,501.97	4,519.95	INCLINOMETRO

CUADRO DE COORDENADAS HITOS TOPOGRAFICOS WGS 84

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCION
HT4_2	222690.68	8921464.59	4523.48	HITOS TOPOGRAFICOS
HT4_3	222578.20	8921501.56	4523.45	HITOS TOPOGRAFICOS
HT4_4	222794.48	8921422.09	4523.37	HITOS TOPOGRAFICOS
HT4_5	222645.16	8921596.57	4490.75	HITOS TOPOGRAFICOS
HT4_6	222613.31	8921607.15	4491.42	HITOS TOPOGRAFICOS
HT4_7	222702.99	8921577.35	4491.11	HITOS TOPOGRAFICOS

PLANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA - GEOTECNIA

TITULO DE TESIS

ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN Y ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVES N° 2 EN EL RECRECIMIENTO DEL AÑO 2021- UNIDAD MINERA HUANCAPETI-RECUAY

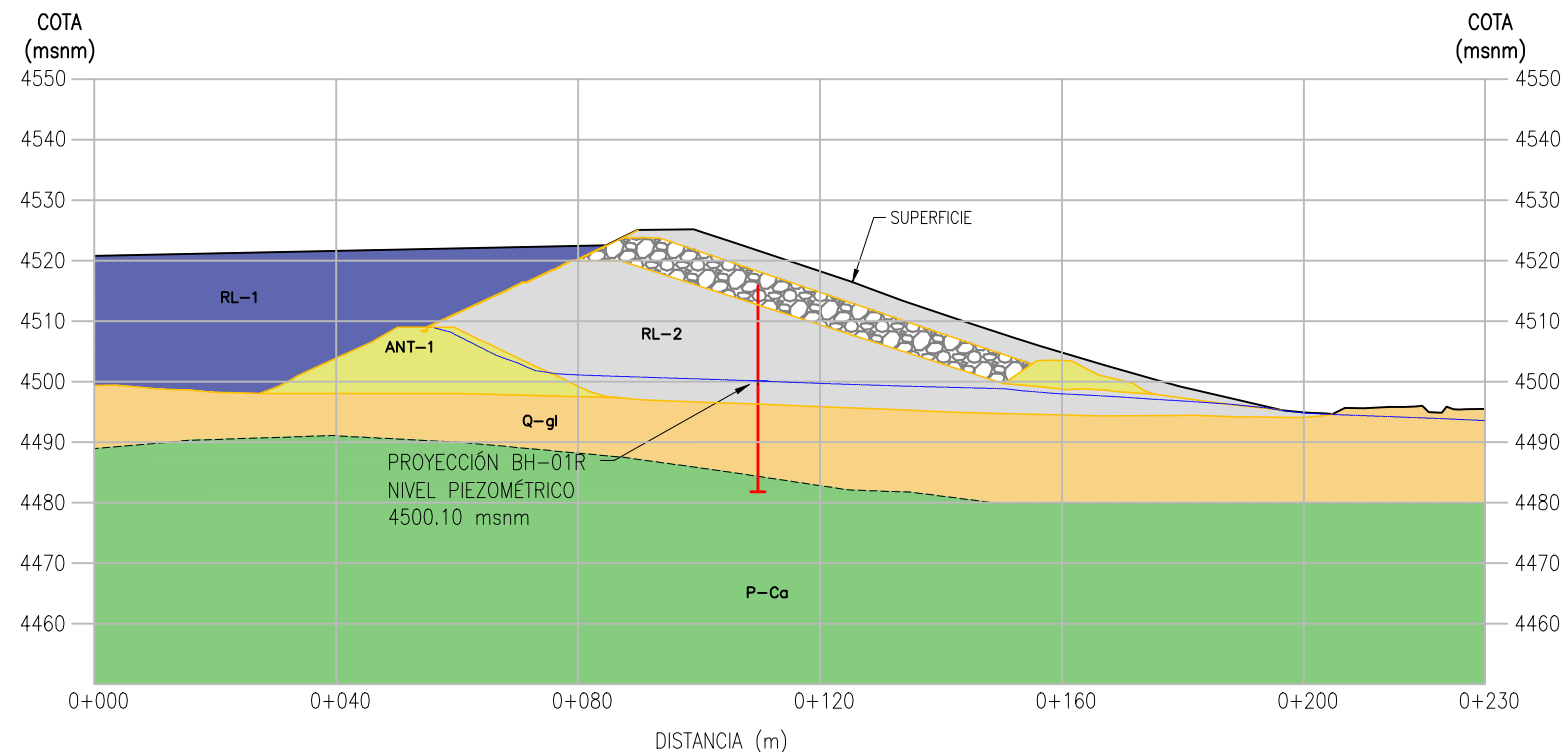
NOMBRES	FECHA	FIRMAS
DISEÑADO POR: B.QUECAÑO	OCT	
DIBUJADO POR: B.QUECAÑO	OCT	
FUENTE: CIA LINCUNA		
APROBADO POR:		

INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DEL DEPÓSITO DE RELAVES N° 2

UNIGS	ESC:	FECHA:	PLANO N°:	REV.
	INDICADA	OCT 2021	04	03

Anexo 5

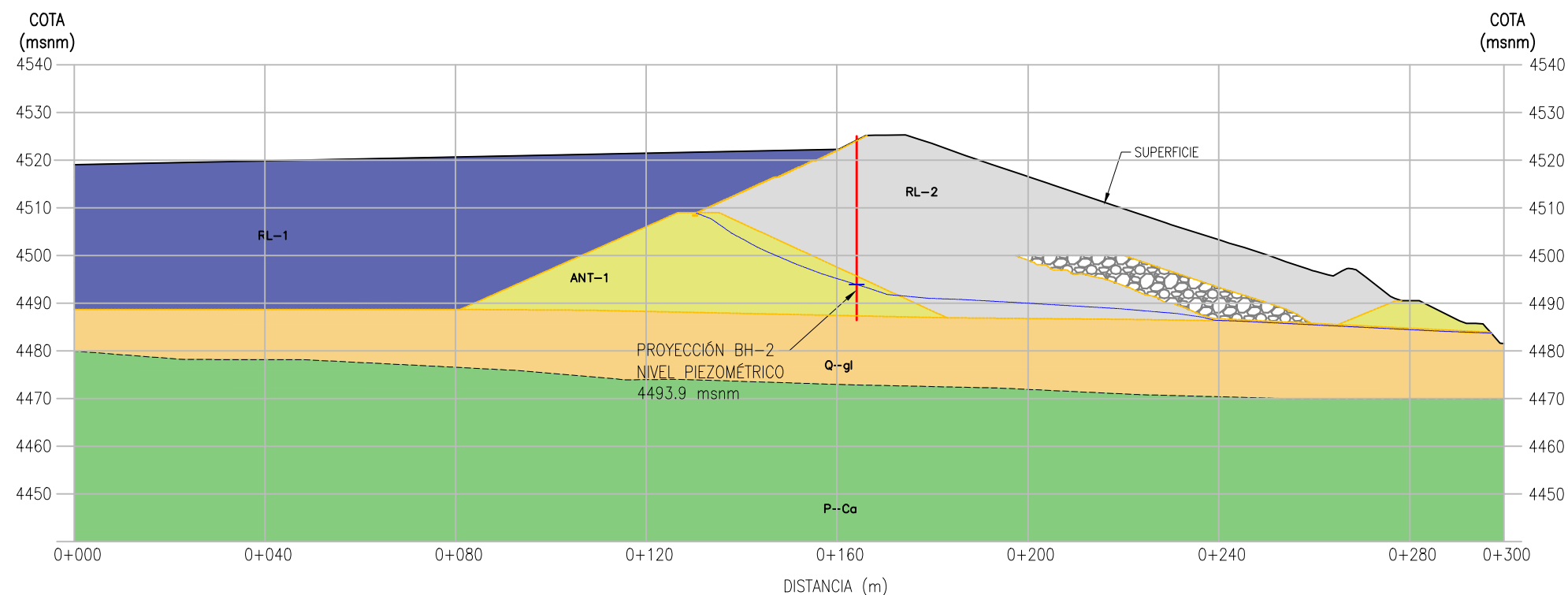
Plano de secciones transversales A-A' y B-B'.



A SECCIÓN A-A'
1 ESCALA: 1/1250

LEYENDA	
CUATERNARIO	
RL-1	RELAVE RECIENTE, PLOMO, SATURADO A SEMISATURADO, MEDIANAMENTE DENSO. ARENA GRADADA CONFORMADA POR ALTO CONTENIDO DE FINOS.
RL-2	RELAVE RECIENTE, PLOMO, SEMISATURADO, DENSO A MEDIANAMENTE DENSO. ARENA MAL GRADADA CON ALGO DE FINOS.
ANT-1	MATERIAL CONFORMADO PARA ESTRUCTURAS (DIQUE DE ARRANQUE). GRAVA ARENOSA, GRIS, DENSA, HÚMEDA.
DM	DESMONTE DE MINA COMPACTADO FORMA PARTE DEL DIQUE PRINCIPAL. GRAVA MAL GRADADA.
Q-gl	DEPÓSITO GLACIAL, GRAVA GRUESA ARCILLA-LIMOSA, MARRÓN CLARO, SEMISATURADA, CONSOLIDADA, FINOS DE MEDIANA PLASTICIDAD.
CENOZOICO	
P-ca	ANDESITA Y BRECHA ANDESÍTICA, GRIS VERDOSA, CLARA, DURA A MUY DURA, LIGERAMENTE METEORIZADA, MEDIANAMENTE FRACTURADA.

PIEZÓMETROS CASAGRANDE		
CÓDIGO	COTA DE BOCA	PROF. (m)
BH-2	4525.04	38.61
BH-1R	4515.82	34.00



B SECCIÓN B-B'
2 ESCALA: 1/1250



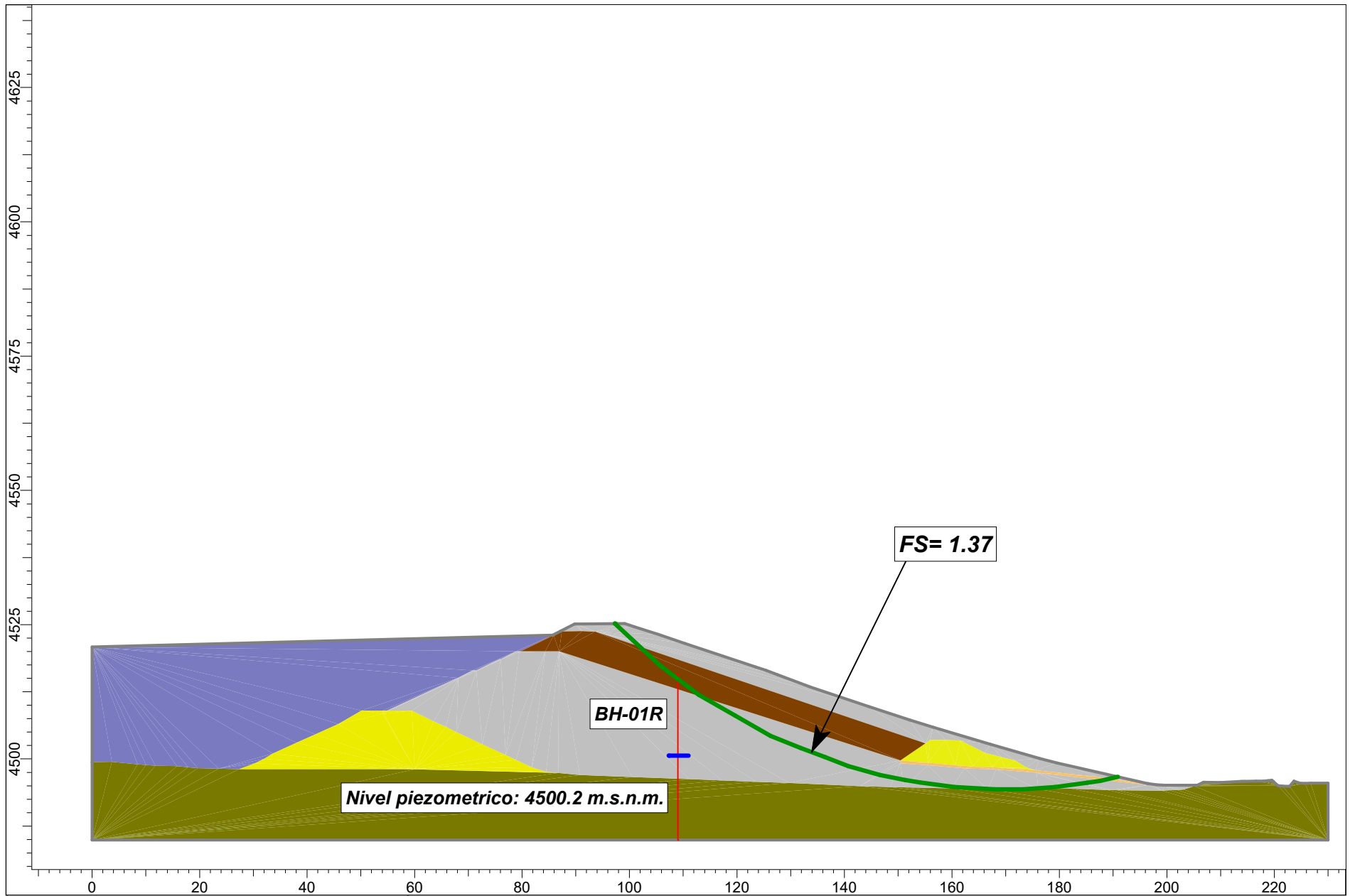
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA - GEOTECNIA


TÍTULO DE TESIS			
ANÁLISIS DE INFILTRACIÓN Y ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE RELAVES N° 2 EN EL RECRECIMIENTO DEL AÑO 2021- UNIDAD MINERA HUANCAPETI-RECUAY			
NOMBRES	FECHA	FIRMAS	
DISEÑADO POR: B.QUECAÑO	OCT		
DIBUJADO POR: B.QUECAÑO	OCT		
FUENTE: CIA LINCUNA			
APROBADO POR:			
UNIGS	ESC. INDICADA	FECHA:	PLANO N°:
		OCT 2021	05
			REV. 00

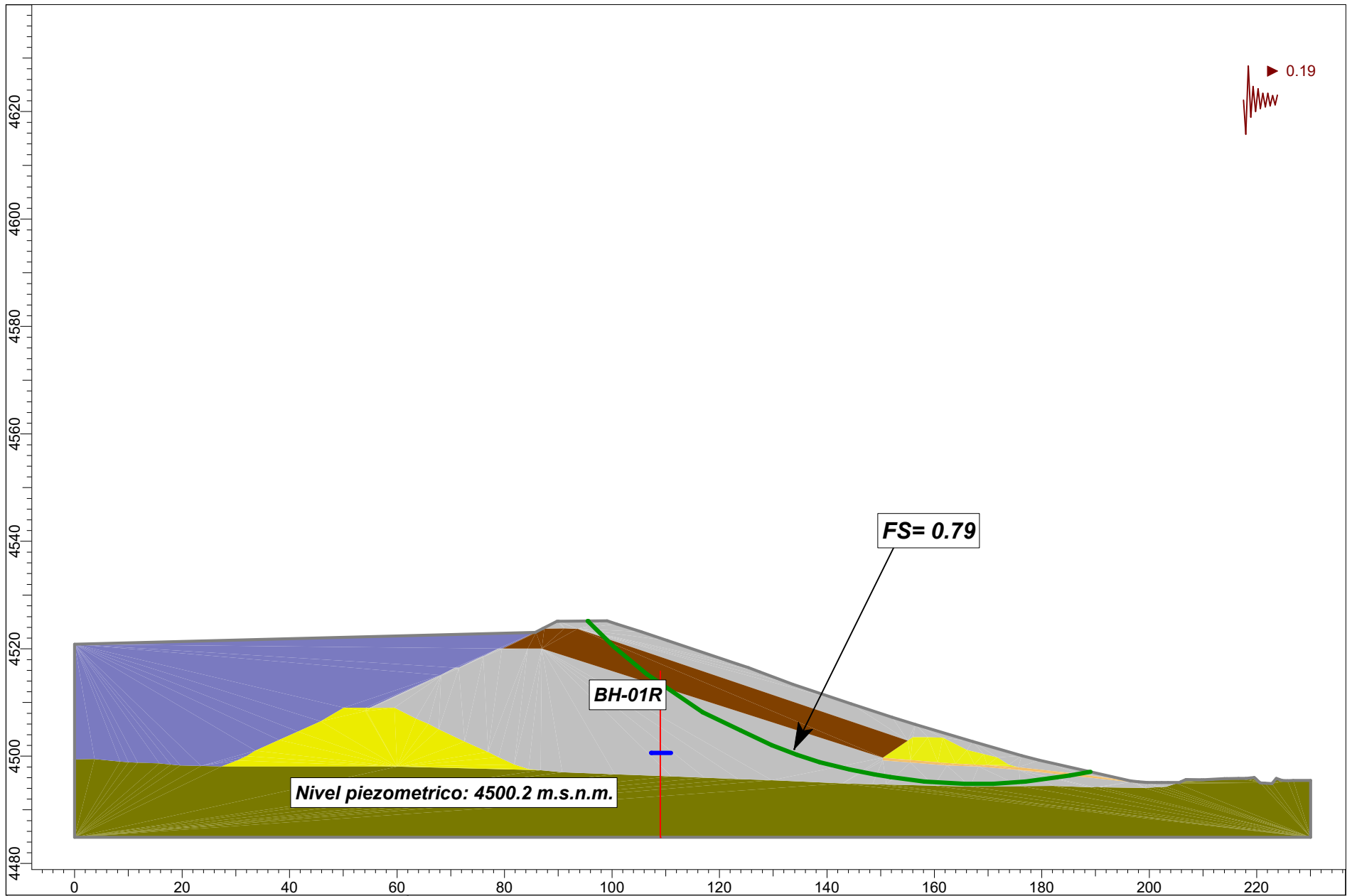
SECCIÓN GEOLÓGICA DEL
DEPOSITO DE RELAVES N° 2


Anexo 6

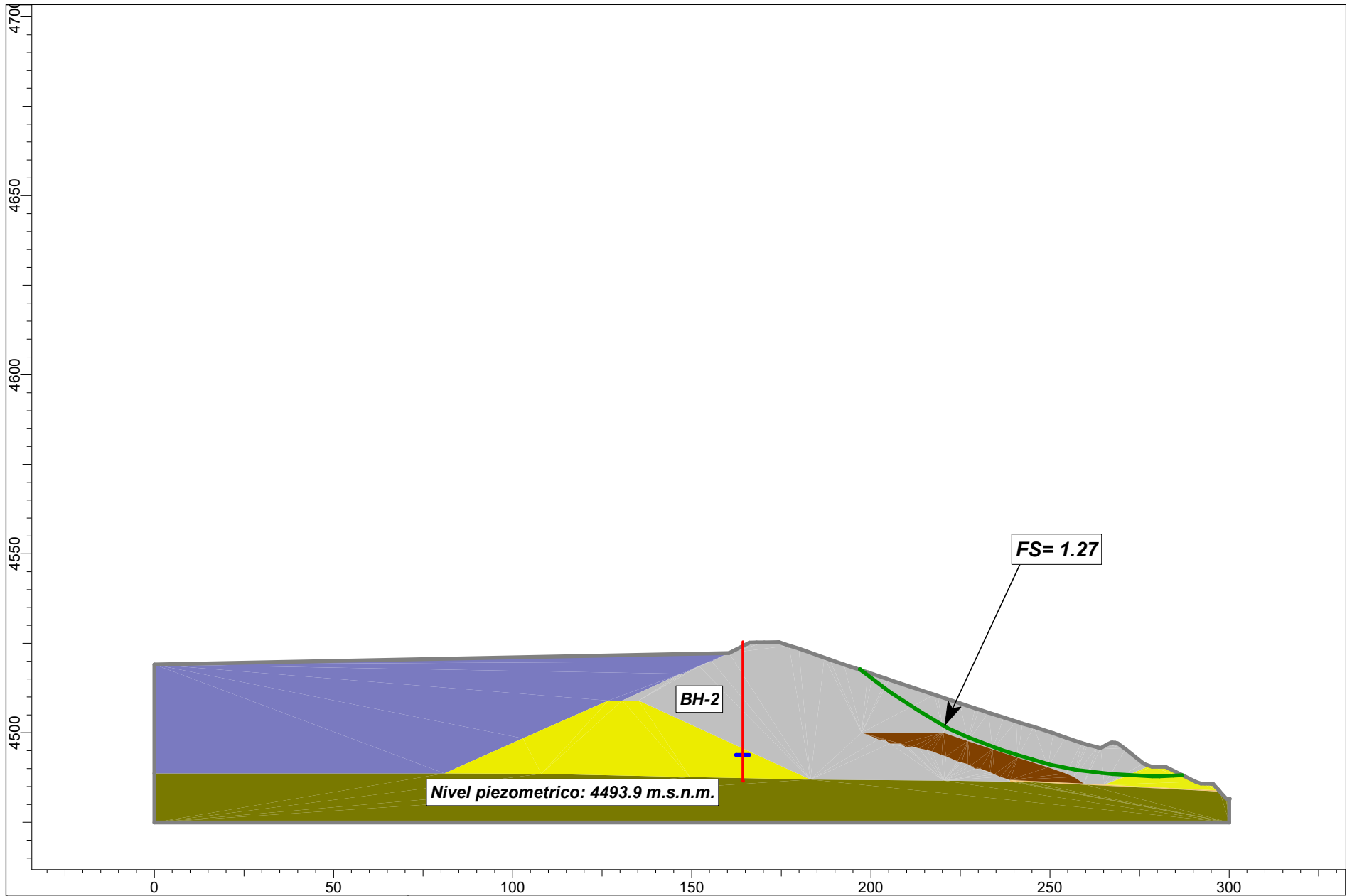
Análisis de estabilidad sin considerar geomembrana.




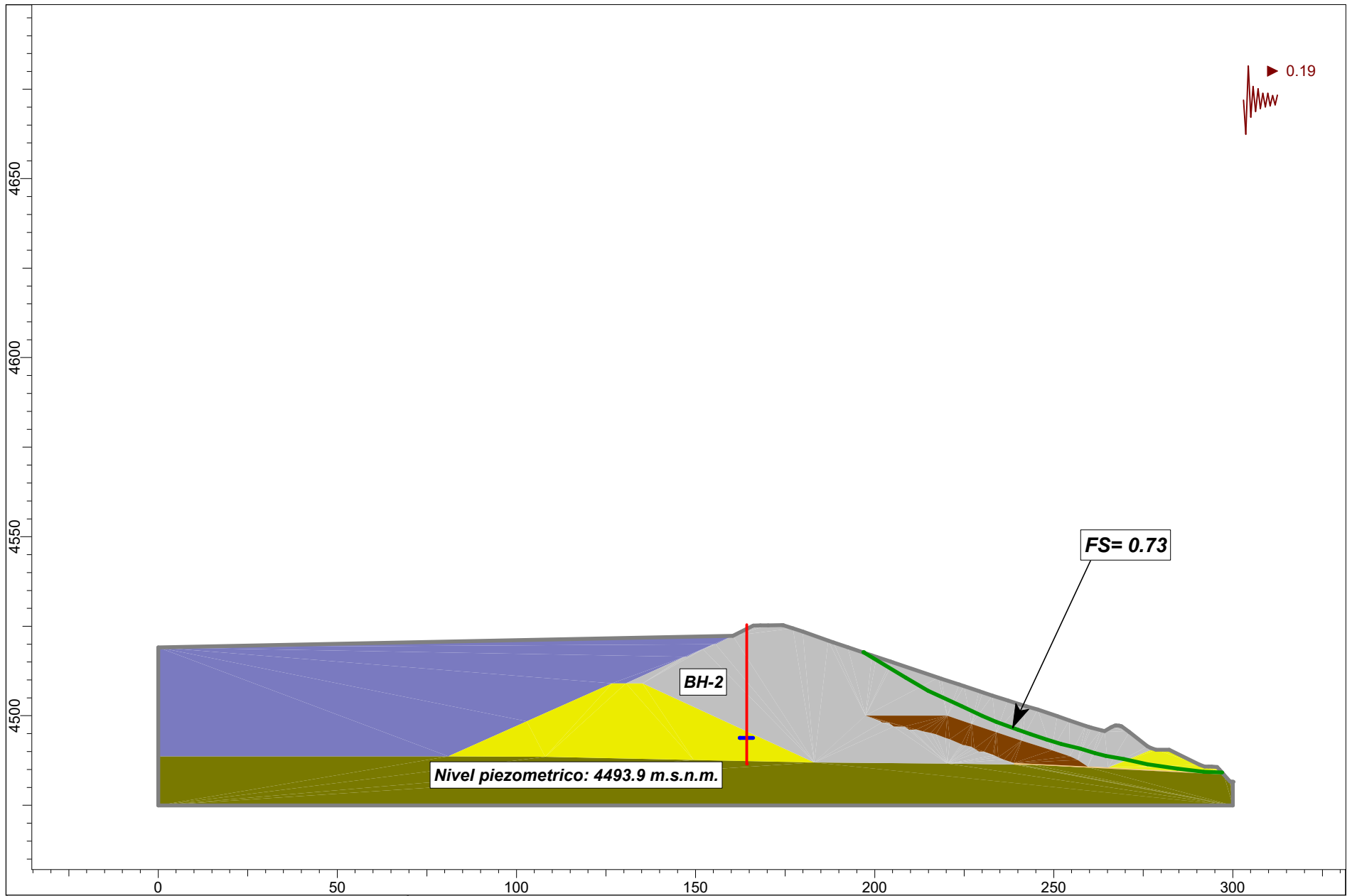
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA</p>	TITULO: ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2	
	METODO: SPENCER	
	DIBUJADO: B.M.Q.Y.	ESCALA: 1:1000
	FECHA: 01/12/2021	NOMBRE: SEC A-A' ETAPA 1 - ESTATICO - SIN GEOMEMBRANA




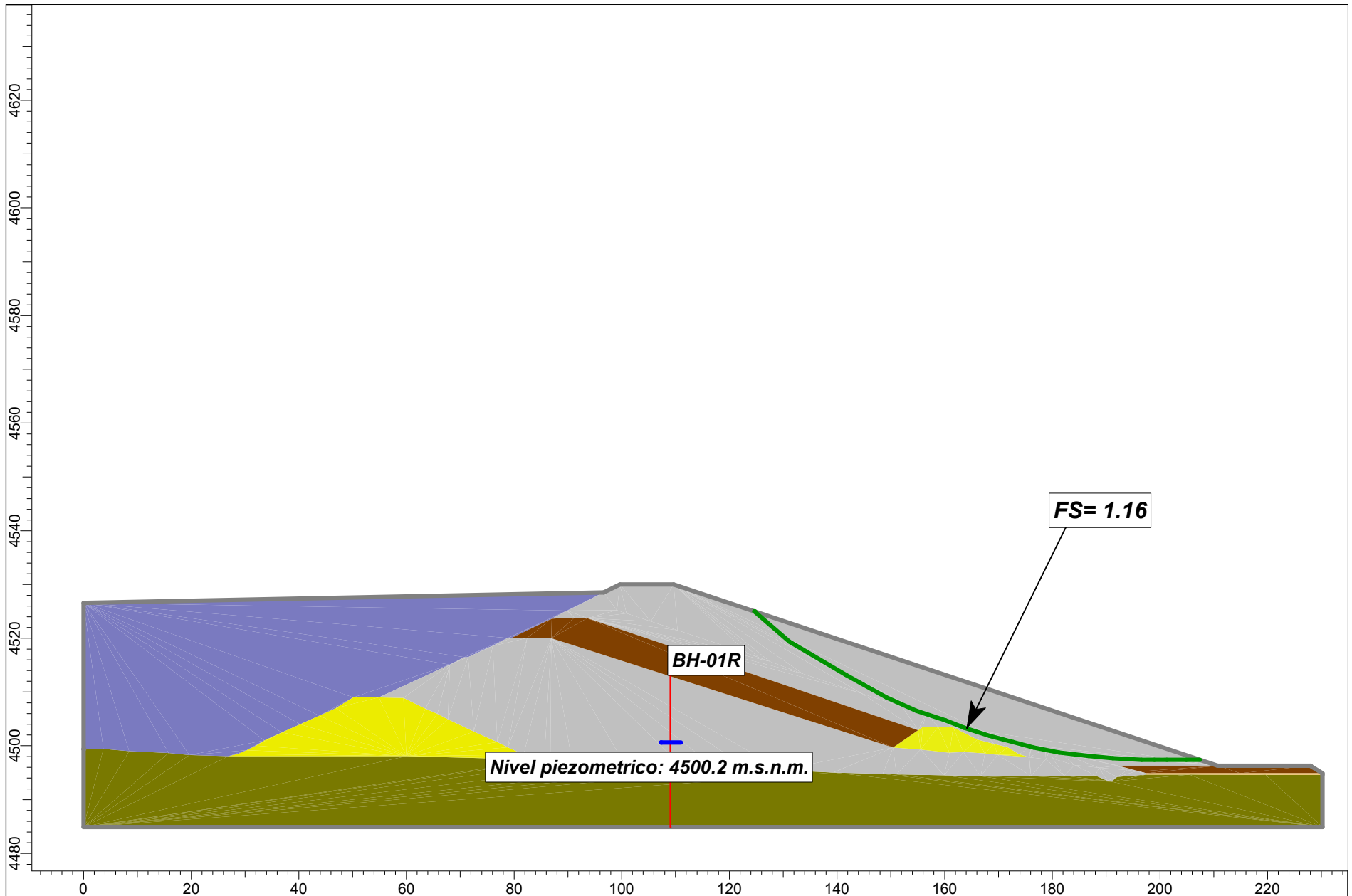
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA</p>	TITULO: ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2	
	METODO: SPENCER	
	DIBUJADO: B.M.Q.Y.	ESCALA: 1:1000
	FECHA: 01/12/2021	NOMBRE: SEC A-A' ETAPA 1 - PSEUDO ESTATICO - SIN GEOMEMBRANA




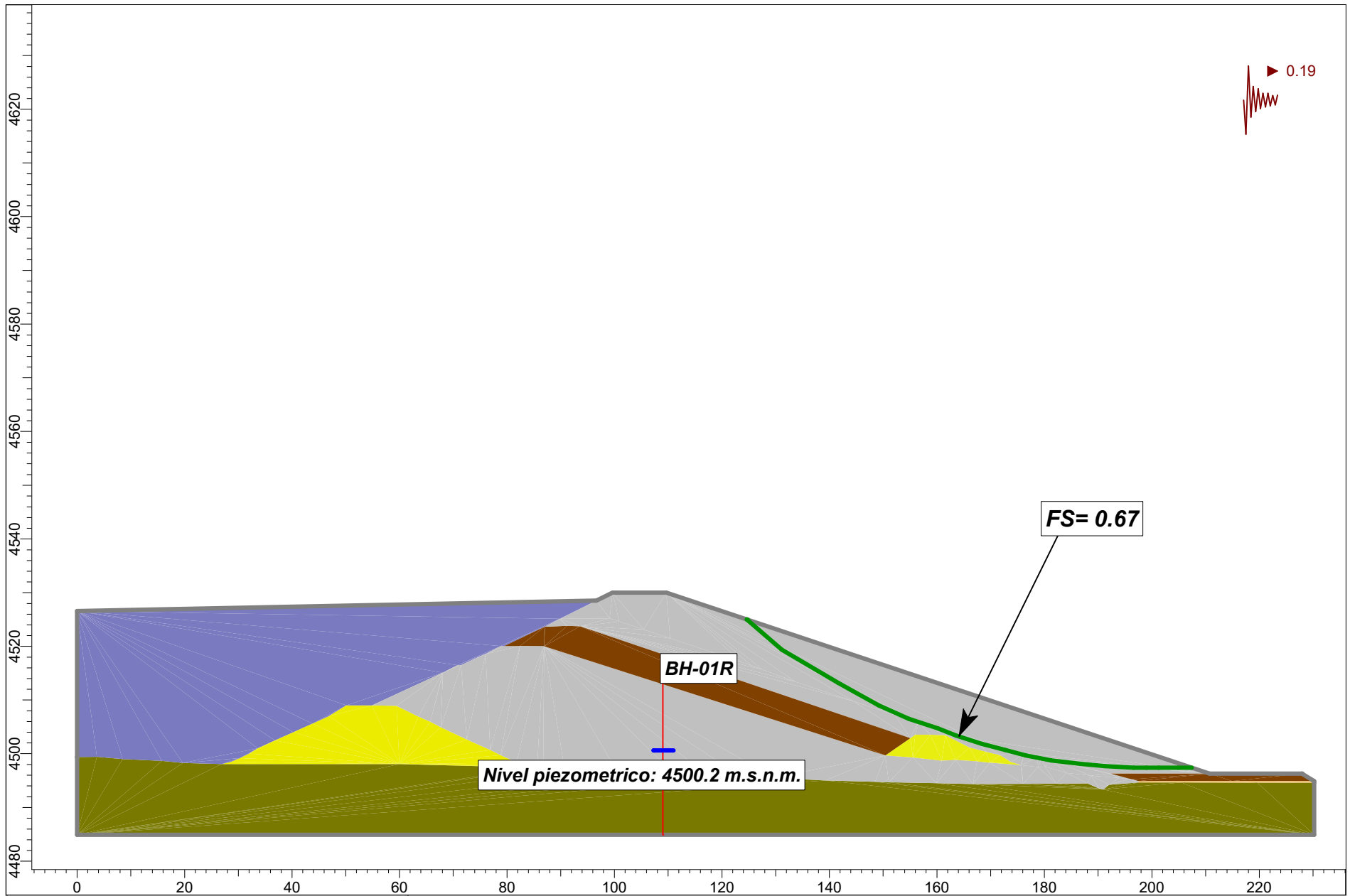
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA</p>	TITULO: ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2 - UM HUANCAPETI	
	METODO: SPENCER	
	DIBUJADO: B.M.Q.Y.	ESCALA: 1:1500
	FECHA: 01/12/2021	NOMBRE: SEC B-B' ETAPA 1 - ESTATICO - SIN GEOMEMBRANA




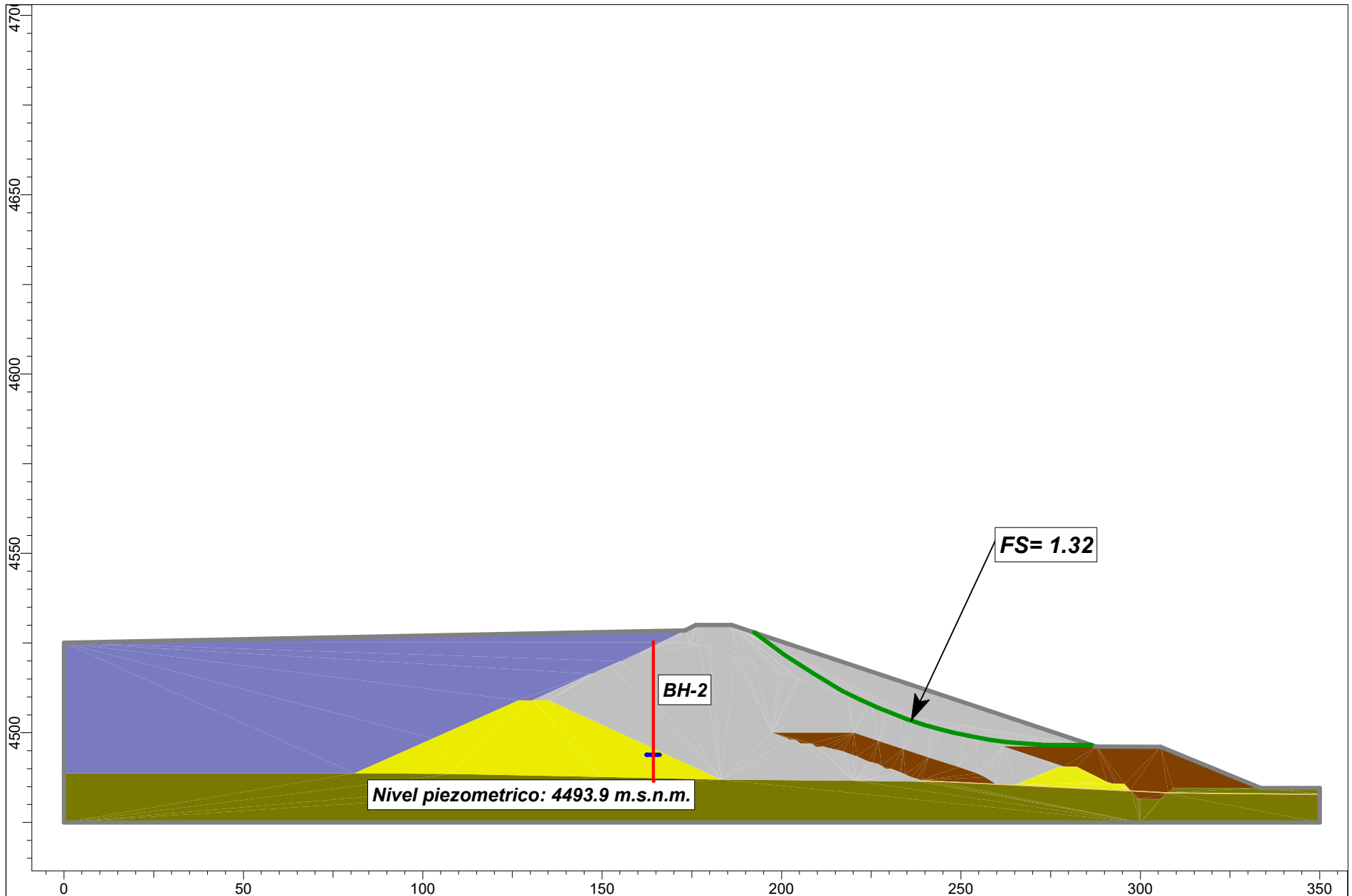
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA</p>	TITULO: ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2 - UM HUANCAPETI	
	METODO: SPENCER	
	DIBUJADO: B.M.Q.Y.	ESCALA: 1:1500
	FECHA: 01/12/2021	NOMBRE: SEC B-B' ETAPA 1 - PSEUDO ESTATICO - SIN GEOMEMBRANA



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA</p>	TITULO: ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2	
	METODO: SPENCER	
	DIBUJADO: B.M.Q.Y.	ESCALA: 1:1000
	FECHA: 01/12/2021	NOMBRE: SEC A-A' ETAPA 2 - ESTATICO - SIN GEOMEMBRANA



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA</p>	TITULO: ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2	
	METODO: SPENCER	
	DIBUJADO: B.M.Q.Y.	ESCALA: 1:1000
	FECHA: 01/12/2021	NOMBRE: SEC A-A' ETAPA 2 - PSEUDO ESTATICO - SIN GEOMEMBRANA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
 ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2 - UM HUANCAPETI

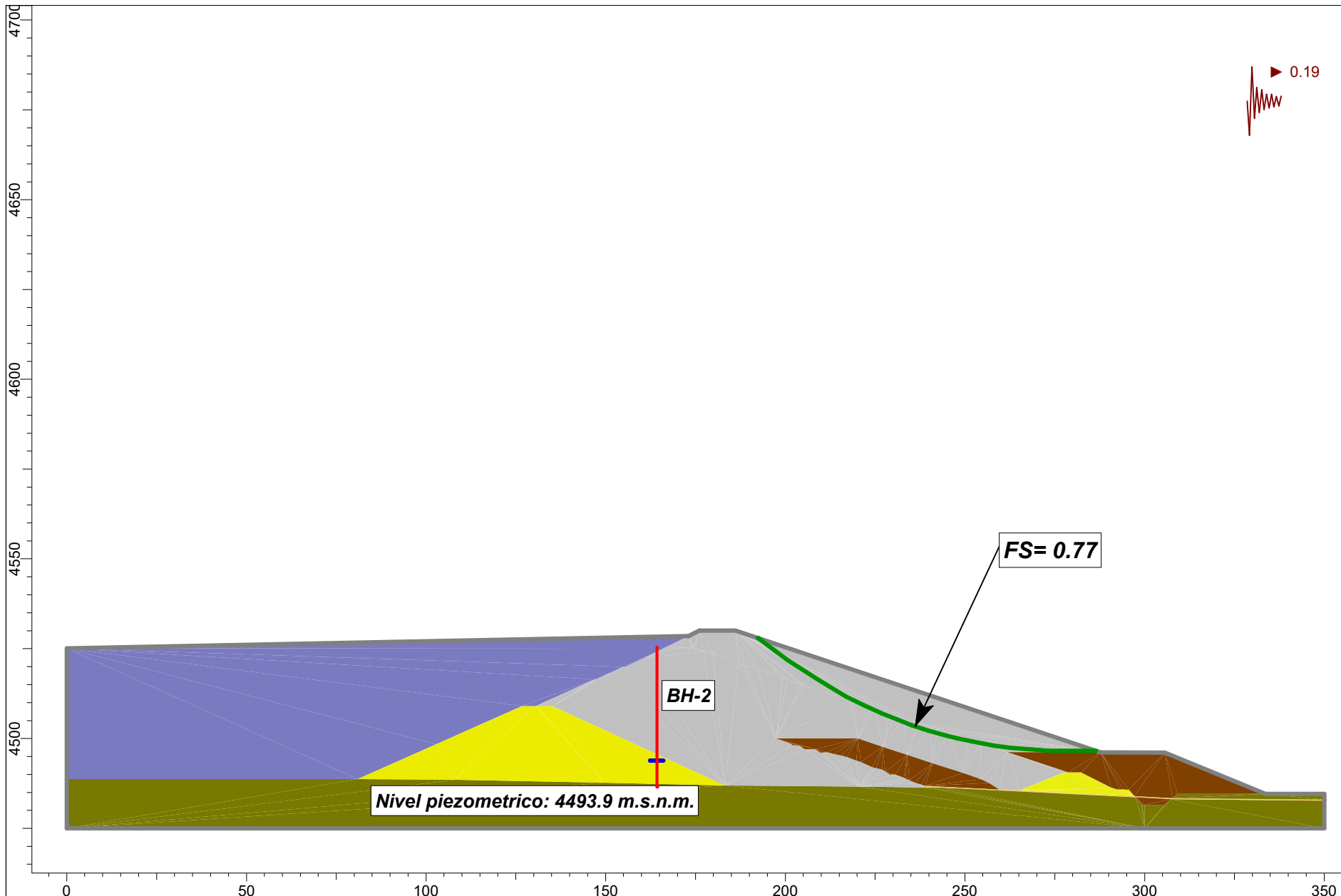
METODO:
 SPENCER

DIBUJADO:
 B.M.Q.Y.

FECHA:
 01/12/2021

ESCALA:
 1:1500

NOMBRE:
 SEC B-B' ETAPA 2 - ESTATICO - SIN GEOMEMBRANA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
 ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2 - UM HUANCAPETI

METODO:
 SPENCER

DIBUJADO:
 B.M.Q.Y.

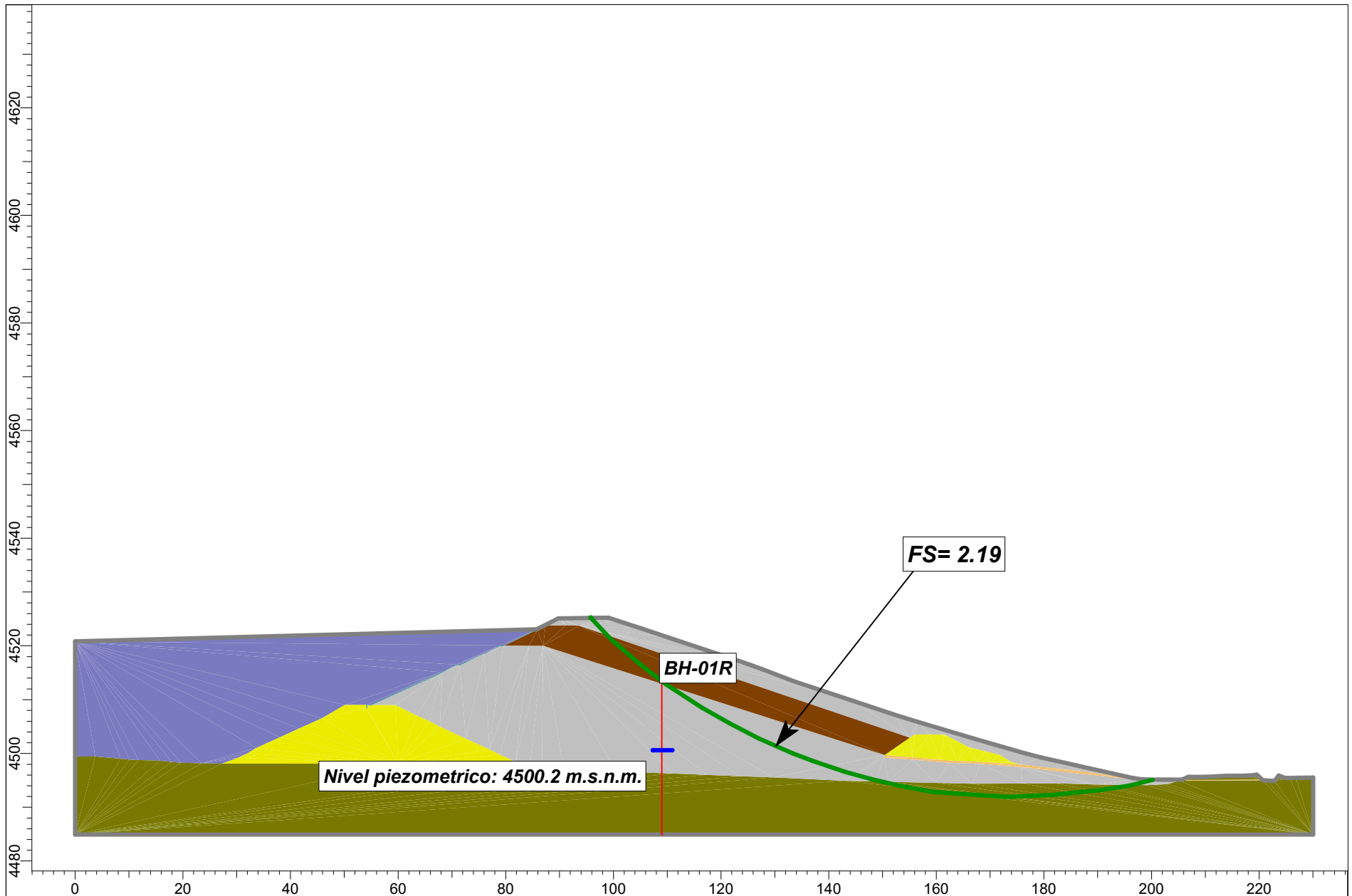
FECHA:
 01/12/2021


ESCALA:
 1:1500

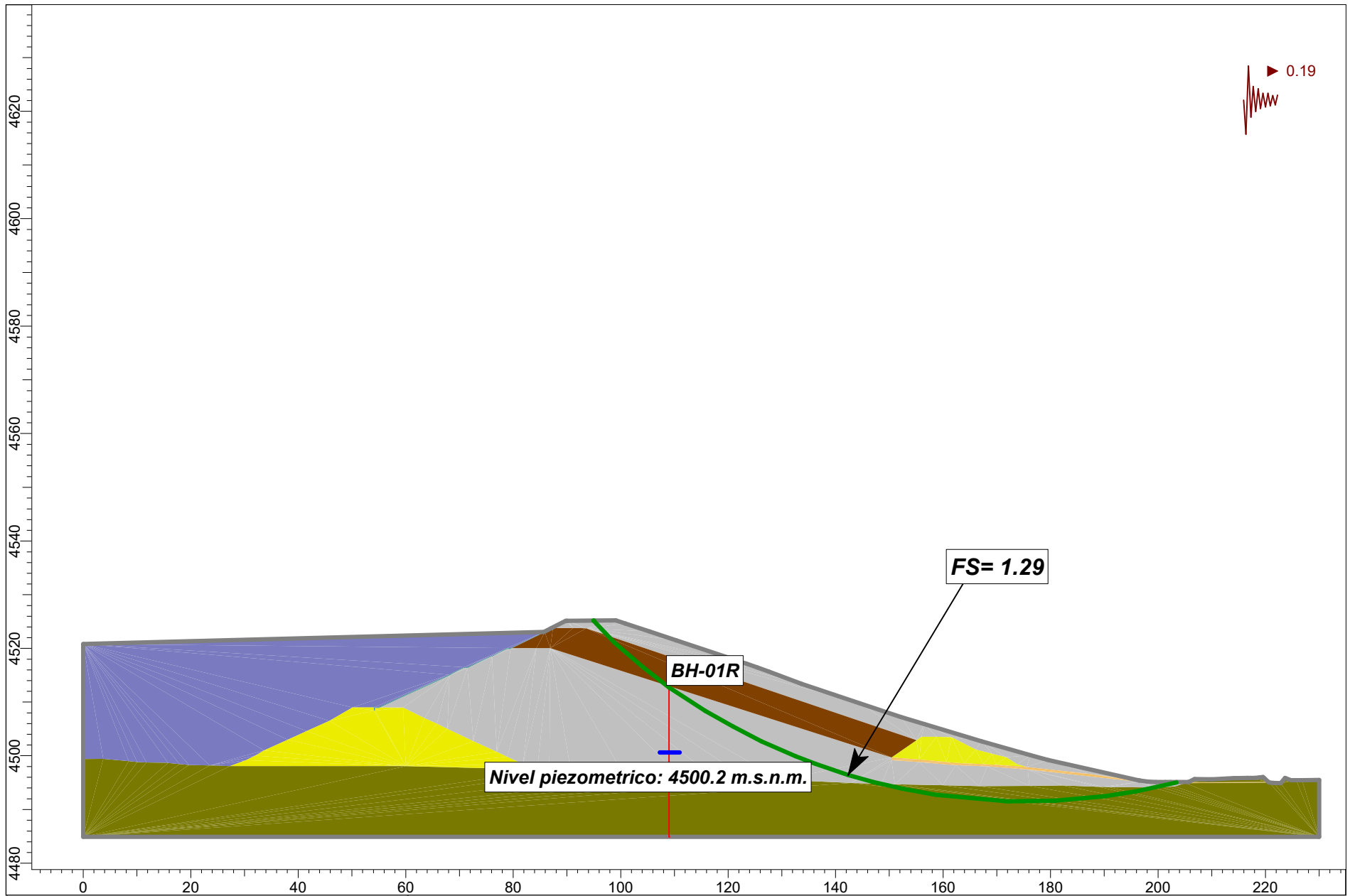
NOMBRE:
 SEC B-B' ETAPA 2 - PSEUDO ESTATICO - SIN GEOMEMBRANA


Anexo 7

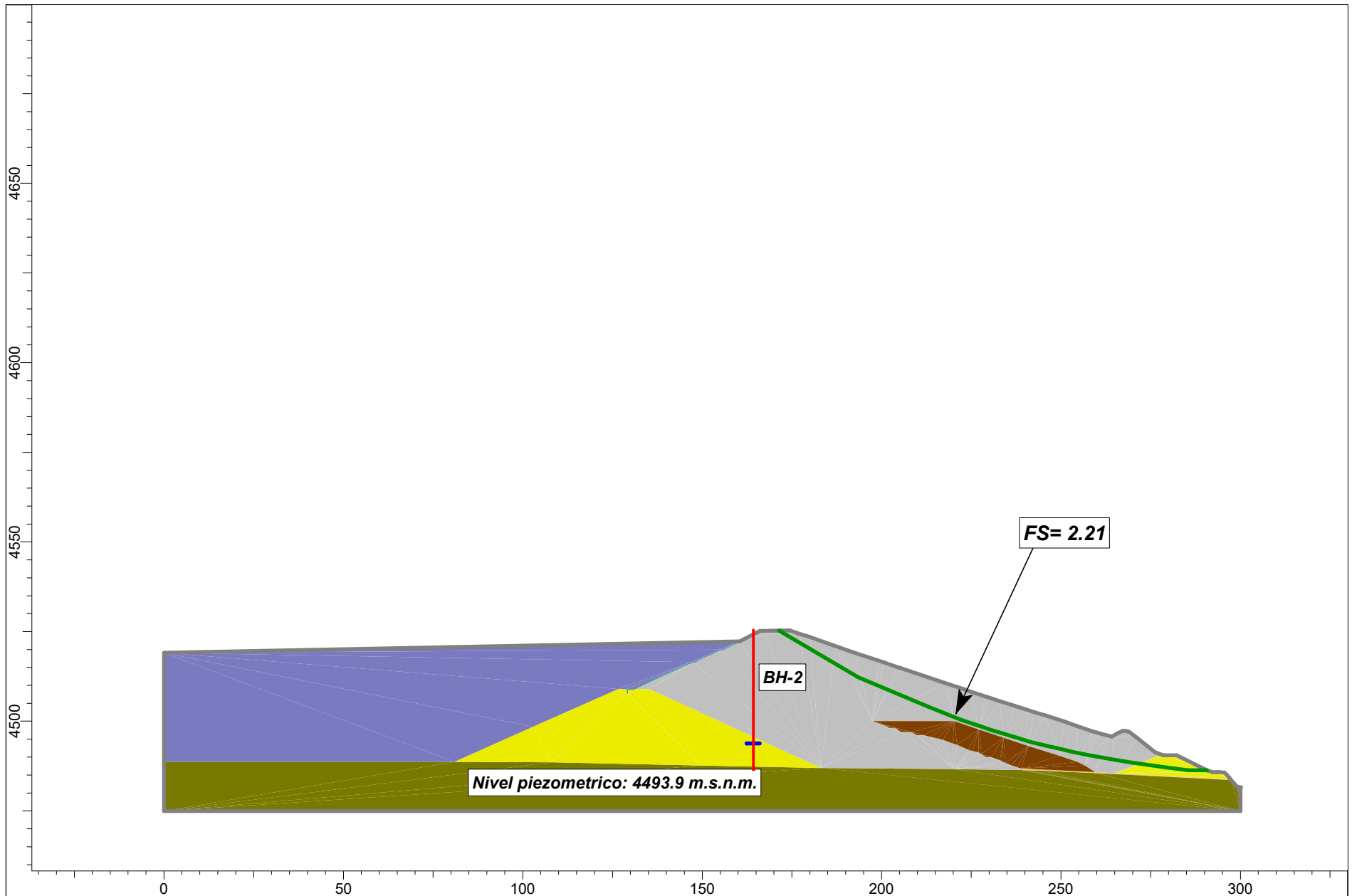
Análisis de d d considerando geomembrana.



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA</p>	TITULO: ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2	
	METODO: SPENCER	
	DIBUJADO: B.M.Q.Y.	ESCALA: 1:1000
	FECHA: 01/12/2021	NOMBRE: SEC A-A' ETAPA 1 - ESTATICO - CON GEOMEMBRANA



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA</p>	TITULO: ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2	
	METODO: SPENCER	
	DIBUJADO: B.M.Q.Y.	ESCALA: 1:1000
	FECHA: 01/12/2021	NOMBRE: SEC A-A' ETAPA 1 - PSEUDO ESTATICO - CON GEOMEMBRANA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
 ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2 - UM HUANCAPETI

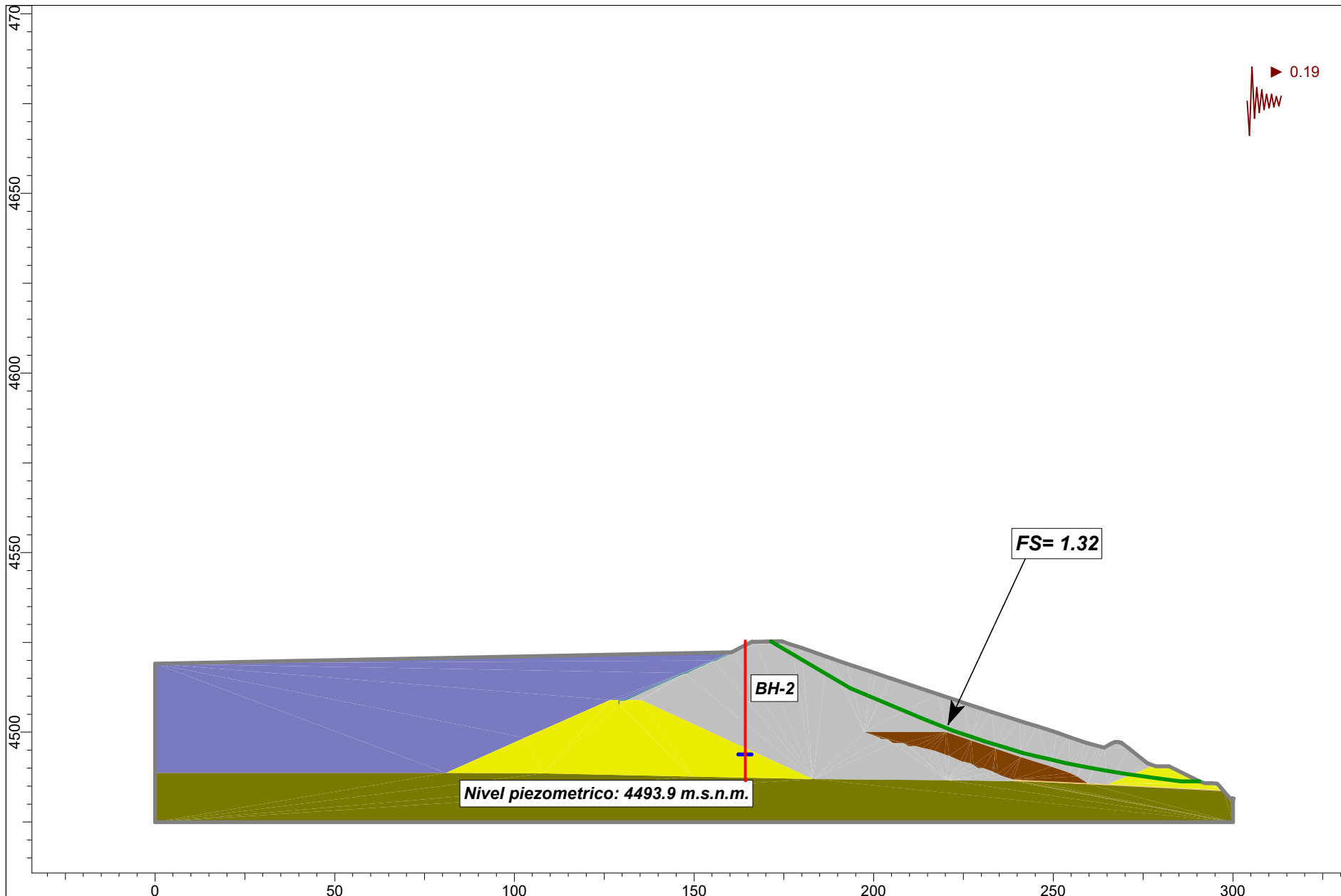
METODO:
 SPENCER

DIBUJADO:
 B.M.Q.Y.

FECHA:
 01/12/2021

ESCALA:
 1:1500

NOMBRE:
 SEC B-B' ETAPA 1 - ESTATICO - CON GEOMEMBRANA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
 ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2 - UM HUANCAPETI

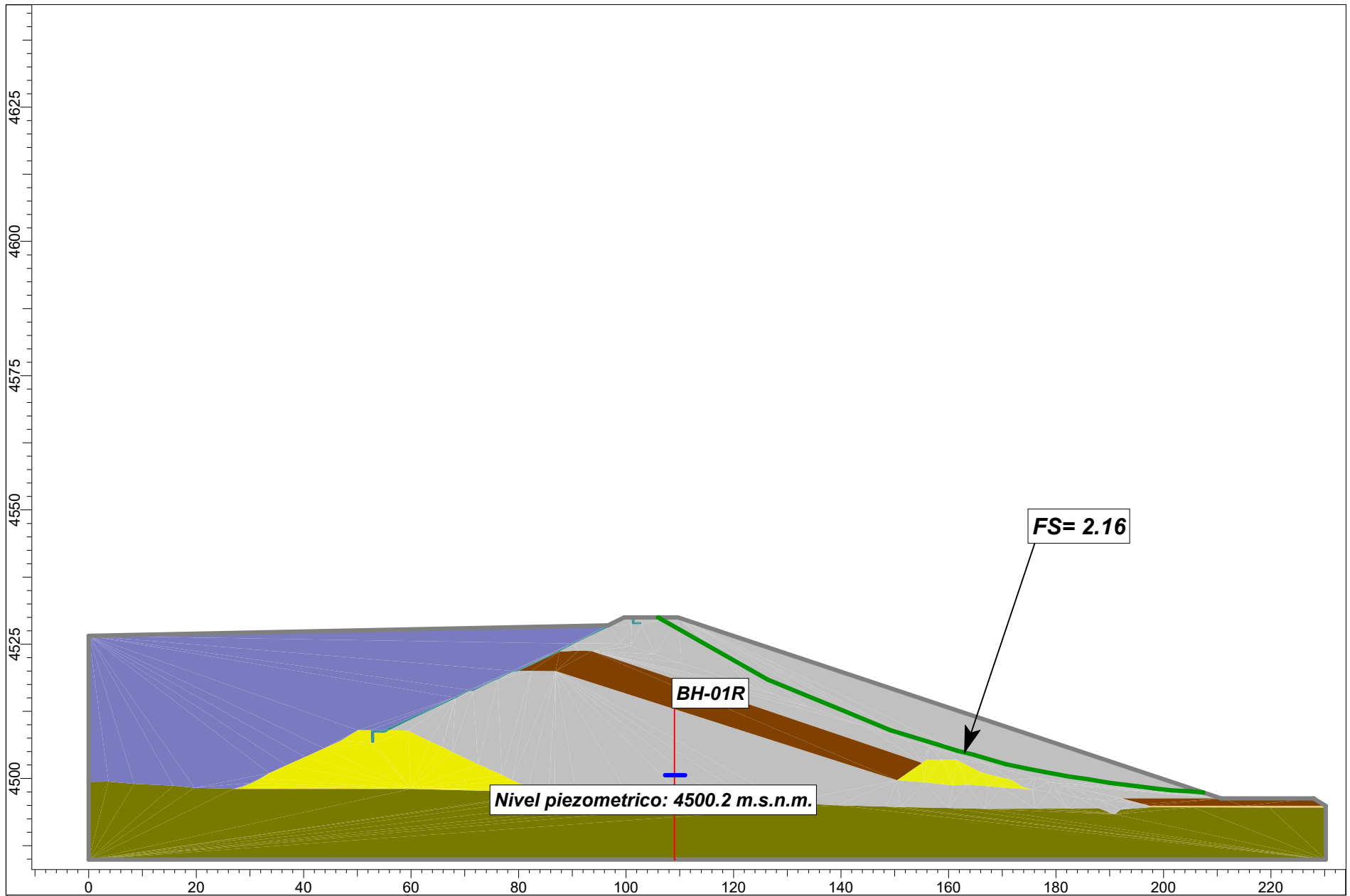
METODO:
 SPENCER

DIBUJADO:
 B.M.Q.Y.

FECHA:
 01/12/2021

ESCALA:
 1:1500

NOMBRE:
 SEC B-B' ETAPA 2 - PSEUDO ESTATICO - CON GEOMEMBRANA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2

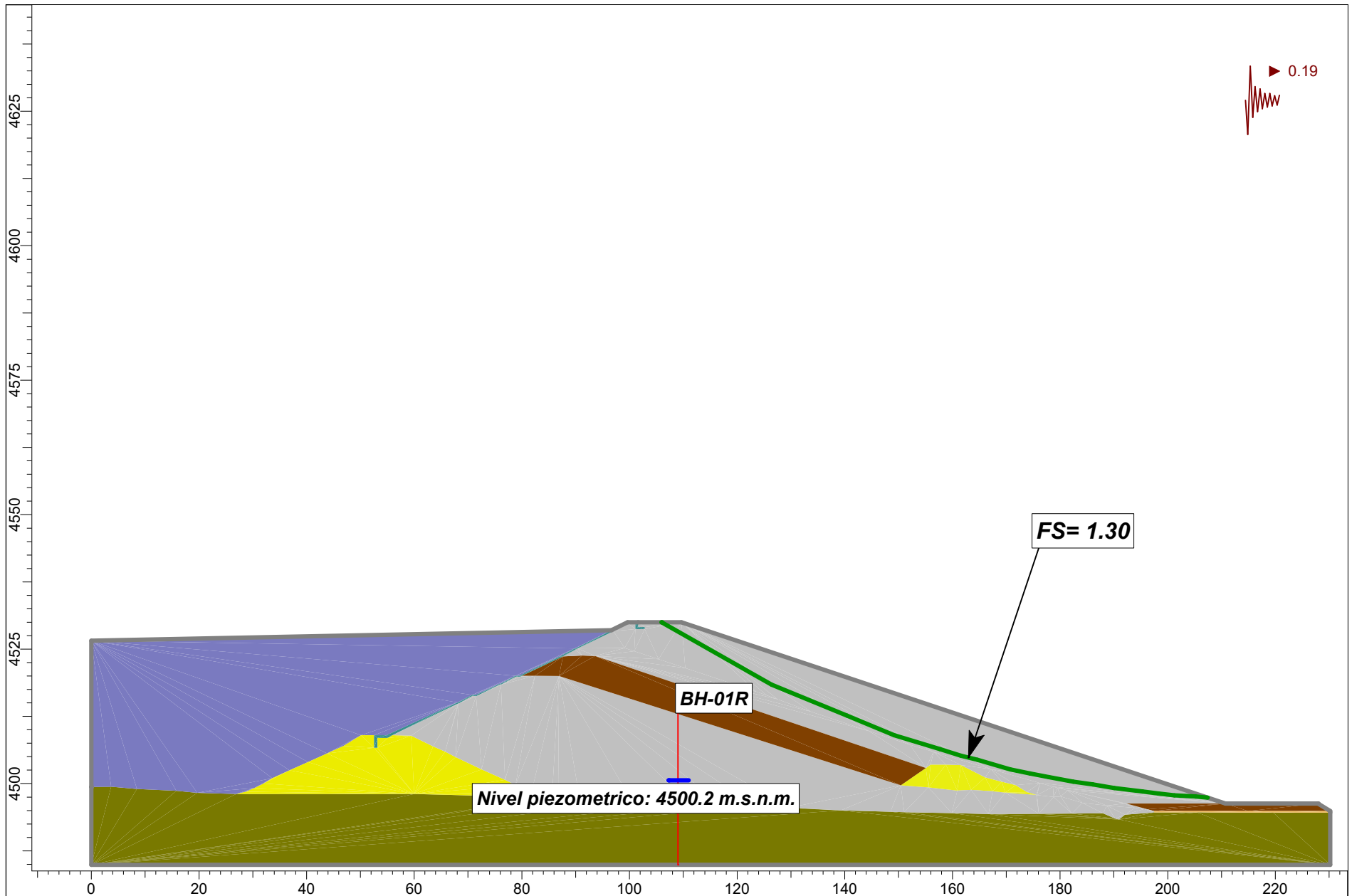
METODO:
SPENCER

DIBUJADO:
B.M.Q.Y.

FECHA:
01/12/2021

ESCALA:
1:1000

NOMBRE:
SEC A-A' ETAPA 2 - ESTATICO - CON GEOMEMBRANA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2

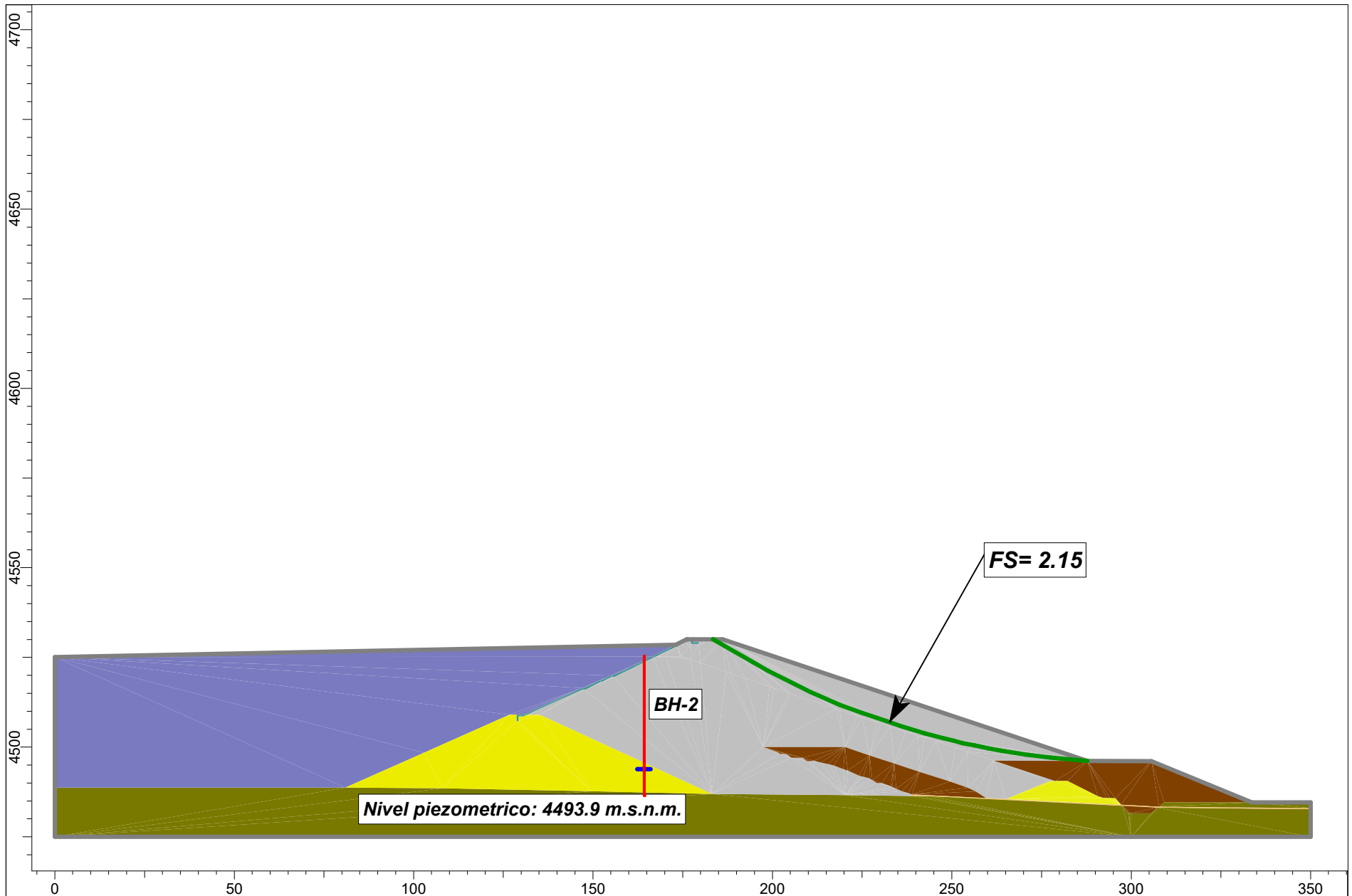
METODO:
SPENCER

DIBUJADO:
B.M.Q.Y.

FECHA:
01/12/2021

ESCALA:
1:1000

NOMBRE:
SEC A-A' ETAPA 2 - PSEUDO ESTATICO - CON GEOMEMBRANA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
 ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2 - UM HUANCAPETI

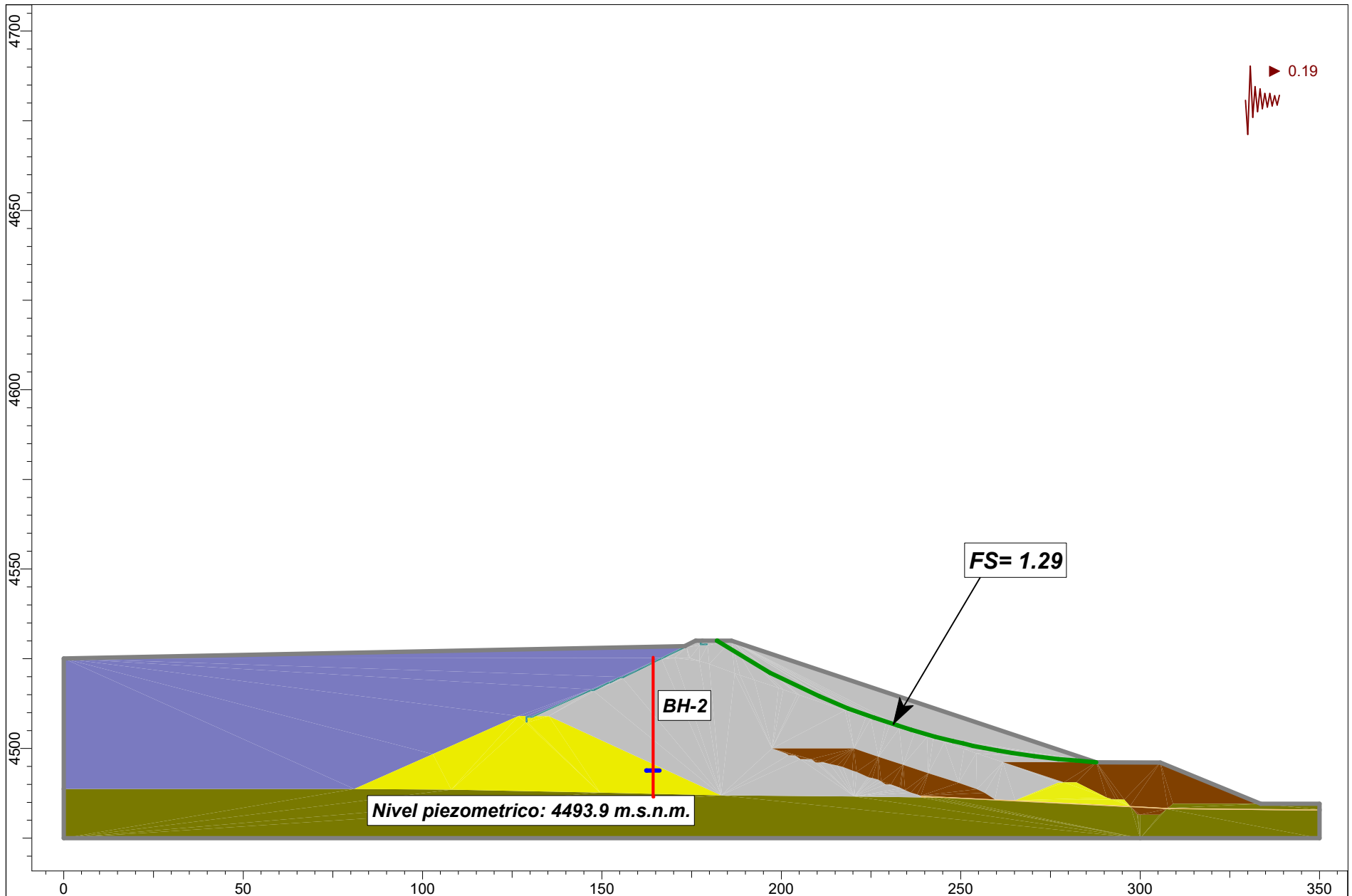
METODO:
 SPENCER

DIBUJADO:
 B.M.Q.Y.

FECHA:
 01/12/2021

ESCALA:
 1:1500

NOMBRE:
 SEC B-B' ETAPA 2 - ESTATICO - CON GEOMEMBRANA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
 ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2 - UM HUANCAPETI

METODO:
 SPENCER

DIBUJADO:
 B.M.Q.Y.

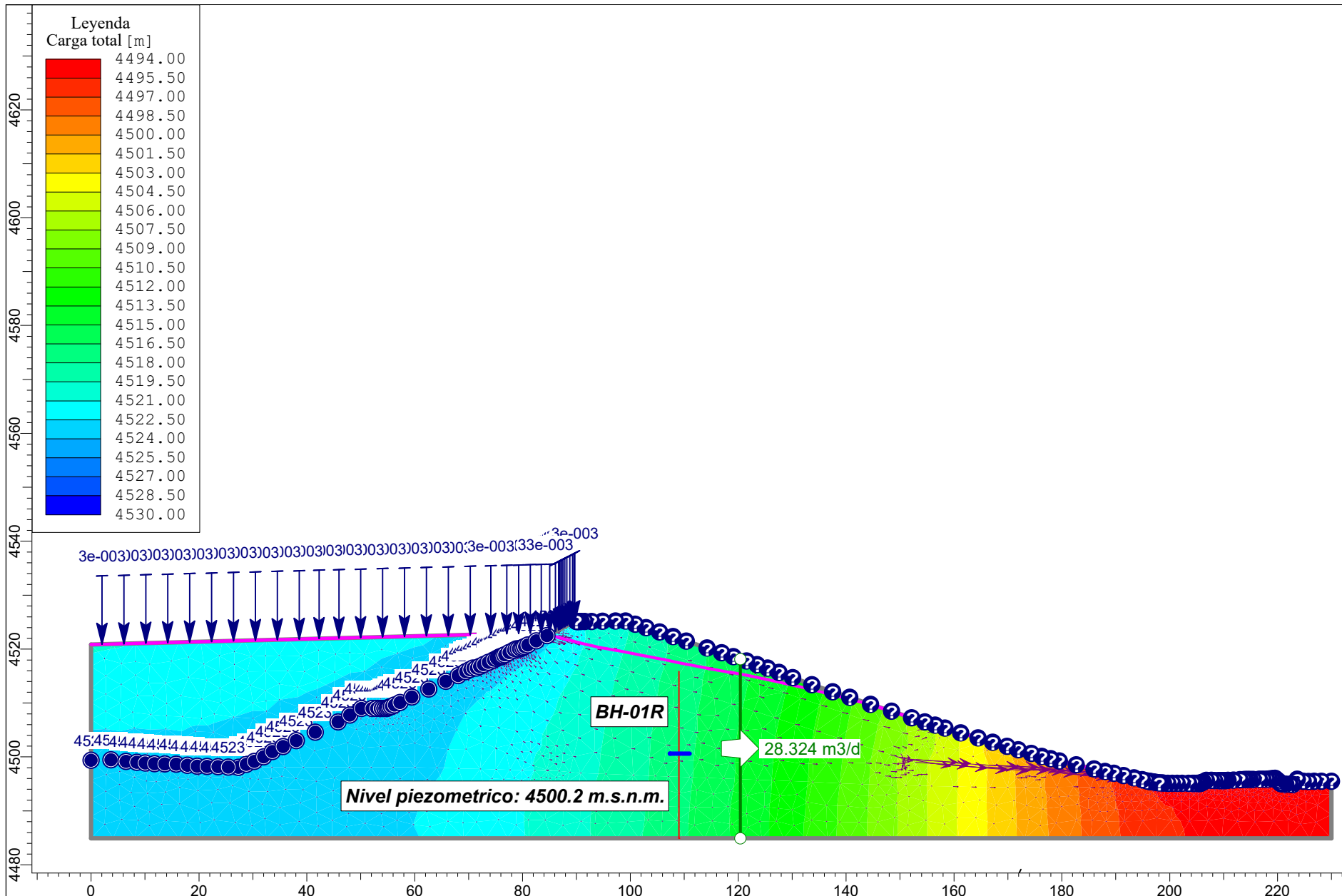
FECHA:
 01/12/2021

ESCALA:
 1:1500

NOMBRE:
 SEC B-B' ETAPA 2 - PSEUDO ESTATICO - CON GEOMEMBRANA

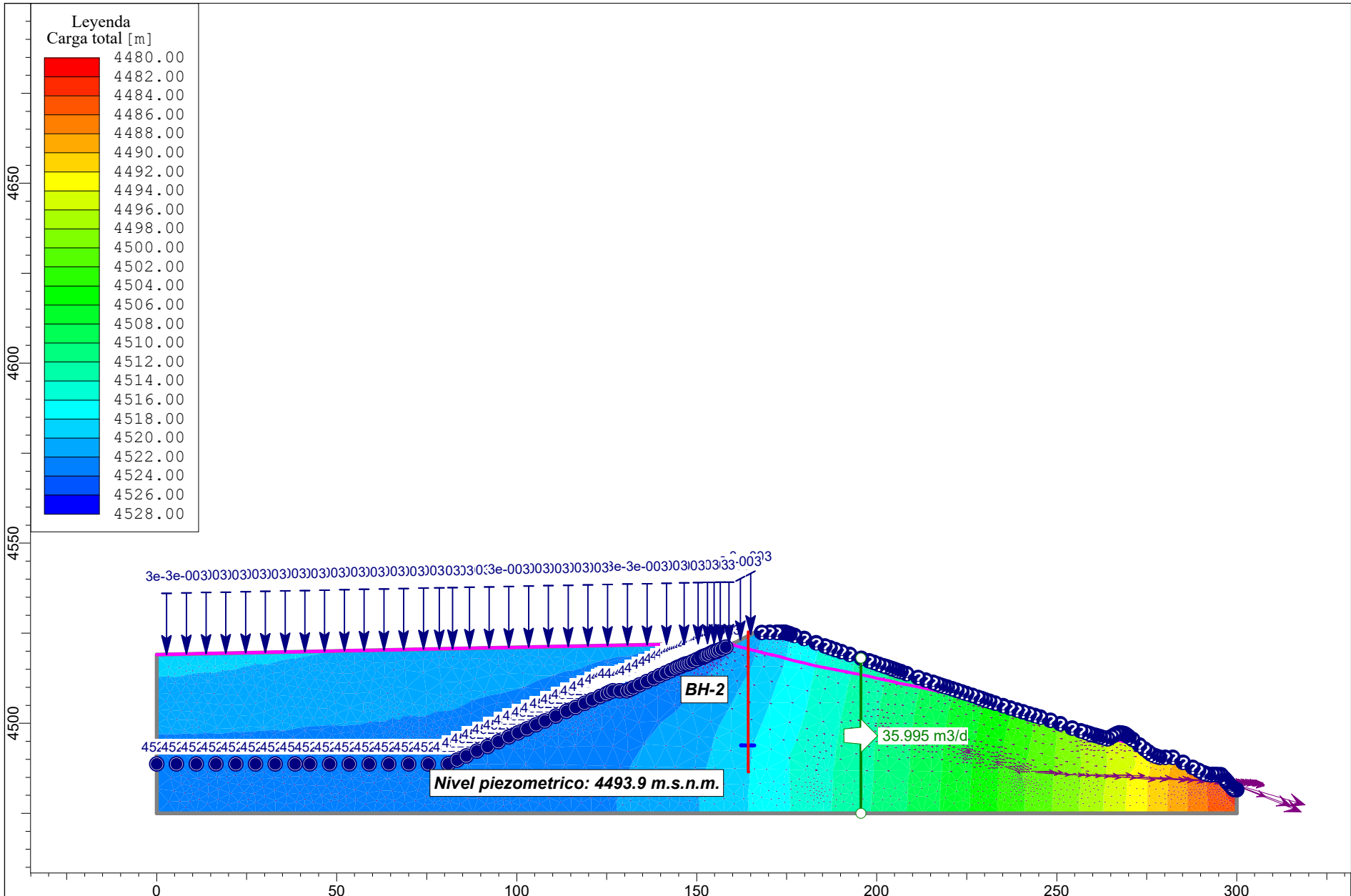
Anexo 8

A d r d r r r



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO: ANALISIS DE FILTRACION DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2	
METODO: SPENCER	
DIBUJADO: B.M.Q.Y.	ESCALA: 1:1000
FECHA: 01/12/2021	NOMBRE: SEC A-A' ETAPA 1 SIN GEOMEMBRANA



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
ANALISIS DE FILTRACION DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2

METODO:
SPENCER

DIBUJADO:
B.M.Q.Y.

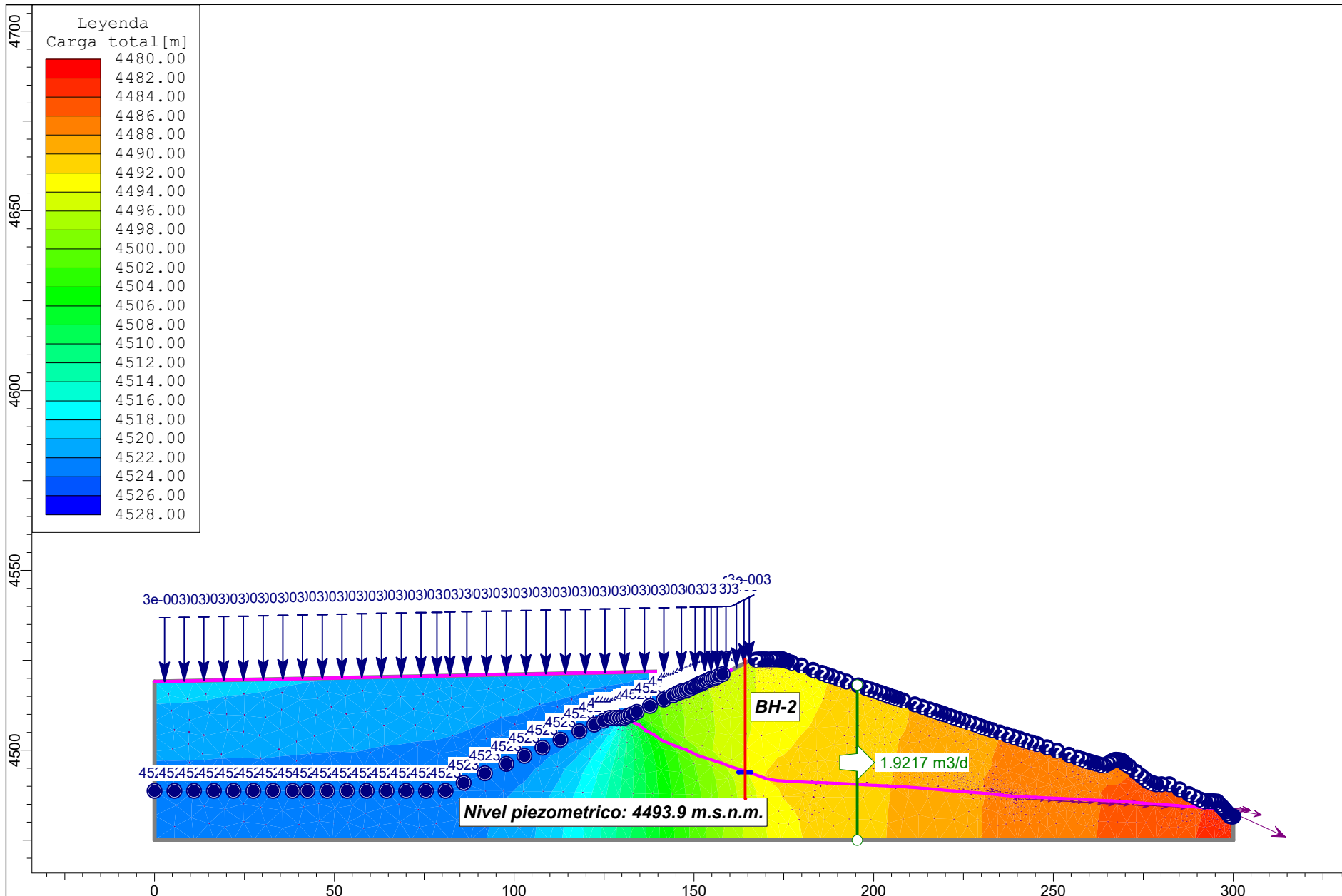
FECHA:
01/12/2021

ESCALA:
1:1500

NOMBRE:
SEC B-B' ETAPA 1 SIN GEOMEMBRANA

Anexo 9

A d r d r d r .



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA

TITULO:
ANALISIS DE FILTRACION DEL DEPOSITO DE RELAVES N°2

METODO:
SPENCER

DIBUJADO:
B.M.Q.Y.

ESCALA:
1:1500

FECHA:
01/12/2021

NOMBRE:
SEC B-B' ETAPA 1 CON GEOMEMBRANA

Anexo 10

Registro de nivel piezométrico – Casagrande.

Registro de monitoreo de piezómetro BH-01R

Registro de Campo				Cota de la boca del tubo (msnm)	Cota del fondo de aforo (m.s.n.m.)	Cota del Nivel de Agua (m.s.n.m.)	Carga de agua sobre fondo(m)	Variación (m)	Comentarios
Fecha	Hora	Profundidad Piezómetro (m)	Prof. agua desde la boca del tubo (m)						
17/09/2021	12:39:00	37.00	19.06	4518.82	4481.82	4499.76	17.94	-0.01	Descenso
19/09/2021	13:36:00	37.00	19.06	4518.82	4481.82	4499.76	17.94	0.00	Constante
21/09/2021	2:36:00	37.00	19.09	4518.82	4481.82	4499.73	17.91	-0.03	Descenso
23/09/2021	9:06:00	37.00	19.12	4518.82	4481.82	4499.70	17.88	-0.03	Descenso
25/09/2021	10:06:00	37.00	19.14	4518.82	4481.82	4499.68	17.86	-0.02	Descenso
27/09/2021	9:42:00	37.00	19.22	4518.82	4481.82	4499.60	17.78	-0.08	Descenso
29/09/2021	10:45:00	37.00	19.30	4518.82	4481.82	4499.52	17.70	-0.08	Descenso
1/10/2021	8:10:00	37.00	19.30	4518.82	4481.82	4499.52	17.70	0.00	Constante
3/10/2021	15:27:00	37.00	19.30	4518.82	4481.82	4499.52	17.70	0.00	Constante
5/10/2021	16:27:00	37.00	19.28	4518.82	4481.82	4499.54	17.72	0.02	Ascenso
7/10/2021	17:27:00	37.00	19.29	4518.82	4481.82	4499.53	17.71	-0.01	Descenso
9/10/2021	8:30:00	37.00	19.30	4518.82	4481.82	4499.52	17.70	-0.01	Descenso
11/10/2021	10:02:00	37.00	19.31	4518.82	4481.82	4499.51	17.69	-0.01	Descenso
13/10/2021	15:21:00	37.00	19.32	4518.82	4481.82	4499.50	17.68	-0.01	Descenso
15/10/2022	6:15:00	37.00	19.34	4518.82	4481.82	4499.48	17.66	-0.02	Descenso
17/10/2021	9:20:00	37.00	19.37	4518.82	4481.82	4499.45	17.63	-0.03	Descenso
19/10/2021	10:20:00	37.00	19.38	4518.82	4481.82	4499.44	17.62	-0.01	Descenso
21/10/2021	8:45:00	37.00	19.40	4518.82	4481.82	4499.42	17.60	-0.02	Descenso
23/10/2021	9:23:00	37.00	19.43	4518.82	4481.82	4499.39	17.57	-0.03	Descenso
25/10/2021	13:44:00	37.00	19.46	4518.82	4481.82	4499.36	17.54	-0.03	Descenso
27/10/2021	10:50:00	37.00	19.53	4518.82	4481.82	4499.29	17.47	-0.07	Descenso
29/10/2021	8:42:00	37.00	19.57	4518.82	4481.82	4499.25	17.43	-0.04	Descenso
31/10/2021	8:48:00	37.00	19.59	4518.82	4481.82	4499.23	17.41	-0.02	Descenso

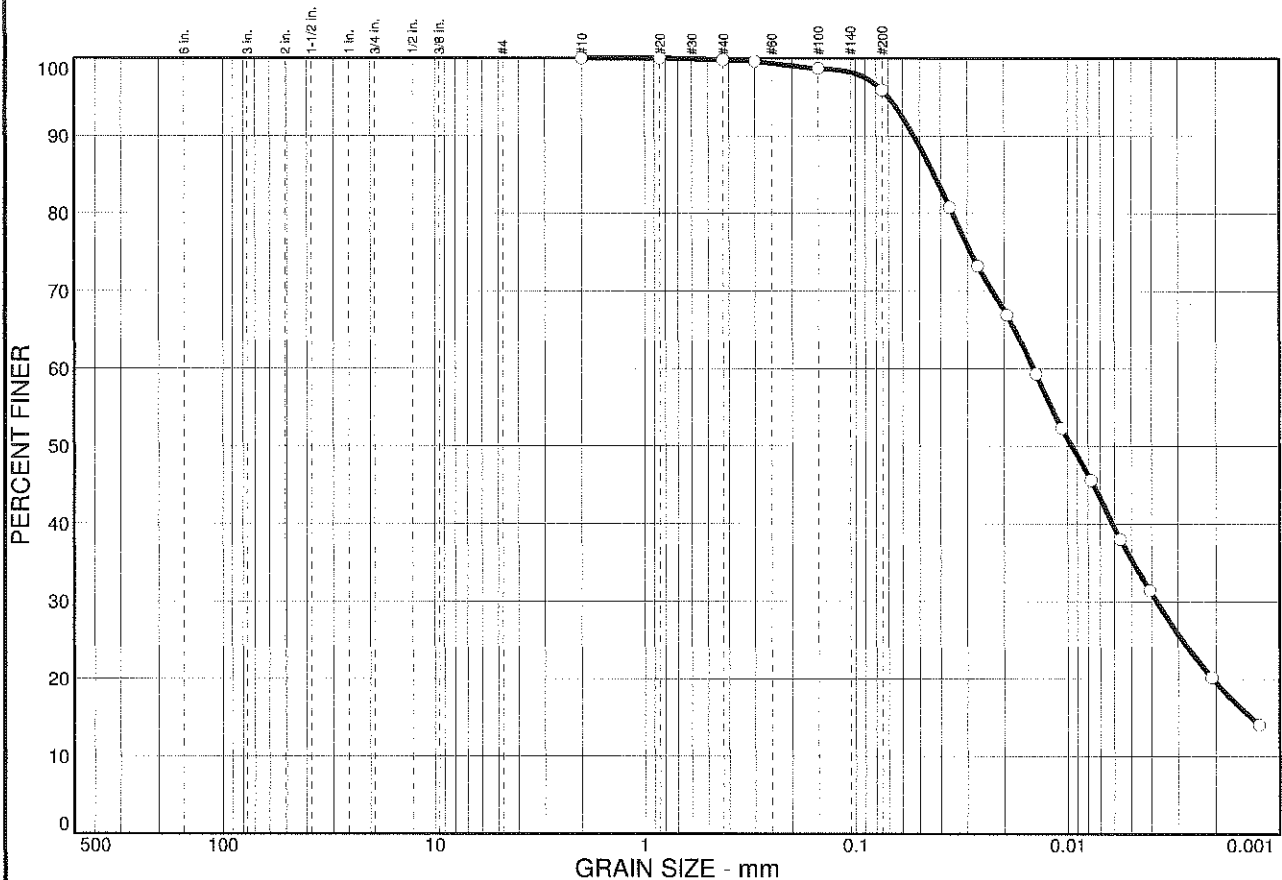
Registro de monitoreo de piezómetro BH-2

Registro de Campo				Cota de la boca del tubo (m.s.n.m.)	Cota del fondo de aforo (m.s.n.m.)	Cota del Nivel de Agua (m.s.n.m.)	Carga de agua sobre fondo (m)	Variación (m)	Comentarios
Fecha	Hora	Profundidad Piezómetro (m)	Prof. agua desde la boca del tubo (m)						
24/05/2018	7:00:00	26.50	16.67	4512.93	4486.43	4496.26	9.83		
9/09/2021	8:43:00	38.61	30.44	4525.04	4486.43	4494.60	8.17	0.00	Constante
10/09/2021	5:40:00	38.61	30.42	4525.04	4486.43	4494.62	8.19	0.02	Ascenso
10/09/2021	11:22:00	38.61	30.42	4525.04	4486.43	4494.62	8.19	0.00	Constante
11/09/2021	9:15:00	38.61	30.42	4525.04	4486.43	4494.62	8.19	0.00	Constante
13/09/2021	9:16:00	38.61	30.47	4525.04	4486.43	4494.57	8.14	-0.05	Descenso
15/09/2021	10:16:00	38.61	30.50	4525.04	4486.43	4494.54	8.11	-0.03	Descenso
17/09/2021	11:16:00	38.61	30.55	4525.04	4486.43	4494.49	8.06	-0.05	Descenso
19/09/2021	12:16:00	38.61	30.59	4525.04	4486.43	4494.45	8.02	-0.04	Descenso
21/09/2021	1:16:00	38.61	30.61	4525.04	4486.43	4494.43	8.00	-0.02	Descenso
23/09/2021	2:16:00	38.61	30.63	4525.04	4486.43	4494.41	7.98	-0.02	Descenso
25/09/2021	3:16:00	38.61	30.78	4525.04	4486.43	4494.26	7.83	-0.15	Descenso
27/09/2021	4:16:00	38.61	30.79	4525.04	4486.43	4494.25	7.82	-0.01	Descenso
29/09/2021	5:16:00	38.61	30.84	4525.04	4486.43	4494.20	7.77	-0.05	Descenso
1/10/2021	6:16:00	38.61	30.89	4525.04	4486.43	4494.15	7.72	-0.05	Descenso
3/10/2021	7:16:00	38.61	30.90	4525.04	4486.43	4494.14	7.71	-0.01	Descenso
5/10/2021	8:16:00	38.61	30.95	4525.04	4486.43	4494.09	7.66	-0.05	Descenso
7/10/2021	7:52:00	38.61	30.97	4525.04	4486.43	4494.07	7.64	-0.34	Descenso
9/10/2021	8:35:00	38.61	30.99	4525.04	4486.43	4494.05	7.62	-0.02	Descenso
11/10/2021	10:07:00	38.61	31.01	4525.04	4486.43	4494.03	7.60	-0.02	Descenso
13/10/2021	3:36:00	38.61	31.02	4525.04	4486.43	4494.02	7.59	-0.01	Descenso
15/10/2021	6:20:00	38.61	31.00	4525.04	4486.43	4494.04	7.61	0.02	Ascenso

Anexo 11

Ensayos de mecánica de suelos y rocas del depósito de
relaves N°2.

Particle Size Distribution Report



% COBBLES	% GRAVEL	% SAND	% SILT	% CLAY
0.0	0.0	4.1	60.4	35.5

SIEVE SIZE	PERCENT FINER	SPEC.* PERCENT	PASS? (X=NO)
#10	100.0		
#20	100.0		
#40	99.8		
#50	99.6		
#100	98.7		
#200	95.9		
0.0362 mm.	80.8		
0.0266 mm.	73.2		
0.0194 mm.	66.9		
0.0142 mm.	59.3		
0.0106 mm.	52.3		
0.0077 mm.	45.6		
0.0056 mm.	38.0		
0.0041 mm.	31.4		
0.0021 mm.	20.2		
0.0012 mm.	14.1		

Soil Description

Lean clay

Atterberg Limits

PL= 24 LL= 36 PI= 12

Coefficients

D₈₅= 0.0427 D₆₀= 0.0145 D₅₀= 0.0095
D₃₀= 0.0038 D₁₅= 0.0014 D₁₀=
C_u=

Classification

USCS= CL AASHTO= A-6(13)

Remarks

* (no specification provided)

Sample No.: G433
 Location:

Source of Sample: Calicata TP-03

Date:
 Elev./Depth: Superficial

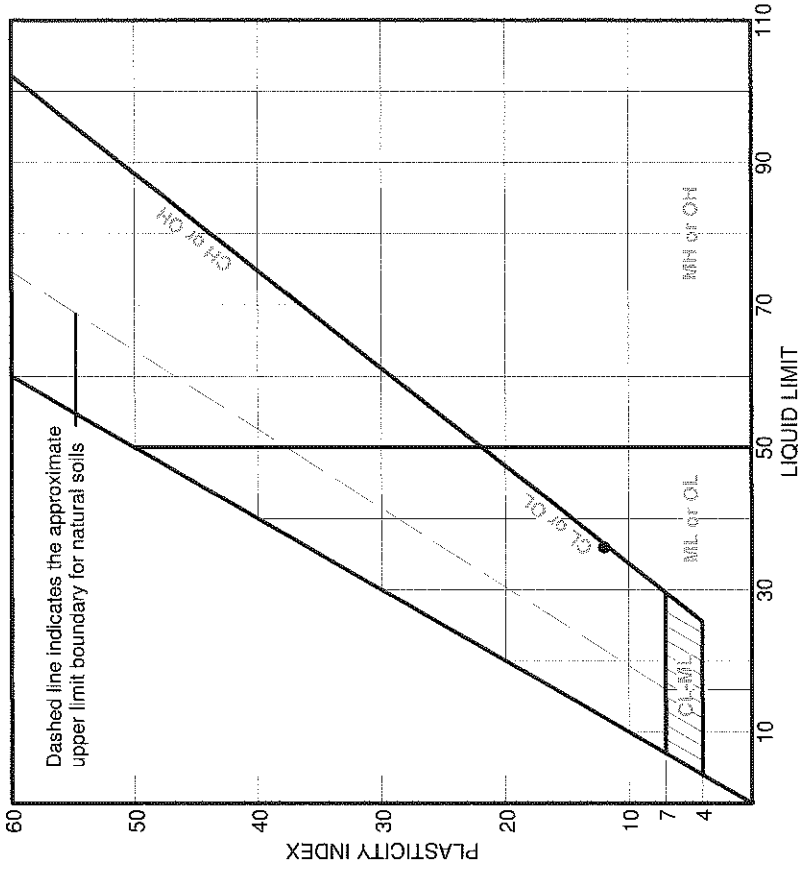
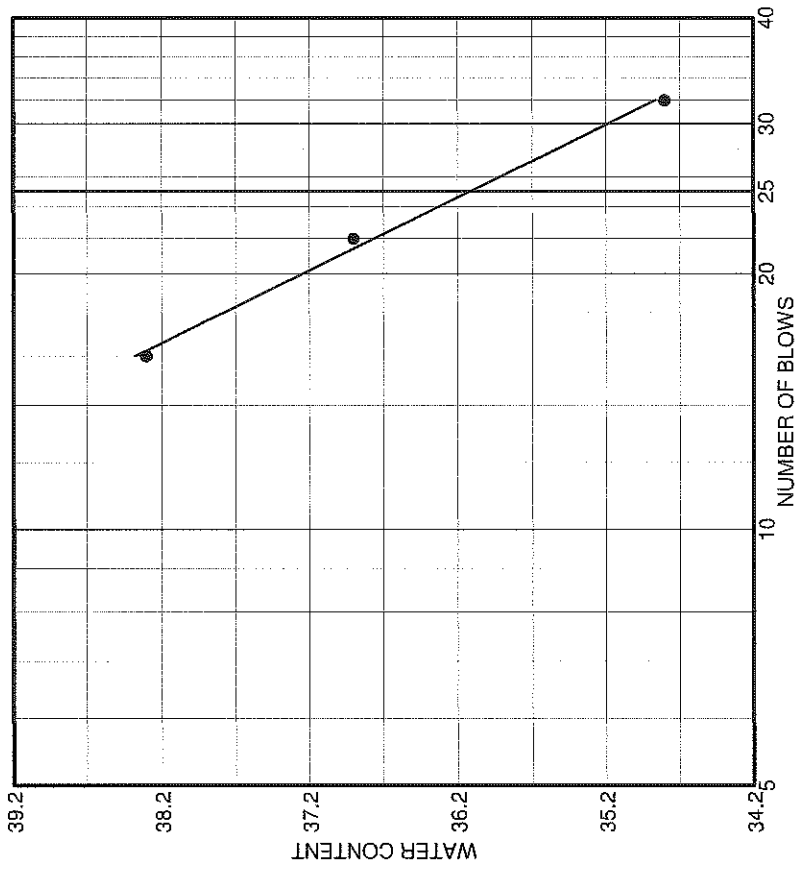
Knight Piésold

Client: Cia. Minera Lincuna S.A.
 Project: Relavera Huancapeti

Project No: LI201-00223/15

Plate

LIQUID AND PLASTIC LIMITS TEST REPORT



SOURCE	SAMPLE #	DEPTH/ELEV.	DATE SAMPLED	USCS	MATERIAL DESCRIPTION	NM %	LL	PI
Calicata TP-03	G433	Superficial		CL	Lean clay		36	12

Client Cia. Minera Lincuna S.A.
 Project Relavera Huancapeti
 Project No. LI201-00223/15 Plate

Knight Piésold

UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULTS
(ASTM D2850-95)

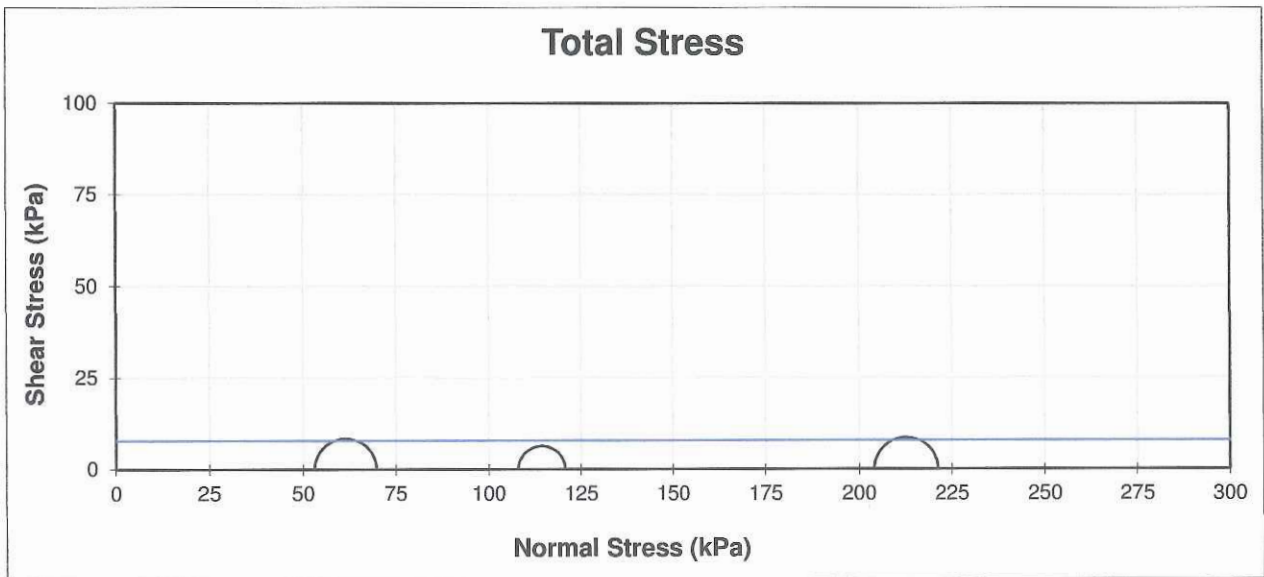
Project: Relavera Huancapeti		
Project Number: LI201-00223/15 G05.04	Laboratory Number: G433	
Field Sample Reference: Calicata TP-03	Depth (m): Superficial	Date Tested: 21-Jun-12

Samples data:
USCS: CL Lean clay LL: 36 LP: 24

Remarks:
Undisturbed sample

MOHR STRESS CIRCLES (2.0 %)

	COHESION (kPa)	FRICITION ANGLE
TOTAL	8	0



UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULTS
(ASTM D2850-95)

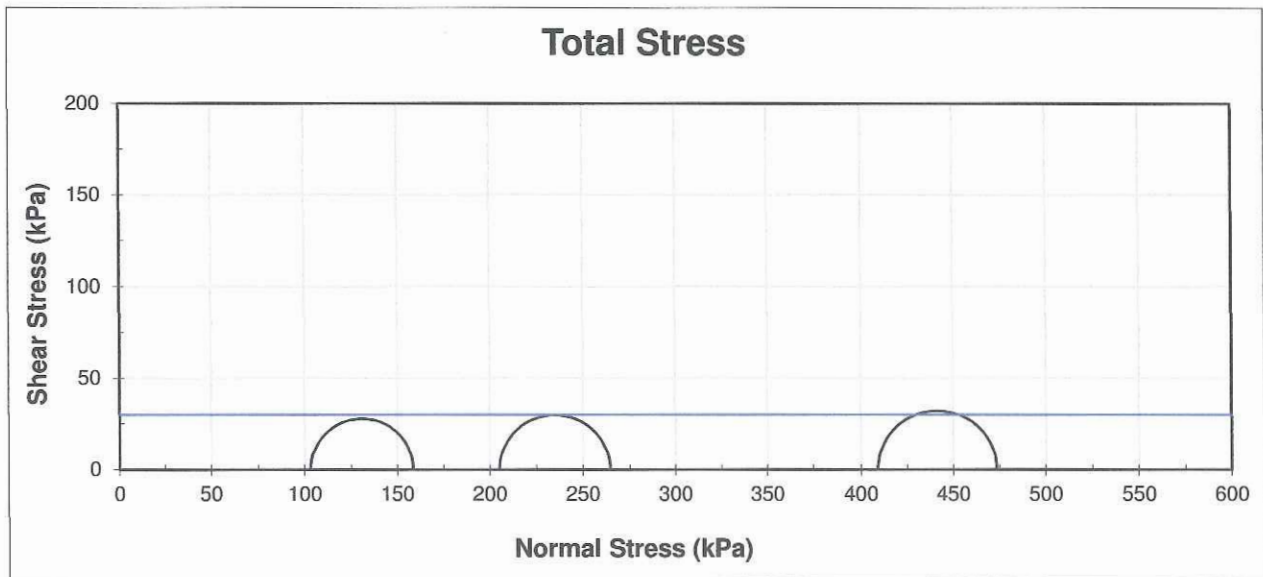
Project: Relavera Huancapeti		
Project Number: LI201-00223/15	G05.04	Laboratory Number: G441
Field Sample Reference: Muestra 04	Depth (m):	Date Tested: 20-Jun-12

Samples data:		
USCS: CL-ML	Silty clay with sand	LL: 23 LP: 19

Remarks:	Undisturbed sample
-----------------	--------------------

MOHR STRESS CIRCLES (2.0 %)

	COHESION (kPa)	FRICITION ANGLE
TOTAL	30	0



UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULTS
(ASTM D2850-95)

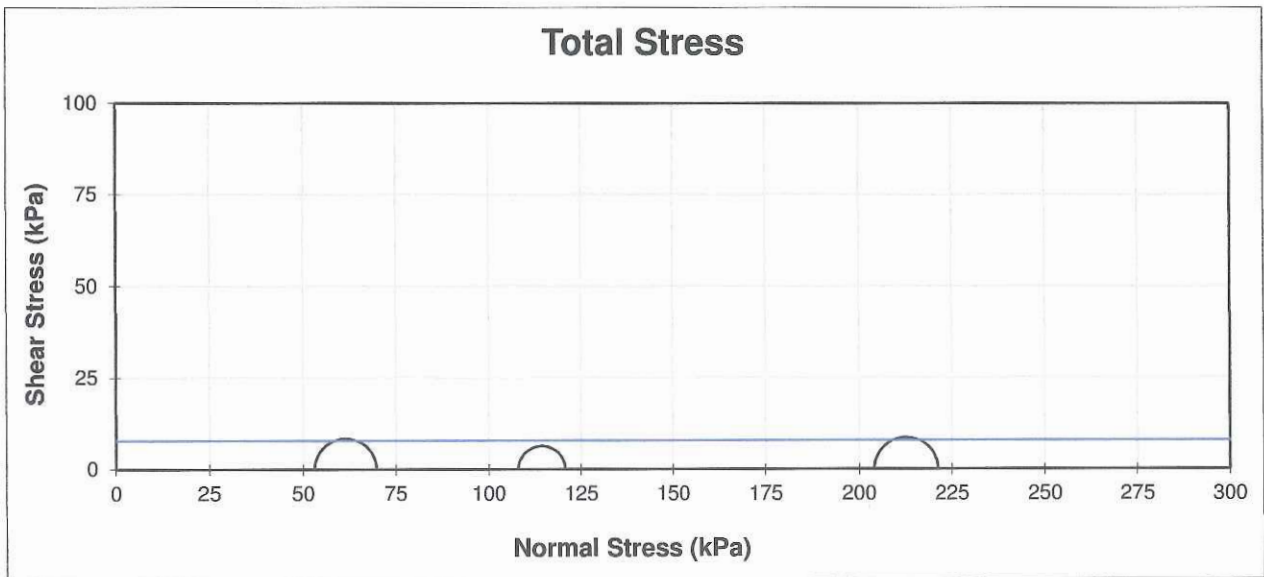
Project: Relavera Huancapeti		
Project Number: LI201-00223/15 G05.04	Laboratory Number: G433	
Field Sample Reference: Calicata TP-03	Depth (m): Superficial	Date Tested: 21-Jun-12

Samples data:
USCS: CL Lean clay LL: 36 LP: 24

Remarks:
Undisturbed sample

MOHR STRESS CIRCLES (2.0 %)

	COHESION (kPa)	FRICITION ANGLE
TOTAL	8	0



UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULTS
(ASTM D2850-95)

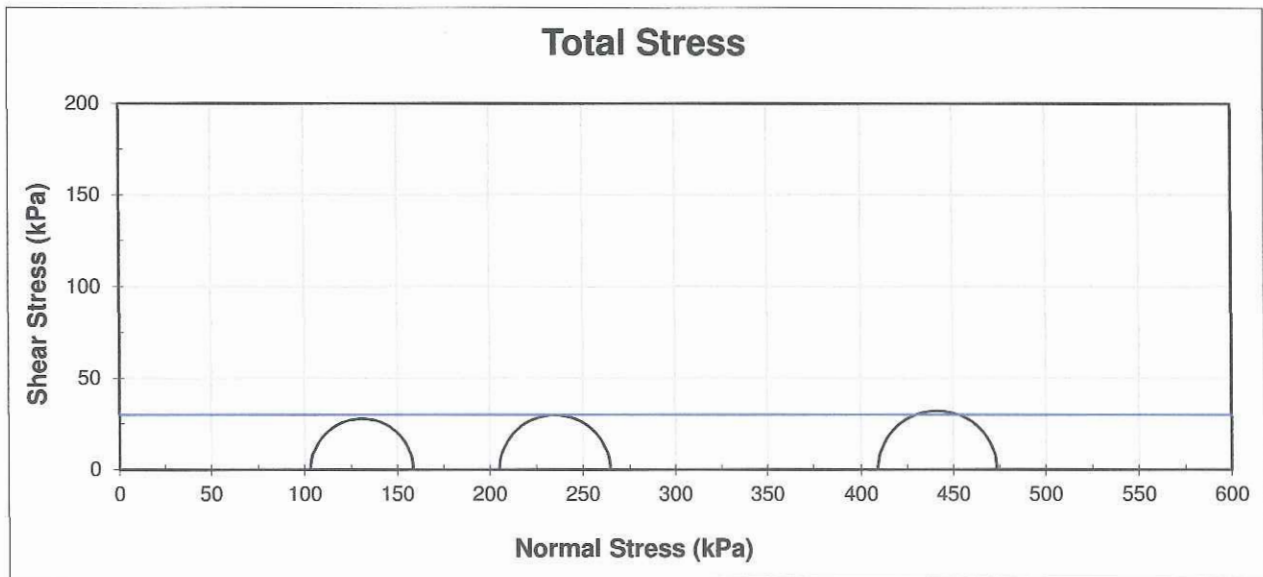
Project: Relavera Huancapeti		
Project Number: LI201-00223/15	G05.04	Laboratory Number: G441
Field Sample Reference: Muestra 04	Depth (m):	Date Tested: 20-Jun-12

Samples data:		
USCS: CL-ML	Silty clay with sand	LL: 23 LP: 19

Remarks:	Undisturbed sample
-----------------	--------------------

MOHR STRESS CIRCLES (2.0 %)

	COHESION (kPa)	FRICITION ANGLE
TOTAL	30	0





ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D2216; D6913; D4318; D4943; D2487; D-3282)

Informe : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 6A

Hoja : 1 de 1

Muestra : ---

Profundidad (m) : ---

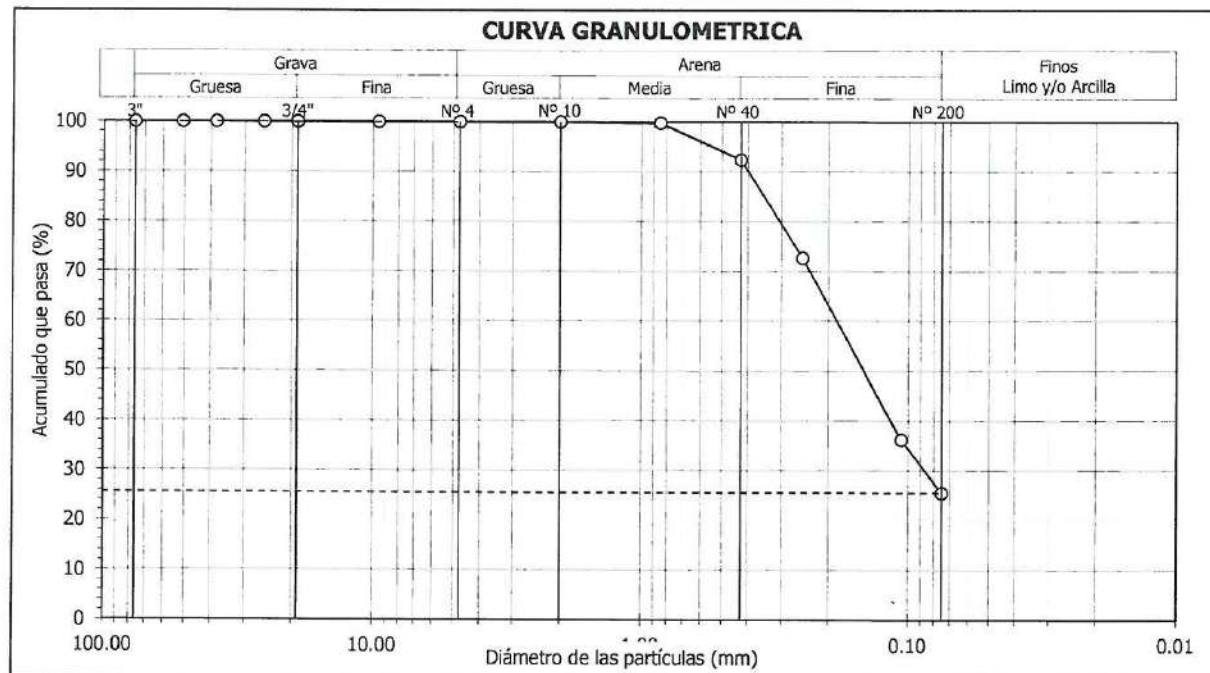
Granulometría por tamizado - D6913		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
N° 4	4.750	100.0
N° 10	2.000	100.0
N° 20	0.850	99.8
N° 40	0.425	92.4
N° 60	0.250	72.7
N° 140	0.106	36.2
N° 200	0.075	25.5

Contenido de humedad - D2216 (%)		
		8.4
Límites de consistencia D4318	Límite Líquido (%)	NP
	Límite Plástico (%)	NP
	Índice de Plasticidad (%)	NP
	Límite de Contracción - D4943 (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [N° 4 < ϕ < 3"] (%)	0.0
	Arena [N° 200 < ϕ < N° 4] (%)	74.5
	Finos [ϕ < N° 200] (%)	25.5

Clasificación - D3282 / D2487

AASHTO SUCS

A-2-4 (0) SM Arena limosa



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>


 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(ASTM - D1557 "A")

Informe : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves Nº 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : Relave Grueso

Hoja : 1 de 1

Muestra : ---

AASHTO : A-2-4 (0)

Prof. (m) : ---

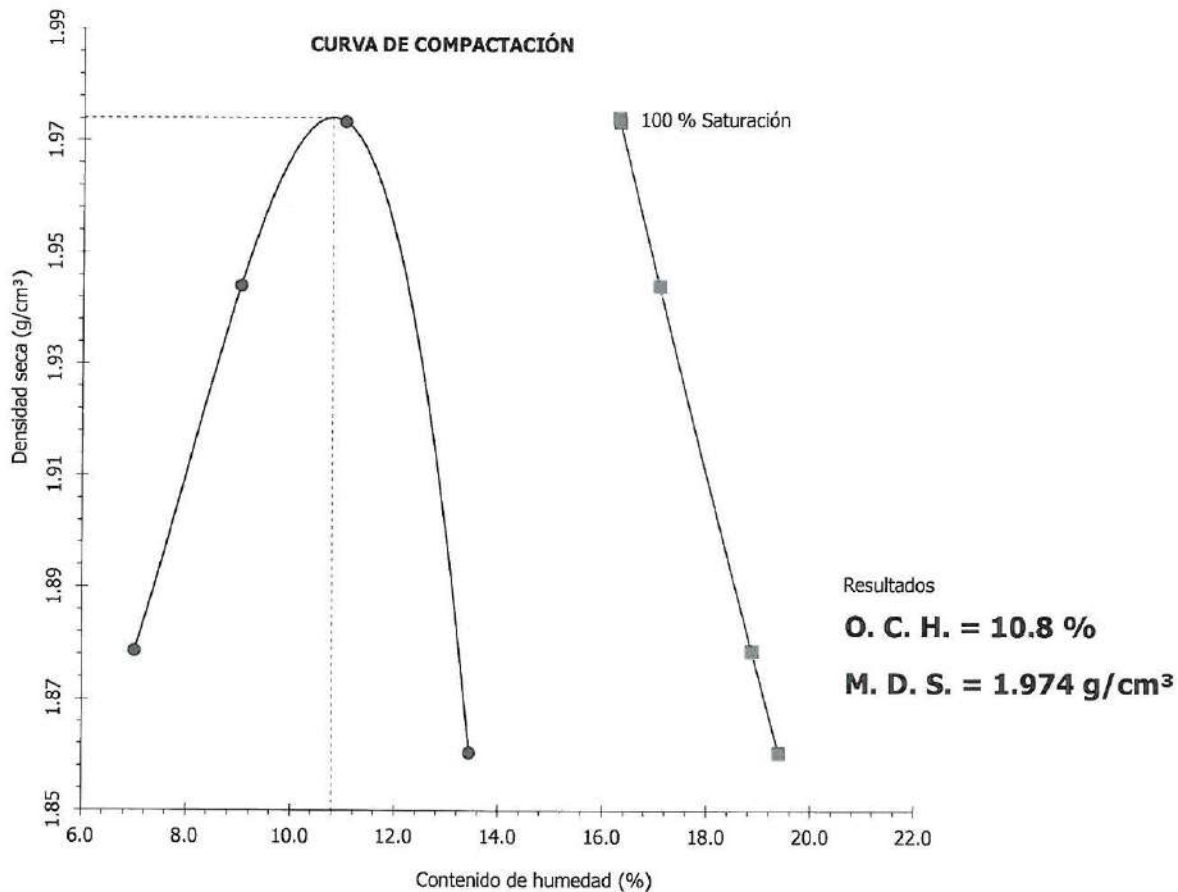
SUCS : SM / Arena limosa

Fracción fina

- Material que pasa el Tamiz Nº 4
- Martillo manual

Acumulado que pasa : 100 %
 Gravedad de sólidos : 2.91

Humedad (%) :	7.0	9.0	11.0	13.4
Densidad seca (g/cm ³) :	1.879	1.944	1.973	1.860
Humedad al 100% de Sat. (%) :	18.9	17.1	16.3	19.4



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Luna Durán
 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
 Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
 y Mitigación de Desastres
 Laboratorio Geotécnico

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 6A Hoja : 1 de 5
 Muestra : --- AASHTO : A-2-4 (0)
 Profundidad (m) : --- SUCS : SM // Arena limosa
 Estado : Inalterado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 1 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 2 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 1 kg/cm²
 Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 96 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	4.86	4.80	---
Altura (cm)	10.03	9.76	8.58
Humedad (%)	8.2	---	25.3
Densidad seca (g/cm ³)	1.72	1.82	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.20	0.02	0.98	1.18	1.08	0.10	0.09	1.21
0.10	0.31	0.04	0.96	1.27	1.11	0.15	0.14	1.32
0.20	0.51	0.06	0.94	1.45	1.20	0.26	0.21	1.54
0.35	0.67	0.08	0.92	1.59	1.25	0.33	0.27	1.72
0.50	0.82	0.10	0.90	1.72	1.31	0.41	0.31	1.91
0.75	0.92	0.13	0.87	1.79	1.33	0.46	0.35	2.06
1.00	1.02	0.15	0.85	1.87	1.36	0.51	0.38	2.20
1.25	1.18	0.17	0.83	2.01	1.42	0.59	0.41	2.42
1.50	1.28	0.20	0.80	2.08	1.44	0.64	0.44	2.60
1.75	1.38	0.23	0.77	2.15	1.46	0.69	0.47	2.80
2.00	1.54	0.23	0.77	2.31	1.54	0.77	0.50	2.99
2.50	1.69	0.23	0.77	2.46	1.61	0.84	0.52	3.19
3.00	1.79	0.22	0.78	2.57	1.68	0.90	0.53	3.30
3.50	1.89	0.22	0.78	2.67	1.73	0.95	0.55	3.43
4.00	2.00	0.22	0.79	2.78	1.78	1.00	0.56	3.54
4.50	2.10	0.21	0.79	2.89	1.84	1.05	0.57	3.66
5.00	2.20	0.20	0.80	3.00	1.90	1.10	0.58	3.75
6.00	2.25	0.18	0.82	3.07	1.95	1.13	0.58	3.75
7.00	2.30	0.16	0.84	3.14	1.99	1.15	0.58	3.74
8.00	2.35	0.14	0.86	3.21	2.04	1.18	0.58	3.74
9.00	2.35	0.12	0.88	3.23	2.06	1.18	0.57	3.68
10.00	2.41	0.10	0.90	3.31	2.10	1.20	0.57	3.67
11.00	2.41	0.08	0.92	3.33	2.12	1.20	0.57	3.62
12.00	2.41	0.07	0.93	3.34	2.13	1.20	0.56	3.59

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 - Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labqec@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Luna Durán
 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.
 Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Fecha : Marzo, 2018

Sondaje : C - 6A Hoja : 2 de 5
 Muestra : --- AASHTO : A-2-4 (0)
 Profundidad (m) : --- SUCS : SM // Arena limosa
 Estado : Inalterado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 2 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 3 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 2 kg/cm²
 Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 97 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especímen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	4.93	4.82	---
Altura (cm)	9.98	9.77	8.60
Humedad (%)	8.5	---	22.0
Densidad seca (g/cm ³)	1.74	1.86	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.35	0.01	1.99	2.34	2.17	0.18	0.08	1.18
0.10	0.51	0.02	1.98	2.49	2.23	0.25	0.11	1.26
0.20	0.86	0.06	1.94	2.80	2.37	0.43	0.18	1.44
0.35	1.17	0.09	1.91	3.08	2.49	0.58	0.23	1.61
0.50	1.47	0.13	1.87	3.34	2.61	0.74	0.28	1.79
0.75	1.88	0.19	1.81	3.69	2.75	0.94	0.34	2.04
1.00	2.18	0.23	1.77	3.95	2.86	1.09	0.38	2.23
1.25	2.48	0.28	1.72	4.20	2.96	1.24	0.42	2.44
1.50	2.79	0.33	1.67	4.46	3.06	1.39	0.45	2.67
1.75	2.94	0.35	1.65	4.59	3.12	1.47	0.47	2.78
2.00	3.14	0.37	1.63	4.77	3.20	1.57	0.49	2.93
2.50	3.40	0.41	1.59	4.99	3.29	1.70	0.52	3.14
3.00	3.60	0.43	1.57	5.17	3.37	1.80	0.53	3.29
3.50	3.80	0.44	1.56	5.36	3.46	1.90	0.55	3.44
4.00	3.90	0.44	1.56	5.46	3.51	1.95	0.56	3.50
4.50	4.00	0.44	1.56	5.56	3.56	2.00	0.56	3.57
5.00	4.11	0.43	1.57	5.68	3.62	2.05	0.57	3.62
6.00	4.31	0.41	1.59	5.90	3.74	2.15	0.58	3.71
7.00	4.46	0.39	1.61	6.07	3.84	2.23	0.58	3.77
8.00	4.56	0.36	1.64	6.20	3.92	2.28	0.58	3.78
9.00	4.66	0.33	1.67	6.33	4.00	2.33	0.58	3.79
10.00	4.77	0.31	1.69	6.46	4.07	2.38	0.59	3.82
11.00	4.82	0.29	1.71	6.53	4.12	2.41	0.58	3.82
12.00	4.82	0.28	1.72	6.54	4.13	2.41	0.58	3.80

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Luna Durán
 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
 Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
 y Mitigación de Desastres
 Laboratorio Geotécnico

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 6A Hoja : 3 de 5
 Muestra : --- AASHTO : A-2-4 (0)
 Profundidad (m) : --- SUCS : SM // Arena limosa
 Estado : Inalterado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 4 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 5 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 4 kg/cm²
 Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 96 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	4.89	4.73	---
Altura (cm)	10.17	9.95	8.76
Humedad (%)	8.2	---	20.6
Densidad seca (g/cm ³)	1.77	1.93	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.55	0.02	3.98	4.53	4.25	0.27	0.06	1.14
0.10	0.80	0.03	3.97	4.77	4.37	0.40	0.09	1.20
0.20	1.14	0.05	3.95	5.09	4.52	0.57	0.13	1.29
0.35	1.74	0.09	3.91	5.65	4.78	0.87	0.18	1.44
0.50	2.24	0.13	3.87	6.11	4.99	1.12	0.22	1.58
0.75	3.03	0.18	3.82	6.85	5.34	1.52	0.28	1.79
1.00	3.73	0.24	3.76	7.49	5.62	1.86	0.33	1.99
1.25	4.32	0.30	3.70	8.02	5.86	2.16	0.37	2.17
1.50	4.82	0.36	3.64	8.46	6.05	2.41	0.40	2.32
1.75	5.32	0.40	3.60	8.92	6.26	2.66	0.42	2.48
2.00	5.72	0.46	3.54	9.26	6.40	2.86	0.45	2.61
2.50	6.41	0.55	3.45	9.86	6.66	3.21	0.48	2.86
3.00	7.01	0.63	3.37	10.38	6.87	3.50	0.51	3.08
3.50	7.41	0.69	3.31	10.72	7.01	3.70	0.53	3.24
4.00	7.70	0.74	3.26	10.96	7.11	3.85	0.54	3.36
4.50	8.05	0.79	3.21	11.26	7.24	4.03	0.56	3.51
5.00	8.30	0.83	3.17	11.47	7.32	4.15	0.57	3.62
6.00	8.65	0.88	3.12	11.77	7.44	4.32	0.58	3.77
7.00	8.85	0.90	3.10	11.95	7.52	4.42	0.59	3.85
8.00	9.05	0.92	3.08	12.13	7.60	4.52	0.59	3.94
9.00	9.19	0.92	3.08	12.27	7.68	4.60	0.60	3.99
10.00	9.29	0.91	3.09	12.38	7.74	4.65	0.60	4.01
11.00	9.39	0.90	3.10	12.49	7.80	4.70	0.60	4.03
12.00	9.39	0.90	3.10	12.49	7.80	4.70	0.60	4.03

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Luna Durán
 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
 Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
 y Mitigación de Desastres
 Laboratorio Geotécnico



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

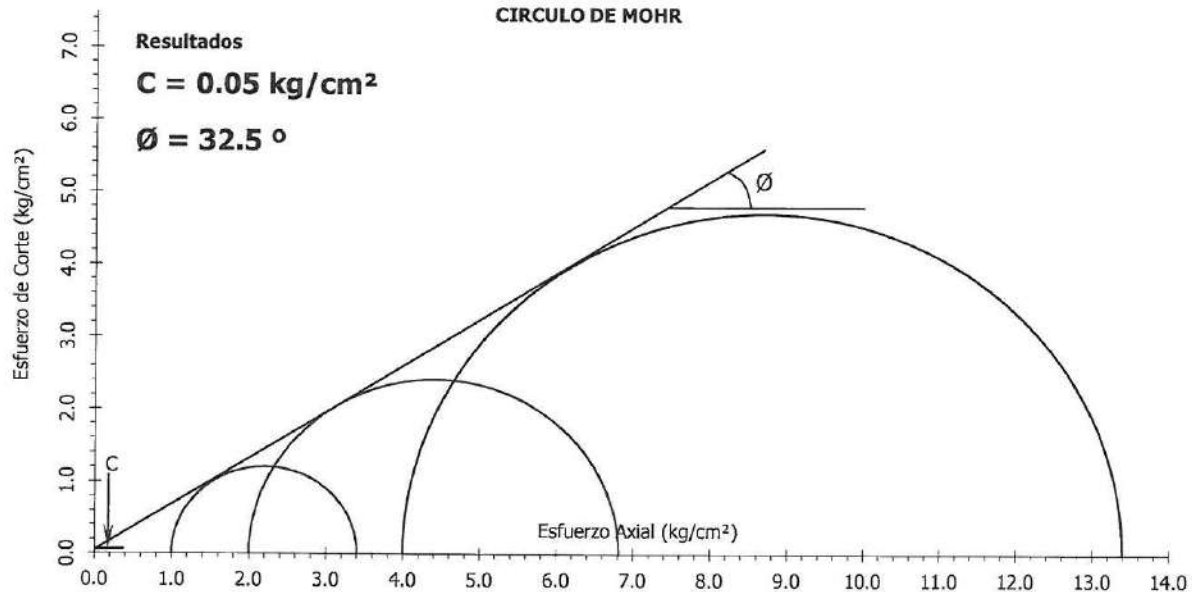
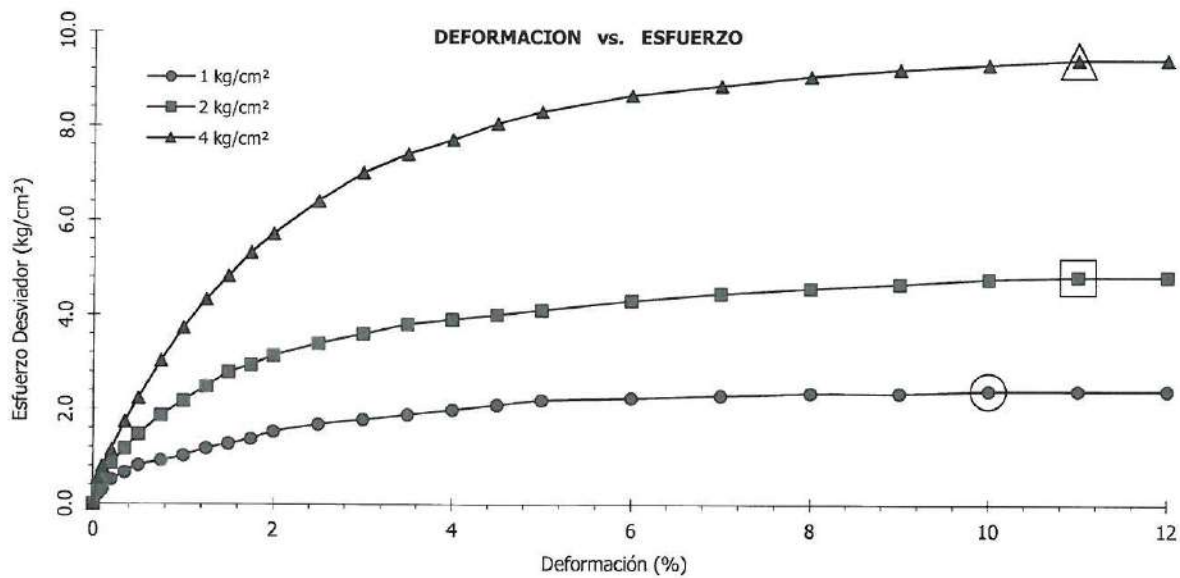
Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 6A
 Muestra : ---
 Profundidad (m) : ---
 Estado : Inalterado

Hoja : 4 de 5
 AASHTO : A-2-4 (0)
 SUCS : SM // Arena limosa
 Velocidad : 0.2 mm/min



Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Luna Durán
 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

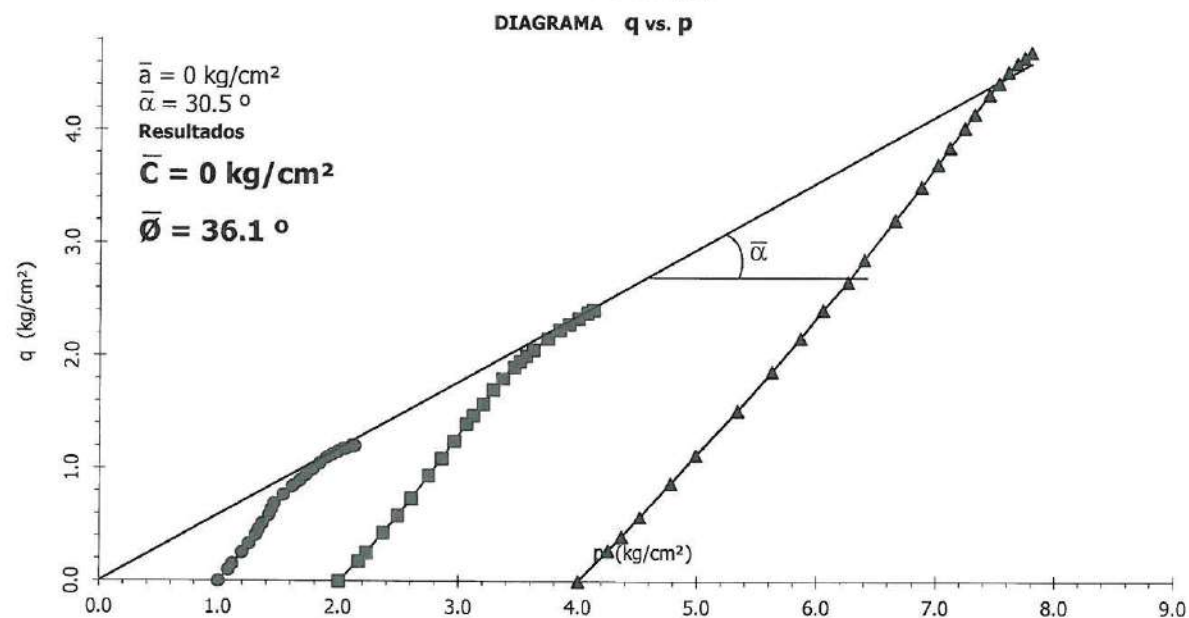
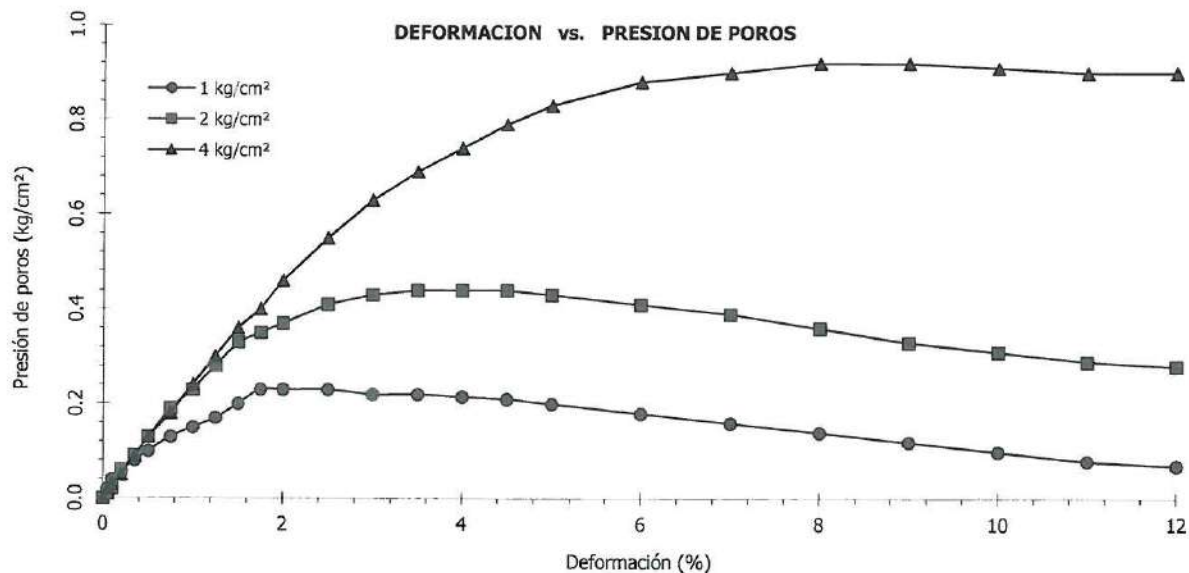
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 6A Hoja : 5 de 5
 Muestra : --- AASHTO : A-2-4 (0)
 Profundidad (m) : --- SUCS : SM // Arena limosa
 Estado : Inalterado Velocidad : 0.2 mm/min



Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Luna Durán
 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





PERMEABILIDAD

(Pared Flexible ASTM - D5084)

Informe : LG18-026
Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves Nº 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : Relave Grueso
Muestra : ---
Prof. (m) : ---
Estado : Remoldeado
AASHTO : A-2-4 (0)
SUCS : SM / Arena limosa
Hoja : 1 de 1

Datos del espécimen

Diámetro : 5 cm
Altura : 5 cm
Densidad seca : 1.69 g/cm³
Gravedad de sólidos : 2.96
Humedad inicial : 10 %
Humedad final : 25 %
Saturación inicial : 39.7 %
Saturación final : 99.2 %

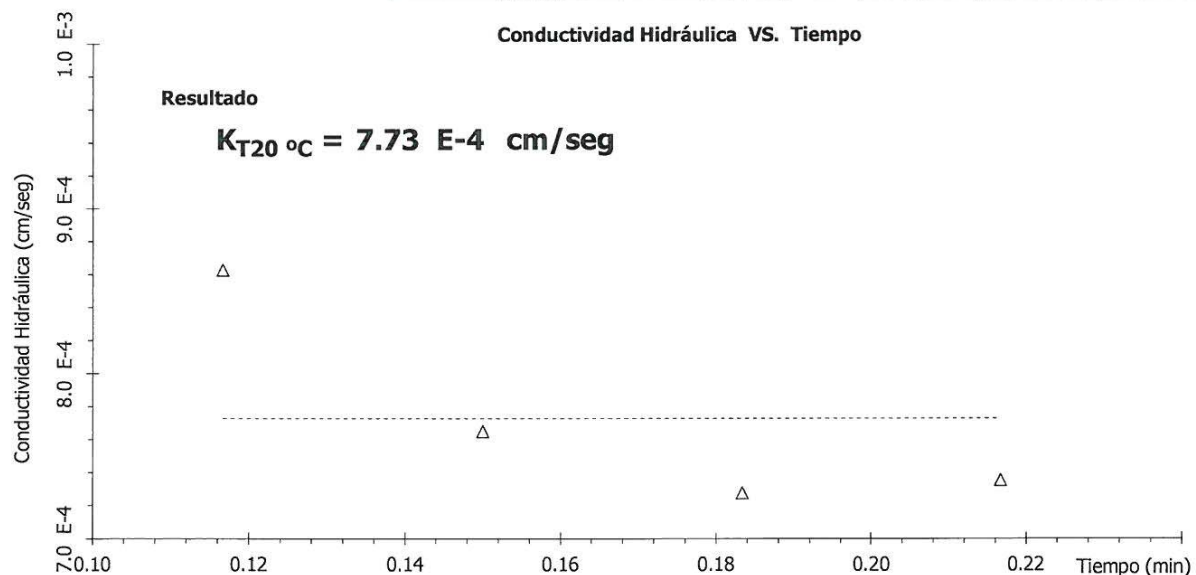
Cálculo de parámetro "B"

Presión de celda
Inicial : 3.69 kg/cm³
Final : 3.9 kg/cm³
Presión de poros
Inicial : 3.5 kg/cm³
Final : 3.7 kg/cm³
Contrapresión
Inicial : 3.5 kg/cm³
Final : 3.71 kg/cm³
Parám. "B" : 96.7 %

Cálculo de conductividad hidráulica

Table with 7 columns: P. Entrada (kg/cm²), Tiempo (seg), Volumen (cm³), Temp. (°C), Gradiente (i), Velocidad (cm/seg), K_T20 °C (cm/seg). It contains 4 rows of experimental data.

Conductividad Hidráulica VS. Tiempo



Resultado

K_T20 °C = 7.73 E-4 cm/seg

Observación :

La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante. Humedad = 10.0%, densidad seca = 1.70g/cm³. Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 - Perú
Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
(+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: http://www.cismid-uni.org

Signature of David Luna Durán
DAVID LUNA DURAN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



Nombre del Proyecto:	Depósito de Relaves N°2 de Cía Minera Lincuna S.A.		
Cliente:	SRK Consulting Perú S.A.		
N° de muestra / Prof. (m):	Desmante de Mina	N° Informe Lab : AP-051-17	
Descripción / Zona:	Dique de Arranque	N° de Proyecto: 100727-01	
Solicitado por:	Elizabeth Callupe	Fecha: 27-mar-18	
Ubicación:	Aija – Ancash		

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : 51,4

Arena (%) : 36,5

Limos y Arcillas (%) : 12,1

Límites de Atterberg:

LL (%) : 19

LP (%) : 13

IP (%) : 6

Humedad (%) : 2,2

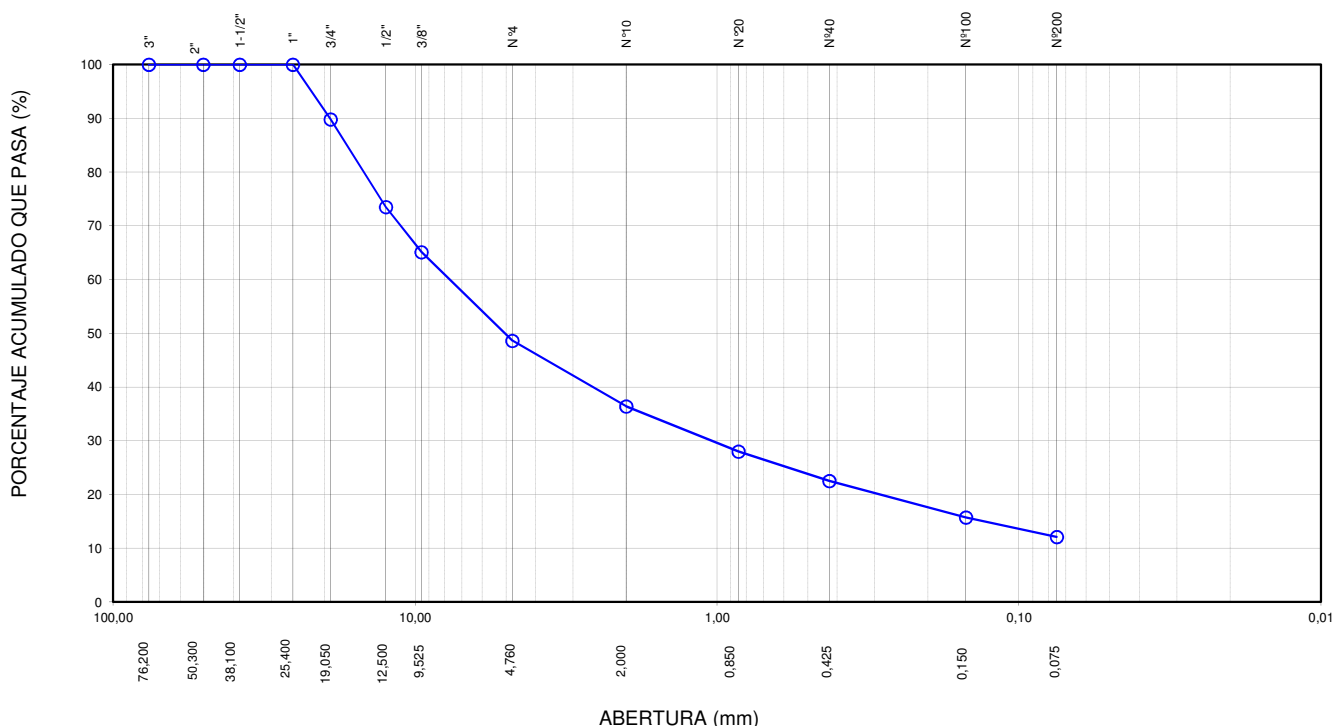
Clasificación SUCS : GC-GM

Grava arcillosa limosa con arena

D10 :
D30: 1,04
D60: 7,69
Cu:
Cc:

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	89,8
1/2"	12,500	73,5
3/8"	9,525	65,1
N°4	4,760	48,6
N°10	2,000	36,4
N°20	0,850	28,0
N°40	0,425	22,5
N°100	0,150	15,7
N°200	0,075	12,1

CURVA GRANULOMÉTRICA



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.

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	N° Informe Lab :
DCF	HEV	JSG	AP-051-17



PROCTOR MODIFICADO
ASTM - D1557 (C)

LABORATORIO GEOTÉCNICO

Nombre del Proyecto: **Depósito de Relaves N°2 de Cía Minera Lincuna S.A.**

Cliente: **SRK Consulting Perú S.A.**

N° de muestra / Prof. (m): **Desmonte de Mina**

N° Informe Lab : **AP-051-17**

Descripción / Zona: **Dique de Arranque**

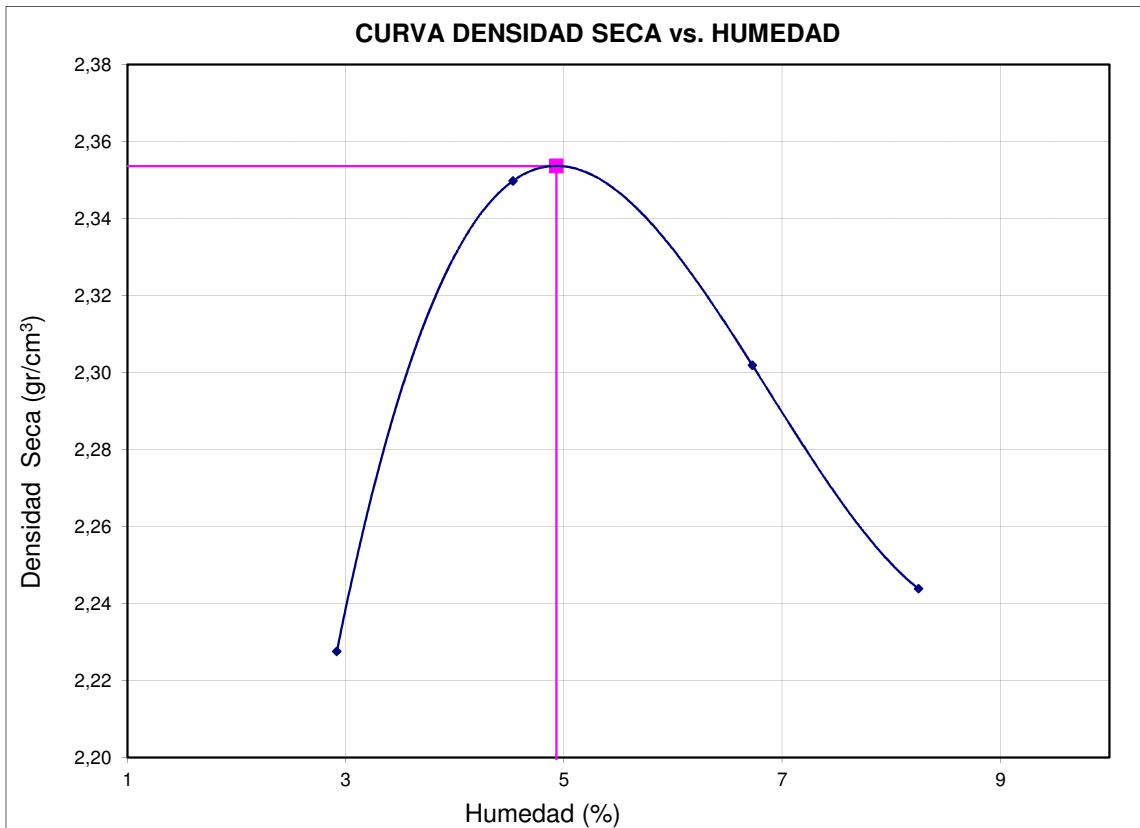
N° de Proyecto: **100727-01**

Solicitado por: **Elizabeth Callupe**

Fecha: **27-mar-18**

Ubicación: **Aija – Ancash**

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Densidad seca (gr/cm ³)	2,228	2,350	2,302	2,244		
Humedad(%)	2,9	4,5	6,7	8,3		



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2,354
Óptimo Contenido de Humedad (%)	4,9

Máx. Dens. Seca Corregida (gr/cm ³)	2,392
Ópt. Cont. de Humedad Corregida (%)	4,4

Fracción Sobre tamaño	
GS (Bulk)	= 2,79
w(%)	= 0,2

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

La muestra presenta un retenido en la malla 3/4" > 30% por lo que no cumple con ninguno de los métodos de esta norma. Se procedió con el que mejor se ajusta; método C, usando material pasante 3/4".

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.

Realizado por:

DCF

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-051-17

Nombre del Proyecto: **Depósito de Relaves N°2 de Cía Minera Lincuna S.A.**

Cliente: **SRK Consulting Perú S.A.**

N° de muestra / Prof. (m): **Desmonte de Mina**

N° Informe Lab : **AP-051-17**

Descripción / Zona: **Dique de Arranque**

N° de Proyecto: **100727-01**

Solicitado por: **Elizabeth Callupe**

Fecha: **03-abr-18**

Ubicación: **Aija – Ancash**

Clasificación SUCS: GC-GM

Estado : Remoldeada al 90%MDS = 2,150g/cm³ y %w = 4,4%

Etapa de consolidación	Inicial	Final	Velocidad (pulg/min)	0,01
Altura (cm)	31,00	30,91	Parámetro "B"	0,97
Diámetro (cm)	15,15	15,05	Presión de celda	kPa 407
Humedad (%)	4,40	9,38	Contra presión	kPa 207
Densidad seca (gr/cc)	2,150	2,187	Esf. Efect. Inicial	kPa 200

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_3 kPa	s_1 kPa	\bar{p} kPa	\bar{q} kPa	\bar{q}/\bar{p}	Oblicuidad (s_1/s_3)
0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	200,00	0,00	0,00	1,00
0,05	78,86	3,47	196,53	275,39	235,96	39,43	0,17	1,40
0,10	150,86	11,06	188,94	339,80	264,37	75,43	0,29	1,80
0,20	241,68	20,93	179,07	420,75	299,91	120,84	0,40	2,35
0,35	366,98	35,77	164,23	531,21	347,72	183,49	0,53	3,23
0,50	432,18	49,16	150,84	583,01	366,92	216,09	0,59	3,87
0,75	457,98	64,72	135,28	593,26	364,27	228,99	0,63	4,39
1,00	463,44	71,11	128,89	592,33	360,61	231,72	0,64	4,60
1,25	461,82	77,72	122,28	584,10	353,19	230,91	0,65	4,78
1,50	454,53	82,41	117,59	572,12	344,85	227,27	0,66	4,87
1,75	453,43	83,50	116,50	569,93	343,22	226,72	0,66	4,89
2,00	447,42	84,90	115,10	562,52	338,81	223,71	0,66	4,89
2,50	449,76	87,06	112,94	562,70	337,82	224,88	0,67	4,98
3,00	451,93	87,55	112,45	564,39	338,42	225,97	0,67	5,02
3,50	460,78	87,29	112,71	573,49	343,10	230,39	0,67	5,09
4,00	464,82	87,26	112,74	577,56	345,15	232,41	0,67	5,12
4,50	468,68	86,79	113,21	581,89	347,55	234,34	0,67	5,14
5,00	470,44	85,95	114,05	584,49	349,27	235,22	0,67	5,13
6,00	476,04	86,24	113,76	589,80	351,78	238,02	0,68	5,18
7,00	491,08	83,71	116,29	607,37	361,83	245,54	0,68	5,22
8,00	501,60	82,18	117,82	619,42	368,62	250,80	0,68	5,26
9,00	515,73	79,75	120,25	635,99	378,12	257,87	0,68	5,29
10,00	519,36	77,30	122,70	642,06	382,38	259,68	0,68	5,23
11,00	521,45	74,46	125,54	646,99	386,27	260,73	0,67	5,15
12,00	531,58	73,91	126,09	657,67	391,88	265,79	0,68	5,22
13,00	541,03	71,50	128,50	669,54	399,02	270,52	0,68	5,21
14,00	536,10	71,09	128,91	665,01	396,96	268,05	0,68	5,16

Nota:

La muestra fue remoldeada al 90%MDS a pedido del cliente.

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:
CGC

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
JSG

N° Informe Lab :
AP-051-17

Nombre del Proyecto: **Depósito de Relaves N°2 de Cía Minera Lincuna S.A.**

Cliente: **SRK Consulting Perú S.A.**

N° de muestra / Prof. (m): **Desmonte de Mina**

N° Informe Lab : **AP-051-17**

Descripción / Zona: **Dique de Arranque**

N° de Proyecto: **100727-01**

Solicitado por: **Elizabeth Callupe**

Fecha: **03-abr-18**

Ubicación: **Aija – Ancash**

Clasificación SUCS: GC-GM

Estado : Remoldeada al 90%MDS = 2,150g/cm³ y %w = 4,4%

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	31,00	30,93
Diámetro (cm)	15,15	15,07
Humedad (%)	4,40	9,63
Densidad seca (gr/cc)	2,150	2,176

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	307
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	100

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_3 kPa	s_1 kPa	\bar{p} kPa	\bar{q} kPa	\bar{q}/\bar{p}	Oblicuidad (s_1/s_3)
0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	1,00
0,05	40,26	2,94	97,06	137,32	117,19	20,13	0,17	1,41
0,10	79,23	9,32	90,68	169,91	130,30	39,62	0,30	1,87
0,20	118,10	15,93	84,07	202,17	143,12	59,05	0,41	2,40
0,35	186,09	21,41	78,59	264,68	171,63	93,05	0,54	3,37
0,50	235,76	21,57	78,43	314,19	196,31	117,88	0,60	4,01
0,75	303,20	14,79	85,21	388,41	236,81	151,60	0,64	4,56
1,00	341,55	8,57	91,43	432,99	262,21	170,78	0,65	4,74
1,25	349,84	7,05	92,95	442,79	267,87	174,92	0,65	4,76
1,50	355,19	5,02	94,98	450,17	272,57	177,59	0,65	4,74
1,75	355,64	3,95	96,05	451,69	273,87	177,82	0,65	4,70
2,00	354,33	2,42	97,58	451,90	274,74	177,16	0,64	4,63
2,50	362,06	-0,37	100,37	462,43	281,40	181,03	0,64	4,61
3,00	369,54	-4,28	104,28	473,82	289,05	184,77	0,64	4,54
3,50	374,17	-8,25	108,25	482,42	295,33	187,09	0,63	4,46
4,00	381,22	-10,14	110,14	491,36	300,75	190,61	0,63	4,46
4,50	379,87	-12,60	112,60	492,48	302,54	189,94	0,63	4,37
5,00	395,03	-14,29	114,29	509,32	311,81	197,51	0,63	4,46
6,00	404,25	-15,81	115,81	520,06	317,94	202,13	0,64	4,49
7,00	419,28	-17,36	117,36	536,64	327,00	209,64	0,64	4,57
8,00	429,89	-18,81	118,81	548,69	333,75	214,94	0,64	4,62
9,00	437,76	-20,59	120,59	558,35	339,47	218,88	0,64	4,63
10,00	449,19	-23,26	123,26	572,45	347,85	224,59	0,65	4,64
11,00	466,90	-25,56	125,56	592,46	359,01	233,45	0,65	4,72
12,00	484,06	-28,62	128,62	612,68	370,65	242,03	0,65	4,76
13,00	490,12	-31,54	131,54	621,66	376,60	245,06	0,65	4,73
14,00	493,76	-33,11	133,11	626,87	379,99	246,88	0,65	4,71

Nota:

La muestra fue remoldeada al 90%MDS a pedido del cliente.

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-051-17

Nombre del Proyecto: **Depósito de Relaves N°2 de Cía Minera Lincuna S.A.**

Cliente: **SRK Consulting Perú S.A.**

N° de muestra / Prof. (m): **Desmonte de Mina**

N° Informe Lab : **AP-051-17**

Descripción / Zona: **Dique de Arranque**

N° de Proyecto: **100727-01**

Solicitado por: **Elizabeth Callupe**

Fecha: **03-abr-18**

Ubicación: **Aija – Ancash**

Clasificación SUCS: GC-GM

Estado : Remoldeada al 90%MDS = 2,150g/cm³ y %w = 4,4%

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	31,00	30,96
Diámetro (cm)	15,15	15,12
Humedad (%)	4,40	9,77
Densidad seca (gr/cc)	2,150	2,163

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,98
Presión de celda kPa	257
Contra presión kPa	207
Esf. Efect. Inicial kPa	50

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_3 kPa	s_1 kPa	\bar{p} kPa	\bar{q} kPa	\bar{q}/\bar{p}	Oblicuidad (s_1/s_3)
0,00	0,00	0,00	50,00	50,00	50,00	0,00	0,00	1,00
0,05	34,82	1,13	48,87	83,69	66,28	17,41	0,26	1,71
0,10	58,55	2,07	47,93	106,48	77,21	29,28	0,38	2,22
0,20	93,78	3,06	46,94	140,72	93,83	46,89	0,50	3,00
0,35	151,76	2,52	47,48	199,23	123,36	75,88	0,62	4,20
0,50	190,57	0,94	49,06	239,63	144,34	95,29	0,66	4,88
0,75	254,25	-3,48	53,48	307,73	180,61	127,13	0,70	5,75
1,00	285,36	-8,34	58,34	343,70	201,02	142,68	0,71	5,89
1,25	302,40	-14,40	64,40	366,80	215,60	151,20	0,70	5,70
1,50	306,19	-17,59	67,59	373,77	220,68	153,09	0,69	5,53
1,75	307,40	-20,67	70,67	378,07	224,37	153,70	0,69	5,35
2,00	305,23	-22,10	72,10	377,33	224,72	152,62	0,68	5,23
2,50	309,77	-25,43	75,43	385,20	230,32	154,89	0,67	5,11
3,00	318,07	-28,46	78,46	396,53	237,50	159,04	0,67	5,05
3,50	319,21	-30,42	80,42	399,63	240,02	159,61	0,66	4,97
4,00	326,99	-32,57	82,57	409,56	246,07	163,50	0,66	4,96
4,50	331,30	-33,00	83,00	414,30	248,65	165,65	0,67	4,99
5,00	341,41	-35,64	85,64	427,05	256,34	170,70	0,67	4,99
6,00	349,36	-36,93	86,93	436,29	261,61	174,68	0,67	5,02
7,00	362,36	-40,34	90,34	452,70	271,52	181,18	0,67	5,01
8,00	371,51	-41,54	91,54	463,05	277,30	185,75	0,67	5,06
9,00	378,29	-41,06	91,06	469,36	280,21	189,15	0,68	5,15
10,00	389,42	-43,07	93,07	482,49	287,78	194,71	0,68	5,18
11,00	400,22	-44,96	94,96	495,18	295,07	200,11	0,68	5,21
12,00	417,10	-48,35	98,35	515,45	306,90	208,55	0,68	5,24
13,00	423,75	-50,00	100,00	523,75	311,87	211,88	0,68	5,24
14,00	426,60	-52,07	102,07	528,67	315,37	213,30	0,68	5,18

Nota:

La muestra fue remoldeada al 90%MDS a pedido del cliente.

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-051-17

Nombre del Proyecto: **Depósito de Relaves N°2 de Cía Minera Lincuna S.A.**

Ciente: **SRK Consulting Perú S.A.**

N° de muestra / Prof. (m): **Desmante de Mina**

N° Informe Lab : **AP-051-17**

Descripción / Zona: **Dique de Arranque**

N° de Proyecto: **100727-01**

Solicitado por: **Elizabeth Callupe**

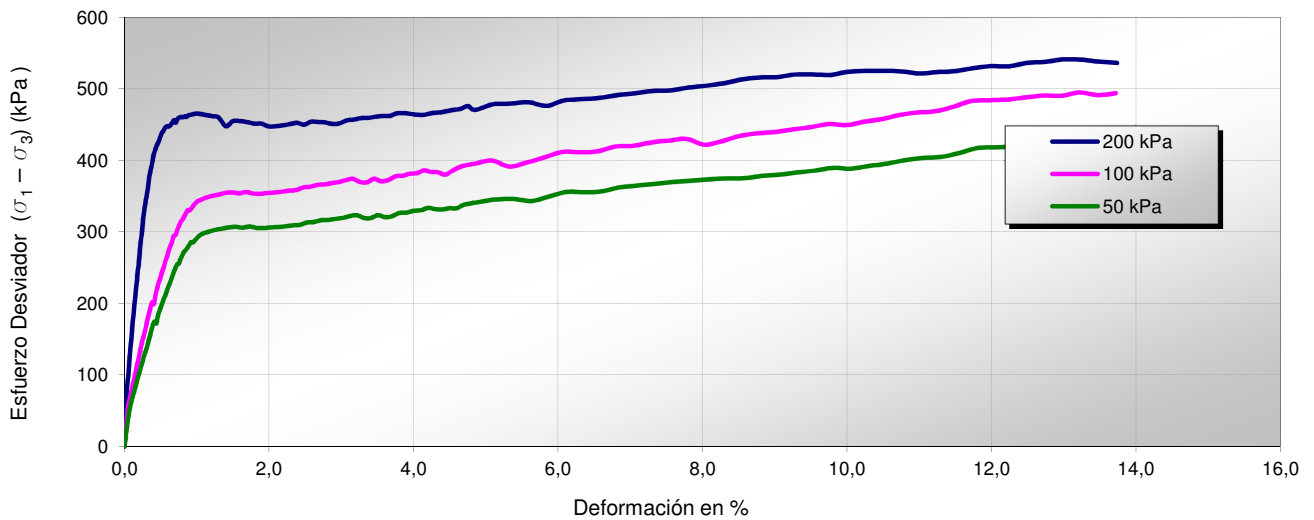
Fecha: **03-abr-18**

Ubicación: **Aija – Ancash**

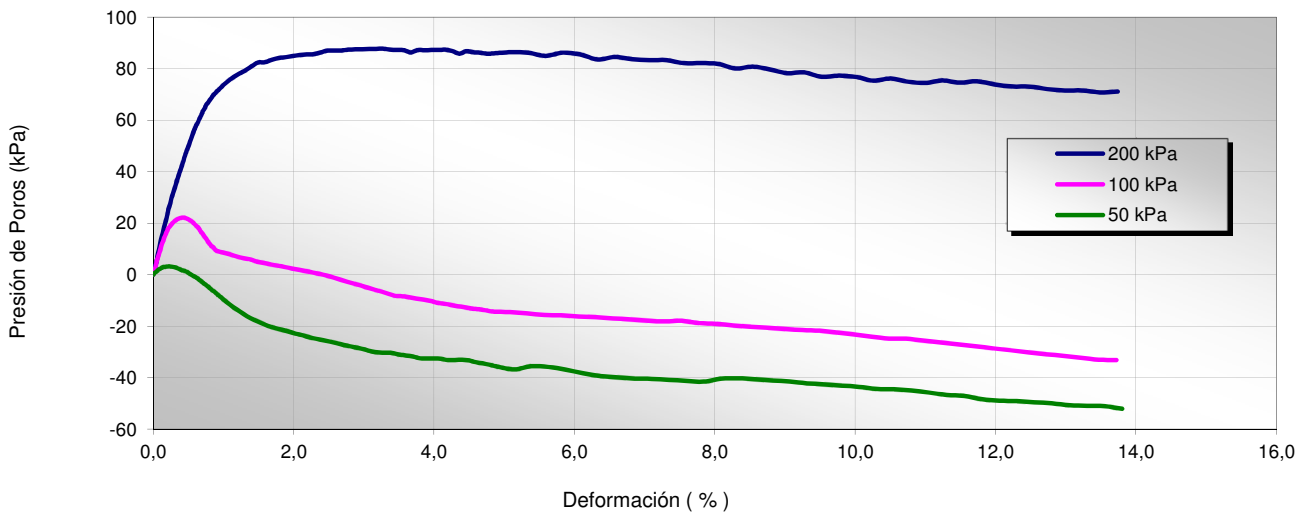
Clasificación SUCS: GC-GM

Estado : Remoldeada al 90%MDS = 2,150g/cm³ y %w = 4,4%

ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN



PRESIÓN DE POROS vs. DEFORMACIÓN



Nota:

La muestra fue remoldeada al 90%MDS a pedido del cliente.

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:
CGC

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
JSG

N° Informe Lab :
AP-051-17

Nombre del Proyecto: **Depósito de Relaves N°2 de Cía Minera Lincuna S.A.**

Cliente: **SRK Consulting Perú S.A.**

N° de muestra / Prof. (m): **Desmante de Mina**

N° Informe Lab : **AP-051-17**

Descripción / Zona: **Dique de Arranque**

N° de Proyecto: **100727-01**

Solicitado por: **Elizabeth Callupe**

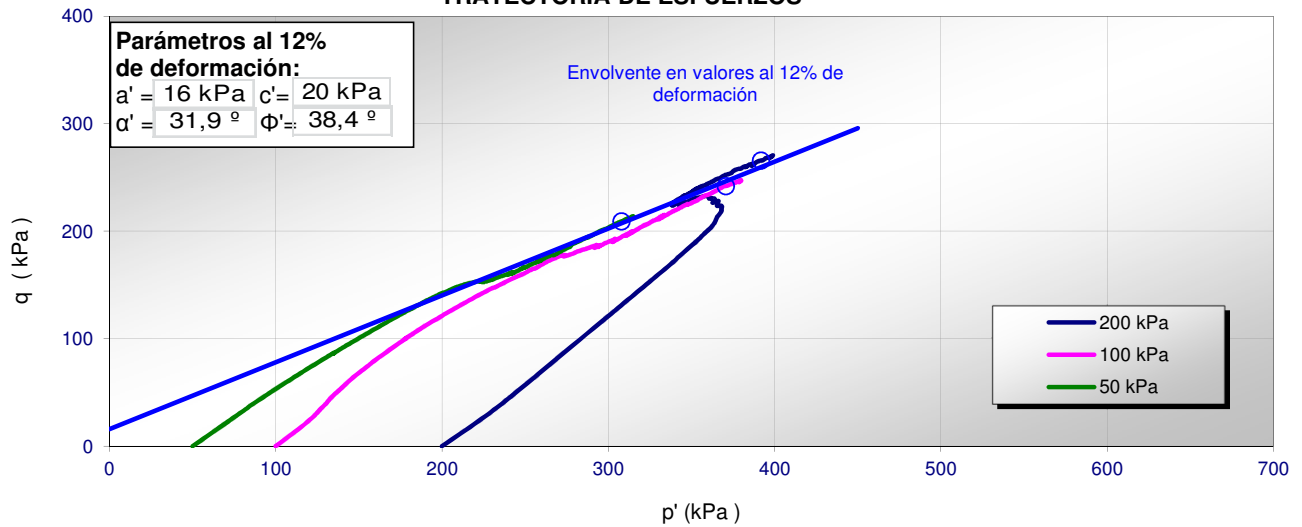
Fecha: **03-abr-18**

Ubicación: **Aija – Ancash**

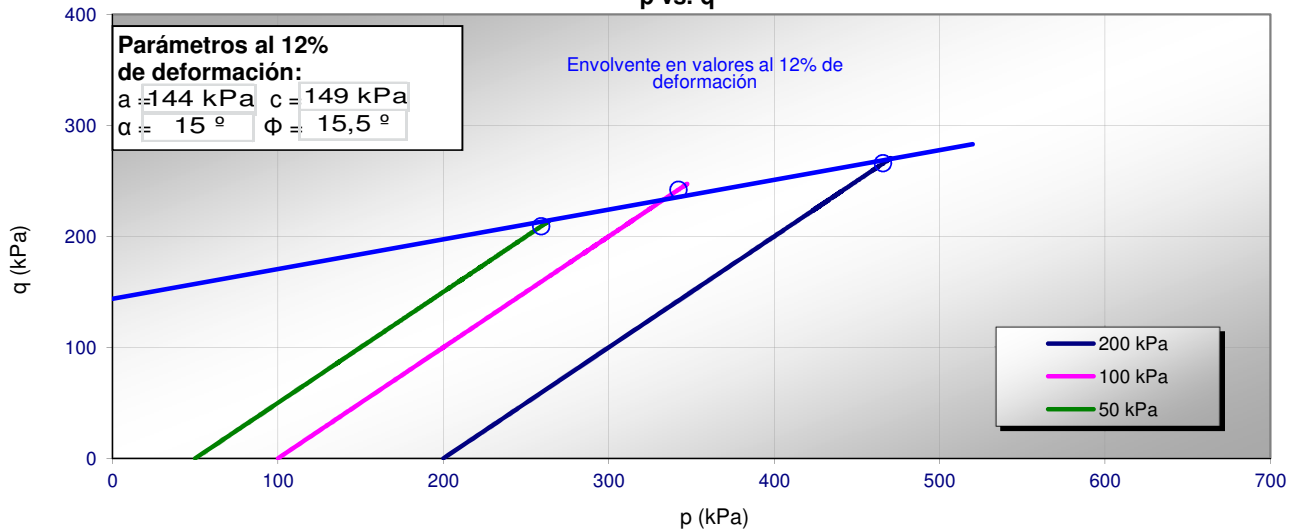
Clasificación SUCS: GC-GM

Estado : Remoldeada al 90%MDS = 2,150g/cm³ y %w = 4,4%

TRAYECTORIA DE ESFUERZOS



p vs. q



Nota:

La muestra fue remoldeada al 90%MDS a pedido del cliente.

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo
 Ligero
 Medio
 Alto
 Elevado

Realizado por:
CGC

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
JSG

N° Informe Lab :
AP-051-17

Nombre del Proyecto: **Depósito de Relaves N°2 de Cía Minera Lincuna S.A.**

Cliente: **SRK Consulting Perú S.A.**

N° de muestra / Prof. (m): **Desmonte de Mina**

N° Informe Lab : **AP-051-17**

Descripción / Zona: **Dique de Arranque**

N° de Proyecto: **100727-01**

Solicitado por: **Elizabeth Callupe**

Fecha: **03-abr-18**

Ubicación: **Aija – Ancash**

Clasificación SUCS: GC-GM

Estado : Remoldeada al 90%MDS = 2,150g/cm³ y %w = 4,4%

PANEL FOTOGRAFICO



Nota:

La muestra fue remoldeada al 90%MDS a pedido del cliente.

Observaciones:

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

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Grado de compactación:

Bajo

Ligero

Medio

Alto

Elevado

Realizado por:

CGC

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-051-17

**ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS**

(ASTM - D2216; D6913; D4318; D4943; D2487; D-3282)

Informe : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

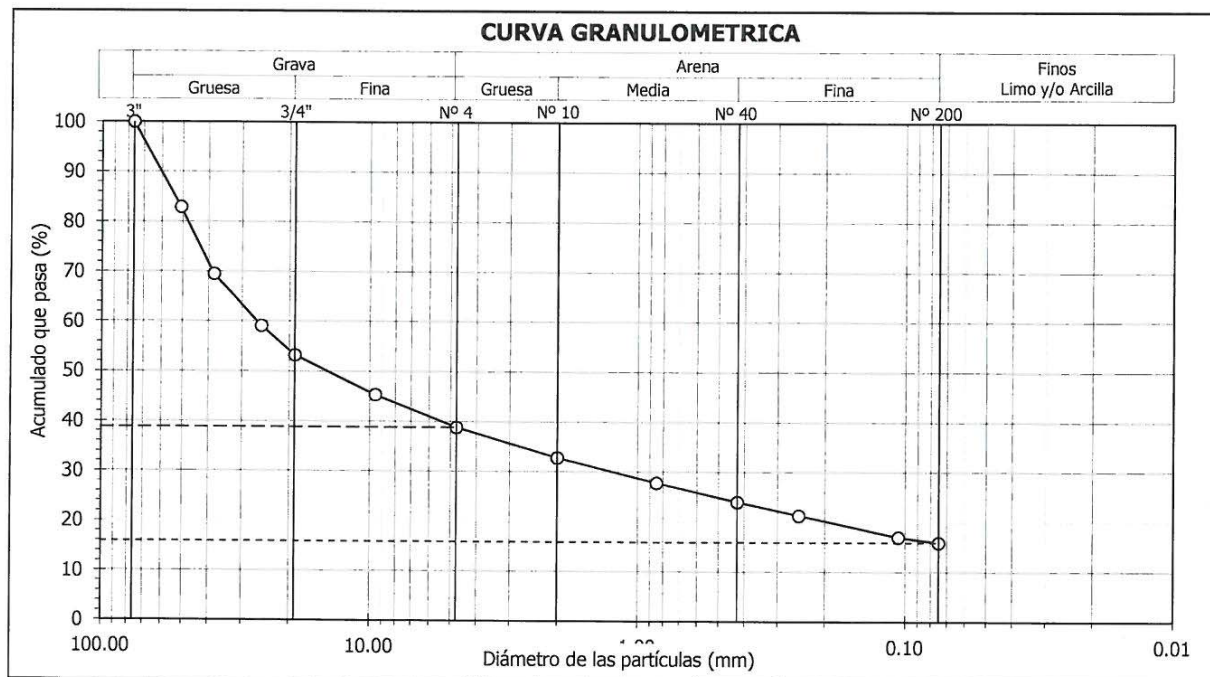
Sondaje : C - 7
 Muestra : ---
 Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado - D6913		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	82.9
1½"	38.100	69.5
1"	25.400	59.1
¾"	19.050	53.2
3/8"	9.525	45.3
N° 4	4.750	38.8
N° 10	2.000	32.8
N° 20	0.850	27.8
N° 40	0.425	24.0
N° 60	0.250	21.3
N° 140	0.106	17.0
N° 200	0.075	15.9

Contenido de humedad - D2216		
	(%)	2.6
Límites de consistencia D4318	Límite Líquido	(%) 29
	Límite Plástico	(%) 17
	Índice de Plasticidad	(%) 12
	Límite de Contracción - D4943	(%) ---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [N° 4 < ϕ < 3"]	(%) 61.2
	Arena [N° 200 < ϕ < N° 4]	(%) 22.9
	Finos [ϕ < N° 200]	(%) 15.9

Clasificación - D3282 / D2487
 AASHTO SUCS

A-2-6 (0) GC Grava arcillosa con arena

Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Luna Durán
 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D2216; D6913; D4318; D4943; D2487; D-3282)

Informe : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

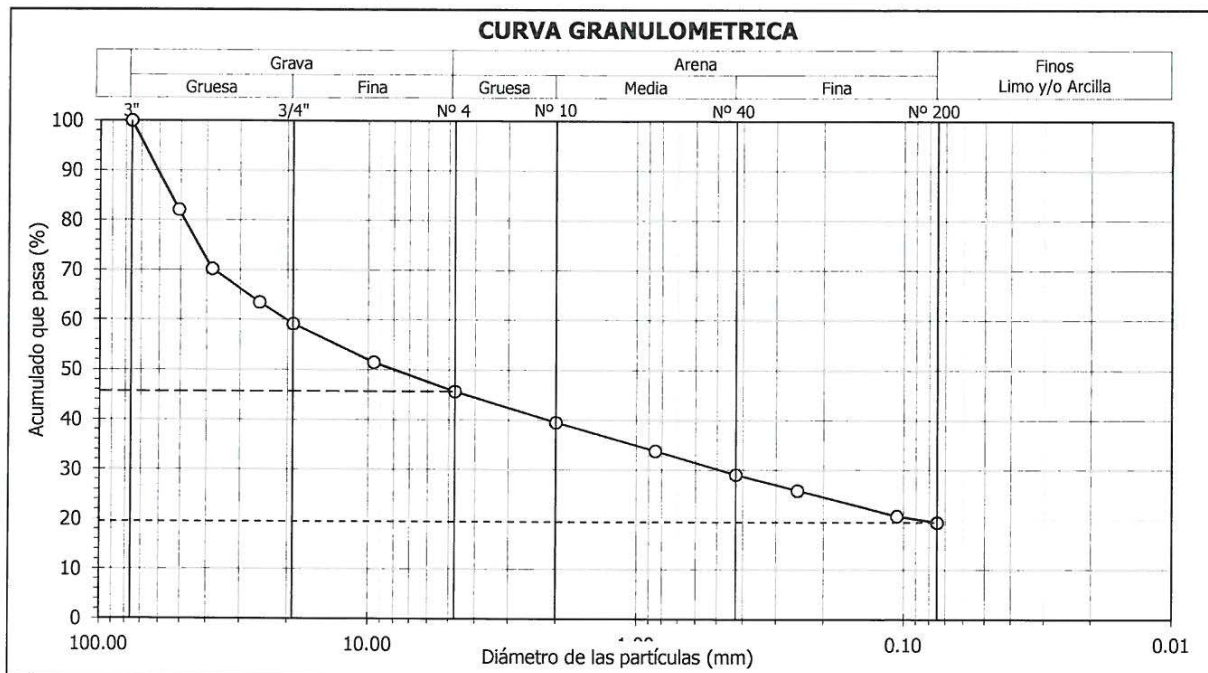
Sondaje : C - 11
 Muestra : ---
 Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado - D6913		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	82.1
1½"	38.100	70.2
1"	25.400	63.5
¾"	19.050	59.2
3/8"	9.525	51.5
N° 4	4.750	45.7
N° 10	2.000	39.5
N° 20	0.850	33.8
N° 40	0.425	29.1
N° 60	0.250	25.9
N° 140	0.106	20.8
N° 200	0.075	19.5

Contenido de humedad - D2216 (%)		
		4.2
Límites de consistencia D4318	Límite Líquido (%)	21
	Límite Plástico (%)	12
	Índice de Plasticidad (%)	9
Resultados de granulometría por tamizado	Límite de Contracción - D4943 (%)	---
	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [N° 4 < φ < 3"] (%)	54.3
	Arena [N° 200 < φ < N° 4] (%)	26.2
	Finos [φ < N° 200] (%)	19.5

Clasificación - D3282 / D2487	
AASHTO	SUCS
A-2-4 (0)	GC Grava arcillosa con arena



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Luna Durán
 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
 (ASTM - D1557 "C")

Informe : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

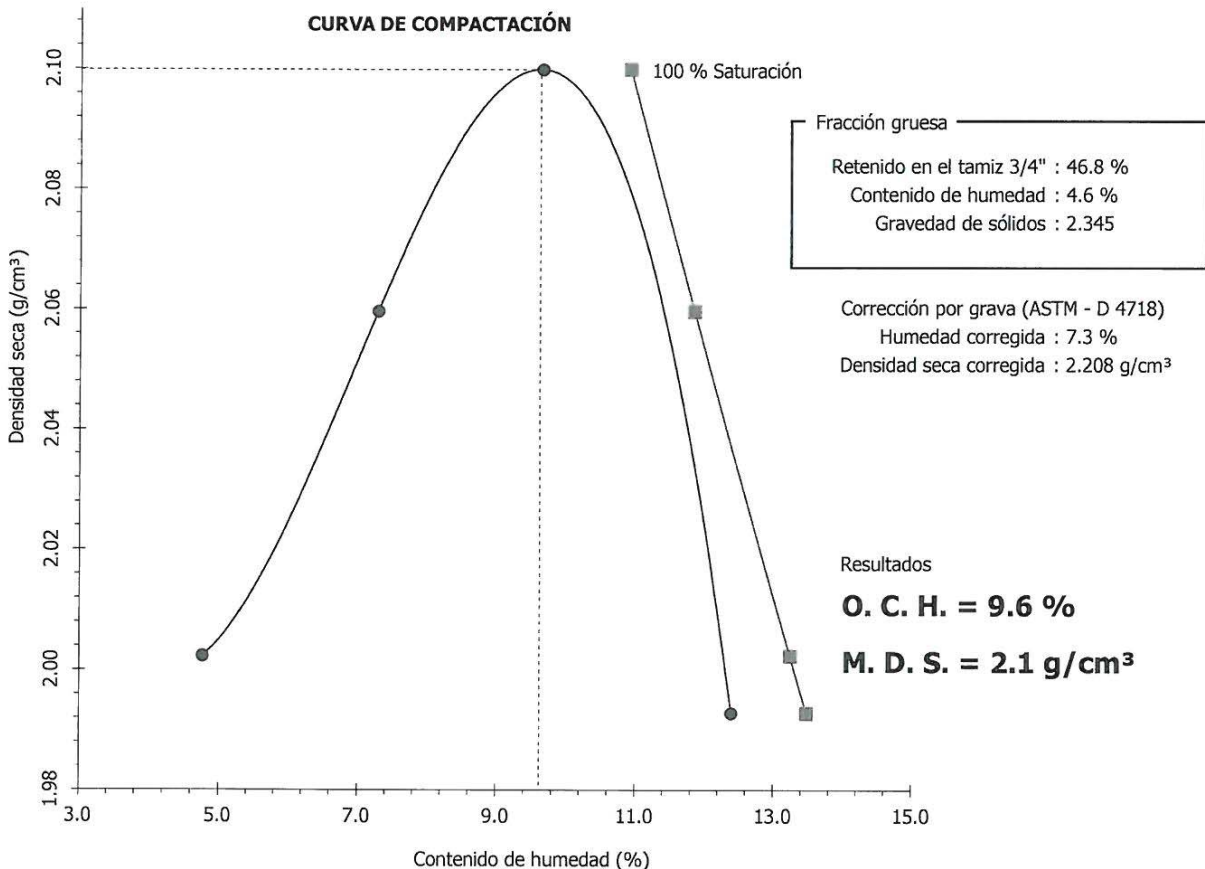
Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 7
 Muestra : ---
 Prof. (m) : ---

Hoja : 1 de 1
 AASHTO : A-2-6 (0)
 SUCS : GC / Grava arcillosa con arena

Fración fina

- Material que pasa el Tamiz 3/4"		Acumulado que pasa : 53.2 %		
- Martillo manual		Gravedad de sólidos : 2.725		
Humedad (%) :	4.8	7.3	9.7	12.4
Densidad seca (g/cm ³) :	2.002	2.060	2.100	1.993
Humedad al 100% de Sat. (%) :	13.2	11.9	10.9	13.5



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

David Luna Durán
 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

(ASTM - D1557 "C")

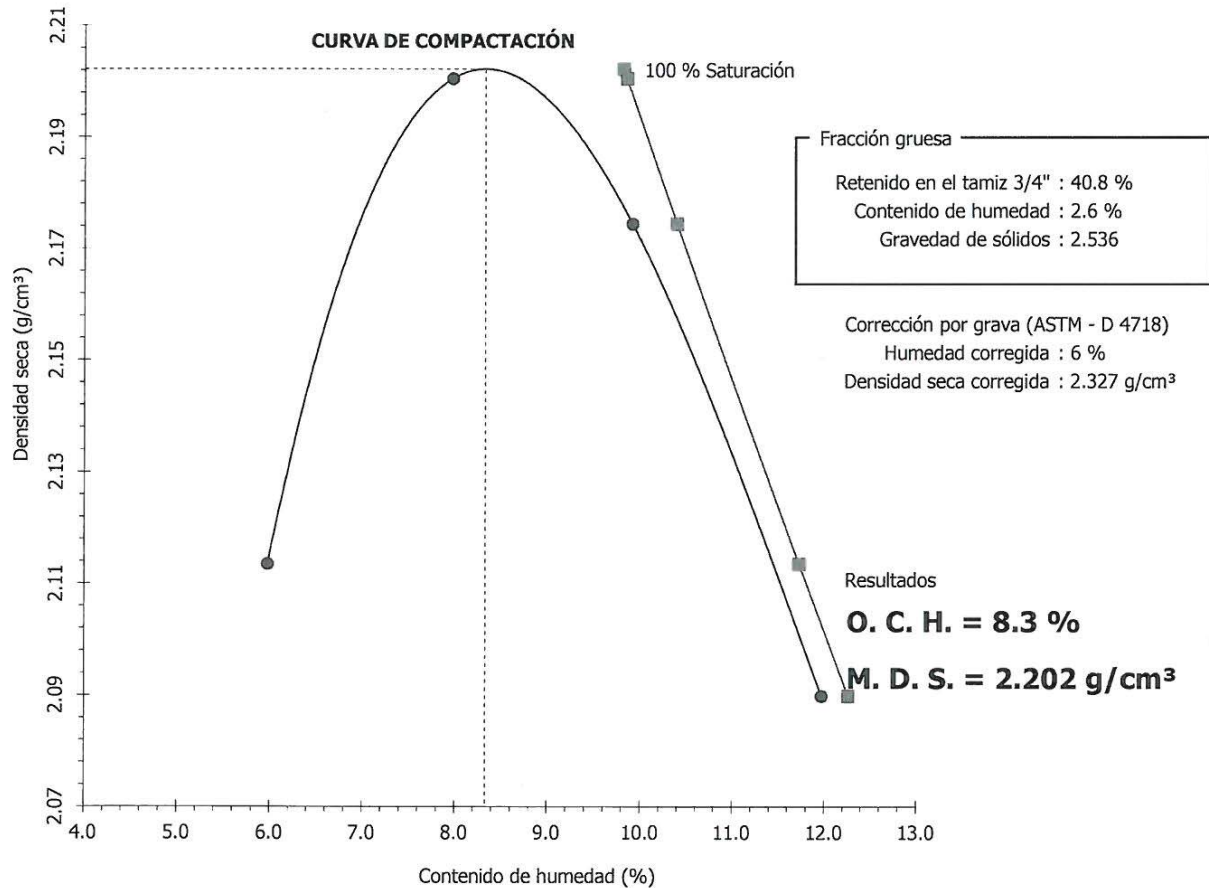
Informe : LG18-026
Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves Nº 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 11
Muestra : ---
Prof. (m) : ---
Hoja : 1 de 1
AASHTO : A-2-4 (0)
SUCS : GC / Grava arcillosa con arena

Table with 4 columns: Humedad (%), Densidad seca (g/cm³), Humedad al 100% de Sat. (%), and values for different moisture levels. Includes notes on material passing sieve and manual compaction.



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 - Perú
Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
(+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: http://www.cismid-uni.org

Signature of David Luna Durán
DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 7 Hoja : 1 de 5
 Muestra : --- AASHTO : A-2-6 (0)
 Profundidad (m) : --- SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
 Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 1 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 2 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 1 kg/cm²
 Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 95 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	9.95	9.86	---
Altura (cm)	20.32	20.28	17.88
Humedad (%)	9.6	---	12.2
Densidad seca (g/cm ³)	1.99	2.04	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.27	0.01	0.99	1.26	1.13	0.14	0.12	1.28
0.10	0.46	0.03	0.97	1.43	1.20	0.23	0.19	1.48
0.20	0.75	0.04	0.96	1.71	1.34	0.38	0.28	1.78
0.34	1.25	0.06	0.94	2.19	1.56	0.62	0.40	2.33
0.49	1.83	0.08	0.92	2.75	1.83	0.91	0.50	2.99
0.74	2.67	0.10	0.90	3.57	2.23	1.33	0.60	3.96
0.98	2.62	0.12	0.88	3.50	2.19	1.31	0.60	3.98
1.23	2.57	0.14	0.86	3.43	2.14	1.28	0.60	3.98
1.48	2.49	0.15	0.85	3.34	2.09	1.24	0.59	3.93
1.72	2.46	0.16	0.84	3.30	2.07	1.23	0.59	3.93
1.97	2.45	0.17	0.83	3.28	2.06	1.23	0.60	3.96
2.46	2.41	0.18	0.82	3.23	2.02	1.20	0.59	3.93
2.95	2.38	0.20	0.80	3.18	1.99	1.19	0.60	3.97
3.44	2.37	0.22	0.78	3.15	1.97	1.19	0.60	4.04
3.94	2.37	0.23	0.77	3.14	1.95	1.18	0.61	4.07
4.43	2.37	0.25	0.75	3.12	1.94	1.19	0.61	4.16
4.92	2.36	0.26	0.74	3.10	1.92	1.18	0.61	4.19
5.91	2.34	0.27	0.73	3.07	1.90	1.17	0.62	4.21
6.89	2.34	0.28	0.72	3.06	1.89	1.17	0.62	4.24
7.87	2.32	0.29	0.71	3.03	1.87	1.16	0.62	4.27
8.86	2.30	0.30	0.70	3.00	1.85	1.15	0.62	4.29
9.84	2.28	0.30	0.70	2.98	1.84	1.14	0.62	4.25
10.83	2.26	0.30	0.71	2.96	1.83	1.13	0.62	4.20
11.81	2.22	0.30	0.71	2.93	1.82	1.11	0.61	4.16

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", humedad = 9.6%, densidad seca = 1.99g/cm³, remoldeado al 95% de la MDS, obtenida del ensayo Proctor Modificado (OCH = 9.6%; MDS = 2.10g/cm³). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>


 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 7 Hoja : 2 de 5
 Muestra : --- AASHTO : A-2-6 (0)
 Profundidad (m) : --- SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
 Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 2 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 3 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 2 kg/cm²
 Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 96 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	9.95	9.79	---
Altura (cm)	20.32	20.27	17.87
Humedad (%)	9.6	---	13.2
Densidad seca (g/cm ³)	1.99	2.06	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Dev. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.22	0.00	2.00	2.22	2.11	0.11	0.05	1.11
0.10	0.30	0.00	2.00	2.29	2.14	0.15	0.07	1.15
0.20	1.06	0.03	1.97	3.03	2.50	0.53	0.21	1.54
0.34	1.87	0.08	1.92	3.79	2.86	0.94	0.33	1.97
0.49	2.83	0.13	1.87	4.70	3.29	1.42	0.43	2.51
0.74	3.97	0.18	1.82	5.78	3.80	1.98	0.52	3.18
0.98	4.29	0.22	1.78	6.08	3.93	2.15	0.55	3.41
1.23	4.38	0.25	1.75	6.13	3.94	2.19	0.56	3.51
1.48	4.44	0.29	1.71	6.15	3.93	2.22	0.56	3.60
1.72	4.45	0.32	1.68	6.13	3.90	2.22	0.57	3.65
1.97	4.45	0.34	1.66	6.10	3.88	2.22	0.57	3.69
2.46	4.43	0.39	1.62	6.04	3.83	2.21	0.58	3.74
2.95	4.38	0.41	1.59	5.97	3.78	2.19	0.58	3.76
3.44	4.35	0.43	1.57	5.92	3.74	2.18	0.58	3.78
3.94	4.35	0.45	1.55	5.90	3.72	2.17	0.58	3.81
4.43	4.33	0.47	1.53	5.86	3.70	2.16	0.59	3.83
4.92	4.31	0.48	1.52	5.83	3.67	2.16	0.59	3.84
5.91	4.27	0.50	1.50	5.77	3.64	2.13	0.59	3.84
6.89	4.23	0.51	1.49	5.72	3.60	2.11	0.59	3.84
7.87	4.19	0.52	1.48	5.67	3.58	2.10	0.59	3.83
8.86	4.16	0.52	1.48	5.63	3.56	2.08	0.58	3.81
9.84	4.12	0.53	1.47	5.59	3.53	2.06	0.58	3.80
10.83	4.08	0.53	1.47	5.55	3.51	2.04	0.58	3.78
11.81	4.03	0.54	1.46	5.49	3.48	2.01	0.58	3.75

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", humedad = 9.6%, densidad seca = 1.99g/cm³, remoldeado al 95% de la MDS, obtenida del ensayo Proctor Modificado (OCH = 9.6%; MDS = 2.10g/cm³). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>

DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 7 Hoja : 3 de 5
 Muestra : --- AASHTO : A-2-6 (0)
 Profundidad (m) : --- SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
 Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 4 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 5 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 4 kg/cm²
 Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 96 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	9.95	9.77	---
Altura (cm)	20.32	20.26	17.87
Humedad (%)	9.6	---	12.6
Densidad seca (g/cm ³)	1.99	2.07	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.32	0.00	4.00	4.32	4.16	0.16	0.04	1.08
0.10	0.41	0.01	3.99	4.40	4.20	0.20	0.05	1.10
0.20	0.95	0.02	3.98	4.92	4.45	0.47	0.11	1.24
0.34	3.29	0.11	3.89	7.18	5.54	1.64	0.30	1.84
0.49	5.42	0.21	3.79	9.21	6.50	2.71	0.42	2.43
0.74	7.62	0.33	3.67	11.29	7.48	3.81	0.51	3.07
0.98	8.20	0.43	3.57	11.77	7.67	4.10	0.53	3.30
1.23	8.22	0.55	3.45	11.67	7.56	4.11	0.54	3.38
1.48	8.21	0.62	3.38	11.59	7.49	4.10	0.55	3.43
1.72	8.21	0.68	3.32	11.52	7.42	4.10	0.55	3.47
1.97	8.19	0.72	3.28	11.47	7.38	4.10	0.56	3.50
2.46	8.15	0.76	3.24	11.39	7.32	4.08	0.56	3.51
2.95	8.11	0.84	3.16	11.27	7.22	4.06	0.56	3.57
3.44	8.07	0.89	3.11	11.18	7.14	4.04	0.57	3.60
3.94	8.03	0.93	3.07	11.10	7.09	4.02	0.57	3.62
4.43	8.00	0.96	3.04	11.04	7.04	4.00	0.57	3.64
4.92	7.94	0.99	3.01	10.95	6.98	3.97	0.57	3.64
5.91	7.83	1.04	2.96	10.79	6.87	3.91	0.57	3.65
6.89	7.76	1.08	2.92	10.67	6.80	3.88	0.57	3.66
7.87	7.67	1.11	2.89	10.57	6.73	3.84	0.57	3.65
8.86	7.62	1.13	2.87	10.49	6.68	3.81	0.57	3.65
9.84	7.54	1.14	2.86	10.40	6.63	3.77	0.57	3.63
10.83	7.45	1.15	2.85	10.31	6.58	3.73	0.57	3.61
11.81	7.38	1.16	2.84	10.21	6.53	3.69	0.57	3.60

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", humedad = 9.6%, densidad seca = 1.99g/cm³, remoldeado al 95% de la MDS, obtenida del ensayo Proctor Modificado (OCH = 9.6%; MDS = 2.10g/cm³). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>


 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

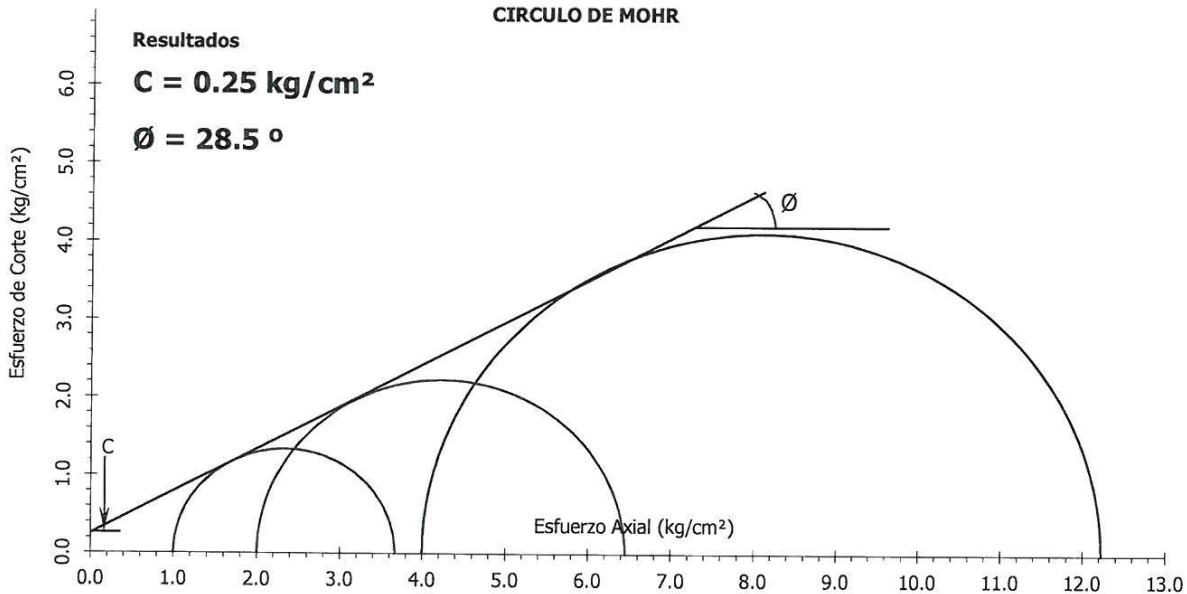
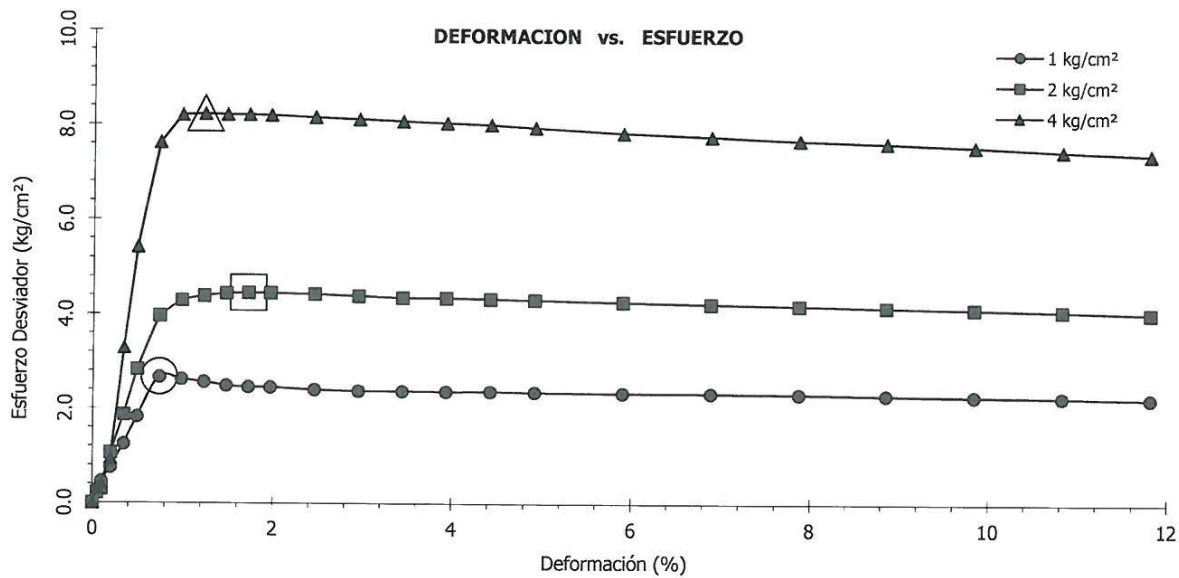
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe Nº : LG18-026
Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves Nº 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 7
Muestra : ---
Profundidad (m) : ---
Estado : Remoldeado
Hoja : 4 de 5
AASHTO : A-2-6 (0)
SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
Velocidad : 0.2 mm/min





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

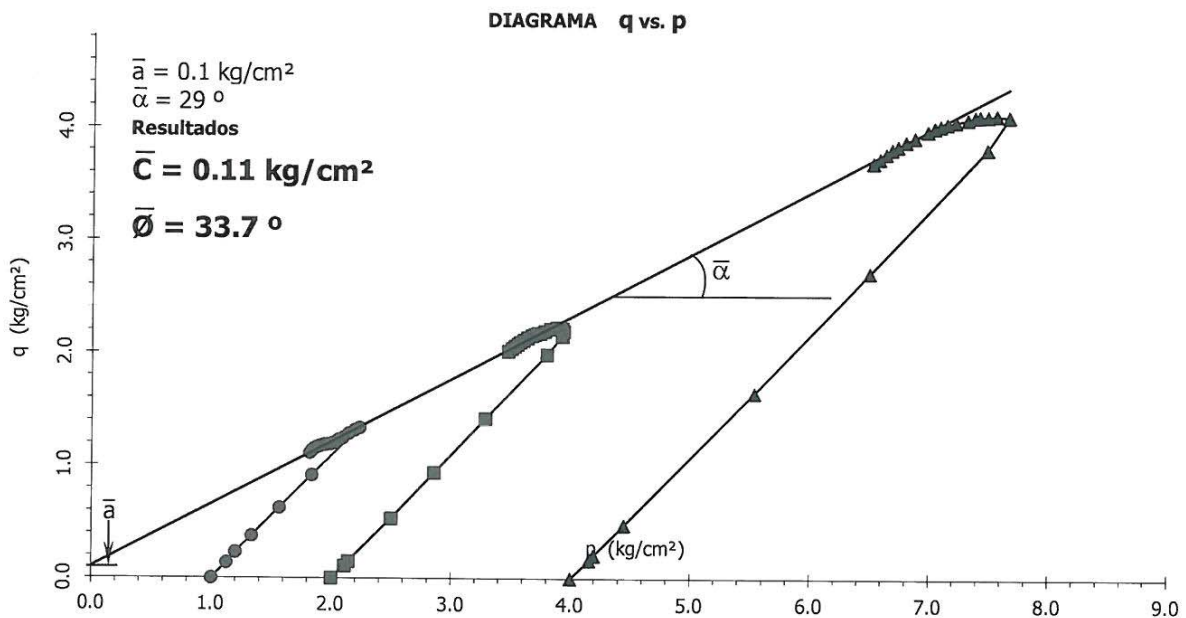
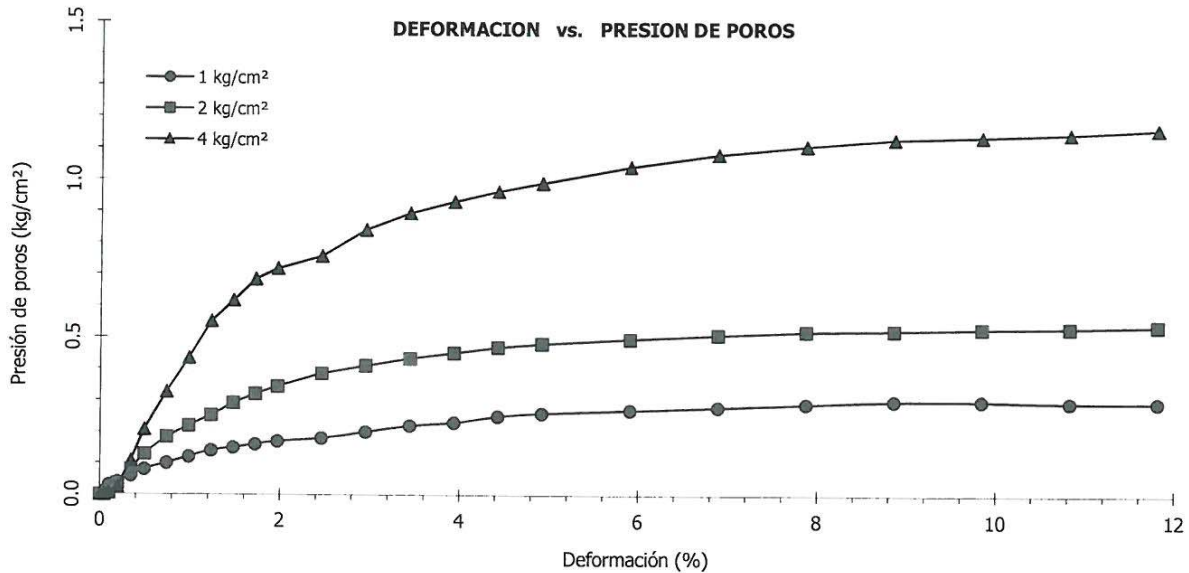
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 7
Muestra : ---
Profundidad (m) : ---
Estado : Remoldeado
Hoja : 5 de 5
AASHTO : A-2-6 (0)
SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
Velocidad : 0.2 mm/min



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.
 Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Fecha : Marzo, 2018

Sondaje : C - 11 Hoja : 1 de 5
 Muestra : --- AASHTO : A-2-4 (0)
 Profundidad (m) : --- SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
 Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 1 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 2 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 1 kg/cm²
 Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 97 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	10.00	9.96	---
Altura (cm)	20.32	20.24	17.85
Humedad (%)	8.3	---	10.5
Densidad seca (g/cm ³)	2.09	2.12	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.31	0.03	0.97	1.28	1.13	0.16	0.14	1.32
0.10	0.54	0.07	0.93	1.47	1.20	0.27	0.23	1.59
0.20	1.01	0.11	0.89	1.90	1.40	0.51	0.36	2.14
0.34	1.59	0.14	0.86	2.45	1.66	0.80	0.48	2.85
0.49	1.78	0.18	0.82	2.60	1.71	0.89	0.52	3.17
0.74	1.86	0.24	0.76	2.62	1.69	0.93	0.55	3.44
0.98	1.85	0.28	0.72	2.57	1.65	0.93	0.56	3.57
1.23	1.83	0.32	0.68	2.51	1.60	0.92	0.57	3.70
1.48	1.82	0.35	0.65	2.47	1.56	0.91	0.58	3.80
1.72	1.80	0.36	0.64	2.44	1.54	0.90	0.58	3.81
1.97	1.78	0.39	0.61	2.39	1.50	0.89	0.59	3.92
2.46	1.76	0.39	0.61	2.37	1.49	0.88	0.59	3.89
2.95	1.73	0.39	0.61	2.34	1.47	0.86	0.59	3.83
3.44	1.72	0.39	0.61	2.33	1.47	0.86	0.58	3.82
3.94	1.71	0.39	0.61	2.32	1.46	0.85	0.58	3.80
4.43	1.71	0.38	0.62	2.33	1.48	0.86	0.58	3.76
4.92	1.70	0.37	0.63	2.33	1.48	0.85	0.57	3.70
5.91	1.72	0.37	0.63	2.35	1.49	0.86	0.58	3.73
6.89	1.73	0.35	0.65	2.38	1.51	0.86	0.57	3.66
7.87	1.75	0.34	0.66	2.41	1.53	0.87	0.57	3.65
8.86	1.78	0.33	0.67	2.45	1.56	0.89	0.57	3.65
9.84	1.79	0.31	0.69	2.48	1.59	0.90	0.56	3.60
10.83	1.80	0.31	0.69	2.49	1.59	0.90	0.57	3.60
11.81	1.80	0.31	0.69	2.49	1.59	0.90	0.57	3.61

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", humedad = 8.3%, densidad seca = 2.09g/cm³, remoldeado al 95% de la MDS, obtenida del ensayo Proctor Modificado (OCH = 8.3%; MDS = 2.20g/cm³). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>


 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
 Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
 Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.
 Ubicación : Ajija - Ajija - Ancash

Fecha : Marzo, 2018

Sondaje : C - 11 Hoja : 2 de 5
 Muestra : --- AASHTO : A-2-4 (0)
 Profundidad (m) : --- SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
 Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 2 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 3 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 2 kg/cm²
 Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 95 %

Etapas	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	10.00	9.94	---
Altura (cm)	20.32	20.22	17.83
Humedad (%)	8.3	---	9.8
Densidad seca (g/cm ³)	2.09	2.13	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.49	0.03	1.97	2.46	2.21	0.24	0.11	1.25
0.10	0.82	0.06	1.94	2.76	2.35	0.41	0.18	1.42
0.20	1.55	0.11	1.89	3.44	2.67	0.78	0.29	1.82
0.34	2.46	0.17	1.83	4.29	3.06	1.23	0.40	2.35
0.49	3.04	0.23	1.77	4.81	3.29	1.52	0.46	2.72
0.74	3.31	0.35	1.65	4.96	3.30	1.65	0.50	3.01
0.98	3.40	0.44	1.56	4.96	3.26	1.70	0.52	3.18
1.23	3.43	0.53	1.47	4.90	3.19	1.72	0.54	3.34
1.48	3.45	0.59	1.41	4.86	3.13	1.72	0.55	3.45
1.72	3.44	0.63	1.37	4.81	3.09	1.72	0.56	3.51
1.97	3.41	0.67	1.33	4.74	3.03	1.70	0.56	3.56
2.46	3.36	0.73	1.27	4.63	2.95	1.68	0.57	3.64
2.95	3.30	0.77	1.23	4.53	2.88	1.65	0.57	3.69
3.44	3.25	0.80	1.20	4.45	2.83	1.63	0.58	3.71
3.94	3.19	0.81	1.19	4.38	2.79	1.60	0.57	3.68
4.43	3.15	0.84	1.16	4.31	2.74	1.58	0.58	3.72
4.92	3.12	0.86	1.14	4.26	2.70	1.56	0.58	3.74
5.91	3.10	0.89	1.11	4.21	2.66	1.55	0.58	3.80
6.89	3.08	0.90	1.10	4.18	2.64	1.54	0.58	3.80
7.87	3.08	0.91	1.09	4.17	2.63	1.54	0.59	3.83
8.86	3.08	0.91	1.09	4.17	2.63	1.54	0.59	3.83
9.84	3.07	0.91	1.09	4.16	2.63	1.54	0.58	3.82
10.83	3.05	0.91	1.09	4.14	2.61	1.52	0.58	3.80
11.81	3.02	0.90	1.10	4.12	2.61	1.51	0.58	3.75

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", humedad = 8.3%, densidad seca = 2.09g/cm³, remoldeado al 95% de la MDS, obtenida del ensayo Proctor Modificado (OCH = 8.3%; MDS = 2.20g/cm³). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
 Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
 (+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
 Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>


 DAVID LUNA DURÁN
 INGENIERO CIVIL - CIP 43988
 JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL**

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 11 Hoja : 3 de 5
Muestra : --- AASHTO : A-2-4 (0)
Profundidad (m) : --- SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 4 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 5 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 4 kg/cm²
Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 96 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especimen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	10.00	9.83	---
Altura (cm)	20.32	20.21	17.82
Humedad (%)	8.3	---	10.1
Densidad seca (g/cm ³)	2.09	2.17	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Dev. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.91	0.05	3.95	4.86	4.40	0.45	0.10	1.23
0.10	1.51	0.11	3.89	5.40	4.64	0.75	0.16	1.39
0.20	2.59	0.24	3.76	6.35	5.06	1.30	0.26	1.69
0.34	3.43	0.38	3.62	7.05	5.33	1.71	0.32	1.95
0.49	4.08	0.60	3.40	7.48	5.44	2.04	0.38	2.20
0.74	4.63	0.85	3.15	7.78	5.46	2.31	0.42	2.47
0.98	4.98	1.12	2.88	7.86	5.37	2.49	0.46	2.73
1.23	5.08	1.34	2.66	7.74	5.20	2.54	0.49	2.91
1.48	5.08	1.54	2.46	7.54	5.00	2.54	0.51	3.06
1.72	5.03	1.69	2.31	7.34	4.82	2.51	0.52	3.18
1.97	4.94	1.84	2.16	7.10	4.63	2.47	0.53	3.29
2.46	4.81	2.02	1.98	6.79	4.39	2.41	0.55	3.43
2.95	4.66	2.16	1.84	6.50	4.17	2.33	0.56	3.53
3.44	4.55	2.26	1.74	6.29	4.02	2.28	0.57	3.62
3.94	4.44	2.33	1.67	6.11	3.89	2.22	0.57	3.66
4.43	4.36	2.38	1.62	5.98	3.80	2.18	0.57	3.69
4.92	4.28	2.43	1.57	5.85	3.71	2.14	0.58	3.73
5.91	4.17	2.49	1.51	5.68	3.59	2.08	0.58	3.76
6.89	4.12	2.52	1.48	5.60	3.54	2.06	0.58	3.79
7.87	4.08	2.55	1.45	5.53	3.49	2.04	0.58	3.81
8.86	4.06	2.57	1.43	5.49	3.46	2.03	0.59	3.84
9.84	4.05	2.58	1.42	5.47	3.45	2.03	0.59	3.85
10.83	4.04	2.59	1.41	5.45	3.43	2.02	0.59	3.87
11.81	4.03	2.60	1.40	5.43	3.42	2.02	0.59	3.88

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Material menor de 3/4", humedad = 8.3%, densidad seca = 2.09g/cm³, remoldeado al 95% de la MDS, obtenida del ensayo Proctor Modificado (OCH = 8.3%; MDS = 2.20g/cm³). Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.

Av. Túpac Amaru 1150, Rímac, Lima 25, Código Postal 15333 – Perú
Teléfonos: (+51) 1 4820777 Anexo 401 / (+51) 1 481 1070 Anexo 421
(+51) 1 4820804 / Celular: 951694234.
Correo-e: labgeoc@uni.edu.pe / URL: <http://www.cismid-uni.org>


DAVID LUNA DURÁN
INGENIERO CIVIL - CIP 43988
JEFE DEL LAB. GEOTÉCNICO



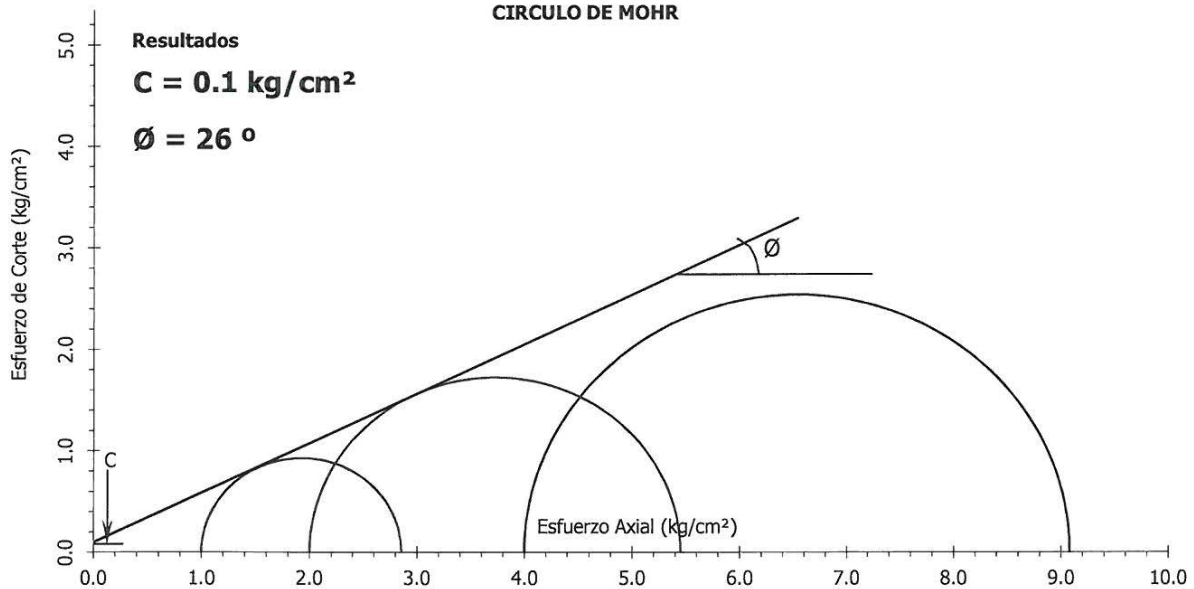
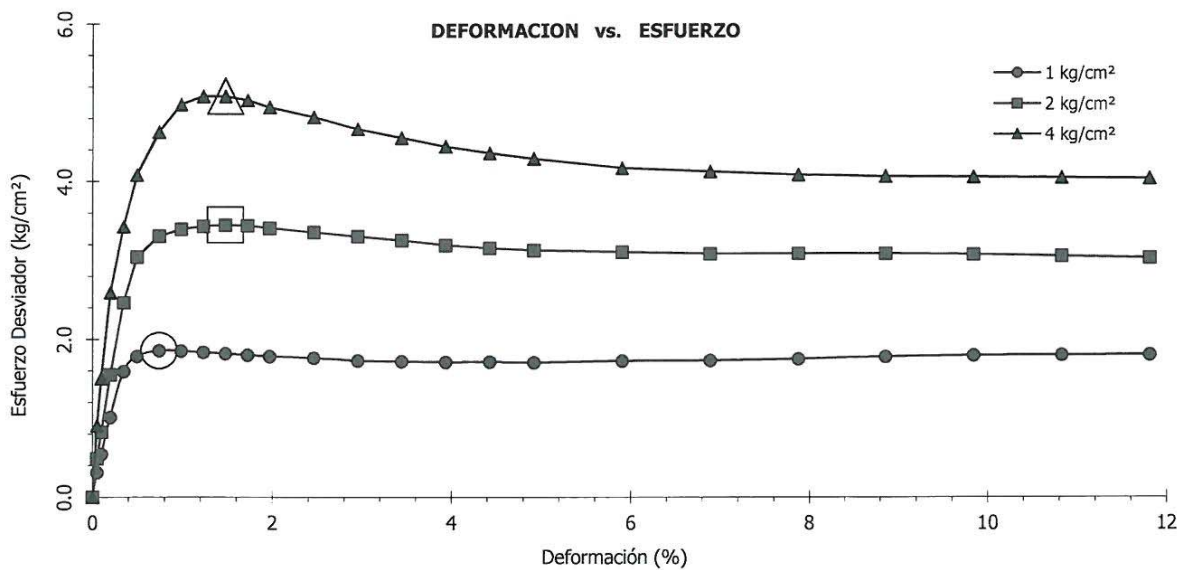
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.
Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Fecha : Marzo, 2018

Sondaje : C - 11 Hoja : 4 de 5
Muestra : --- AASHTO : A-2-4 (0)
Profundidad (m) : --- SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

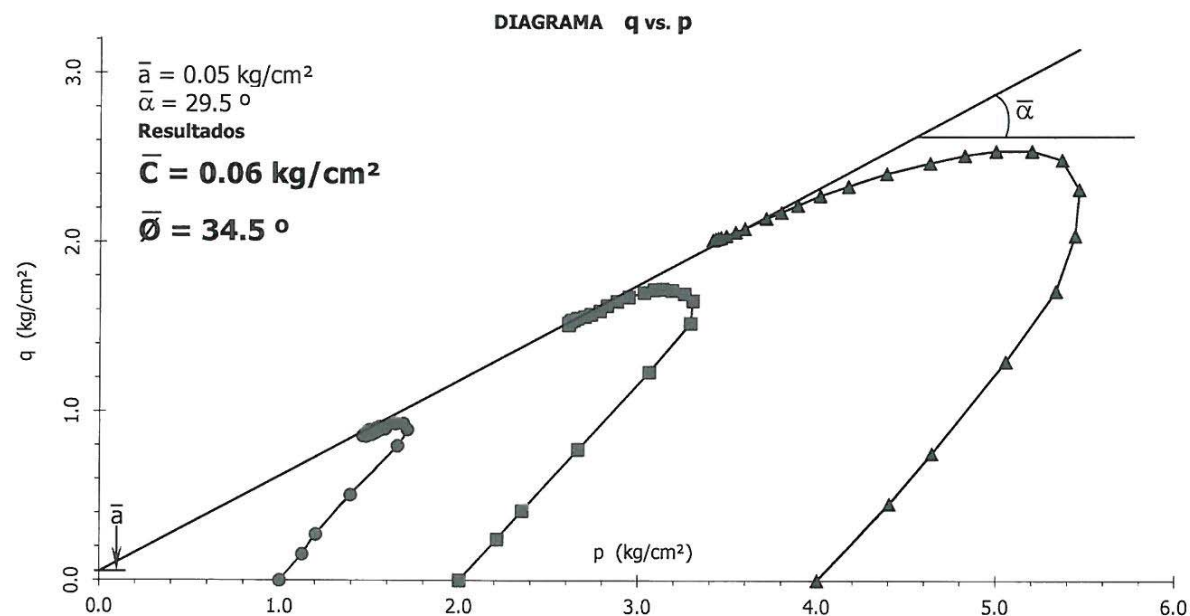
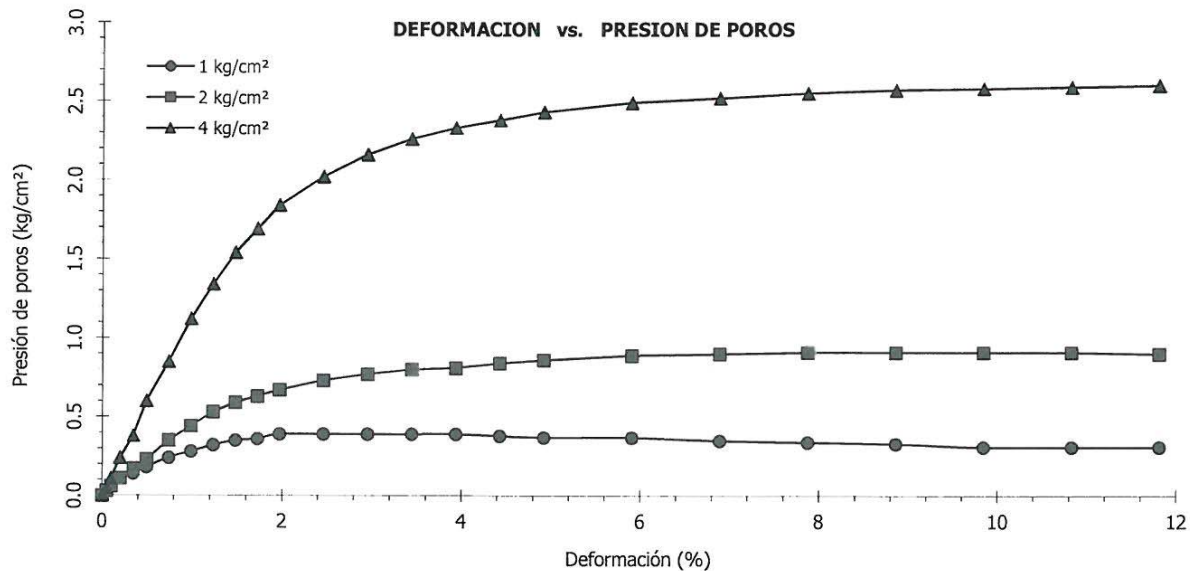
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : LG18-026
Solicitante : SRK CONSULTING (PERÚ) S. A.
Proyecto : 17R-520-01 Depósito de Relaves N° 2 de Cía. Minera Lincuna S. A.

Fecha : Marzo, 2018

Ubicación : Aija - Aija - Ancash

Sondaje : C - 11
Muestra : ---
Profundidad (m) : ---
Estado : Remoldeado
Hoja : 5 de 5
AASHTO : A-2-4 (0)
SUCS : GC // Grava arcillosa con arena
Velocidad : 0.2 mm/min



PROYECTO : Estudio de Estabilidad Física, Hidrológica y Química
 : Depósito de Relaves N° 2
UBICACIÓN : Prov. Recuay, Dpto. Ancash
CLIENTE : **COMPAÑÍA MINERA LINCUNA S.A.**
CONSULTOR : **GEOSERVICE INGENIERÍA S.A.C.**
MUESTRA : C-4 M-1 0.00m-2.25m Dique de Arranque Frontal
FECHA : MAY.2017

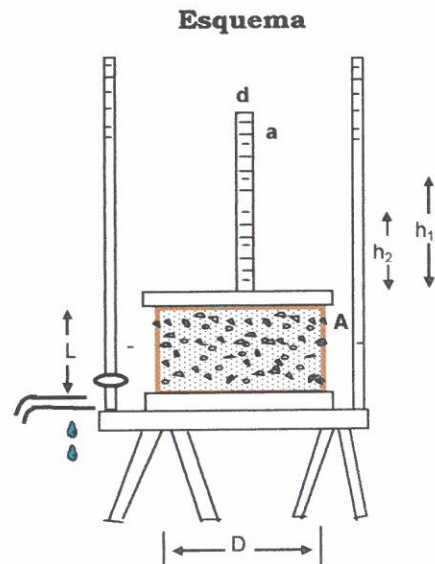
ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA VARIABLE ASTM-D-5084

L = Altura de la muestra 20.0 cm
 T = Tiempo entre las lecturas H₁ y H₂ seg
 H₁ = Altura de la columna de agua (1ª lectura) cm
 H₂ = Altura de la columna de agua (2ª lectura) cm

$$K = 2.3 \frac{a}{A} \times \frac{L}{T} \log \frac{H_1}{H_2}$$

δ_{ST} = Densidad seca total 2.036 gr/cm³
 ω = Contenido de humedad 7.98 %

Especimen remoldeado al 95% de la M.D.S. y a la w del Proctor Modificado.



Observaciones: Inicio 23.MAY.2017 Hora 08h 30min

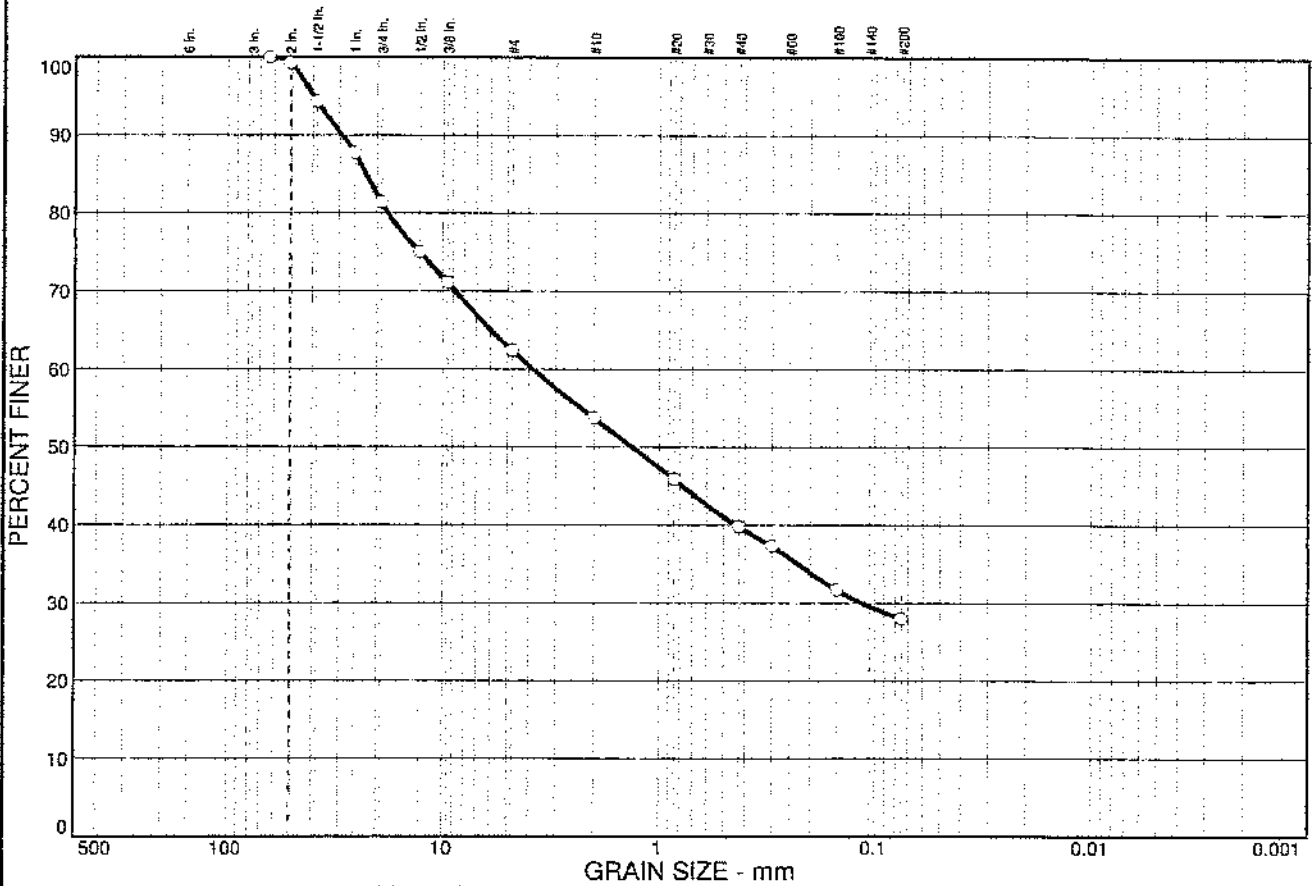
Hora	Fecha	Temperatura °C	Tiempo seg	h1 m	h2 m	a cm ²	A cm ²	K cm/seg	K _{t20} cm/seg
09h 30min	23.MAY.2017	21.1	3600	15.00	11.50	3.14	498.76	9.2827E-06	9.0395E-06
10h 30min	23.MAY.2017	22.0	3600	11.50	8.70	3.14	498.76	9.7481E-06	9.2909E-06
11h 30min	23.MAY.2017	22.4	3600	8.70	6.60	3.14	498.76	9.6513E-06	9.1137E-06
12h 30min	23.MAY.2017	23.0	3600	6.60	5.00	3.14	498.76	9.6994E-06	9.0312E-06
11h 30min	23.MAY.2017	23.9	3600	5.00	3.80	3.14	498.76	9.5878E-06	8.7422E-06

$$K_{t20} = 9.0435 \times 10^{-6} \text{ cm/seg}$$

EyP de Ingeniería S.R.L.


 César A. Vica Ghezzi
 Ingeniero Civil
 C.I.P. 6314

Particle Size Distribution Report



% COBBLES	% GRAVEL	% SAND	% SILT	% CLAY
0.0	37.6	34.4	28.0	

SIEVE SIZE	PERCENT FINER	SPEC.* PERCENT	PASS? (X=NO)
2.5 in.	100.0		
2 in.	99.2		
1.5 in.	94.3		
1 in.	87.7		
0.75 in.	81.4		
0.5 in.	75.0		
0.375 in.	71.1		
#4	62.4		
#10	53.8		
#20	45.9		
#40	39.8		
#50	37.3		
#100	31.7		
#200	28.0		

Soil Description

Clayey gravel with sand

Atterberg Limits

PL= 18 LL= 29 Pi= 11

Coefficients

D₈₅= 22.4 D₆₀= 3.80 D₅₀= 1.32
D₃₀= 0.114 D₁₅= D₁₀=
C_u= C_c=

Classification

USCS= GC AASHTO= A-2-6(0)

Remarks

* (no specification provided)

Sample No.: G434
 Location:

Source of Sample: Calicata TP-07

Date:
 Elev./Depth: 1.00-4.00

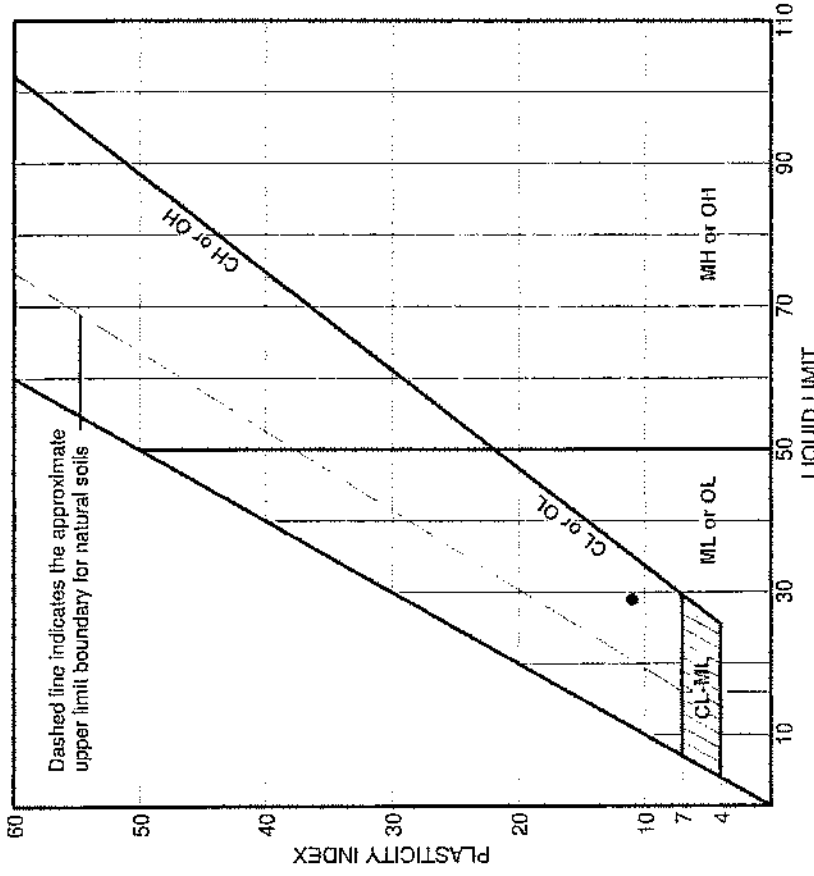
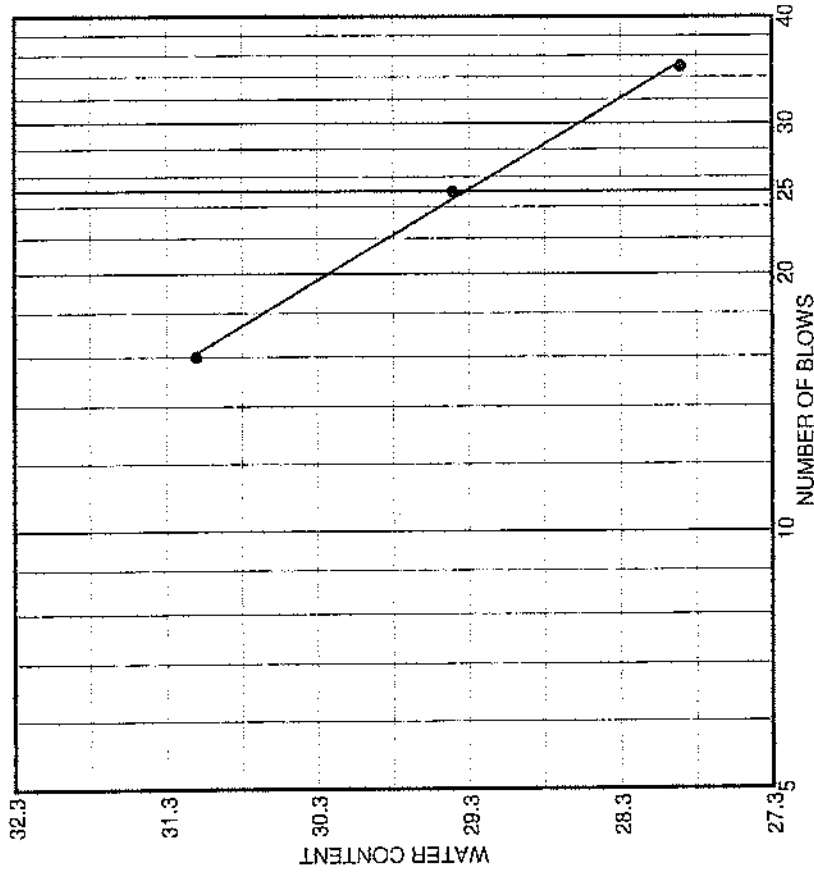
Knight Piésold

Client: Cia. Minera Lincuna S.A.
 Project: Relavera Huancapeti

Project No: LI201-00223/15

Plate

LIQUID AND PLASTIC LIMITS TEST REPORT



SOURCE	SAMPLE #	DEPTH/ELEV.	DATE SAMPLED	USCS	MATERIAL DESCRIPTION	NM %	LL	PI
Calicata TP-07	G434	1.00-4.00		GC	Clayey gravel with sand		29	11

Client: Ciu. Minera Lincuna S.A.	
Project: Relavera Huancapeti	
Project No. L1201-00223/15	Plate
<i>Knight Piésold</i>	

**CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULTS
 (ASTM D4767-95)**

Project: Relavera Huancapeti			
Project Number: LI201-00223/15 G05.04		Laboratory Number: G434	
Field Sample Reference: Calicata TP-07		Date Tested: 13-Jun-12	
Depth (m): 1.00-4.00			

USCS: GC	Clayey gravel with sand	LL: 29	PL: 18
-----------------	--------------------------------	---------------	---------------

Remarks:
 Remolded sample at 95% MDD and OMC, obtained to modified proctor.
 Material used < 3/4". According to the requested by the client.

SATURATION DATA

Saturation method:	Wet	Pore Pressure parameter B:	0.98
Final backpressure (kpa):	545		

CONSOLIDATION DATA

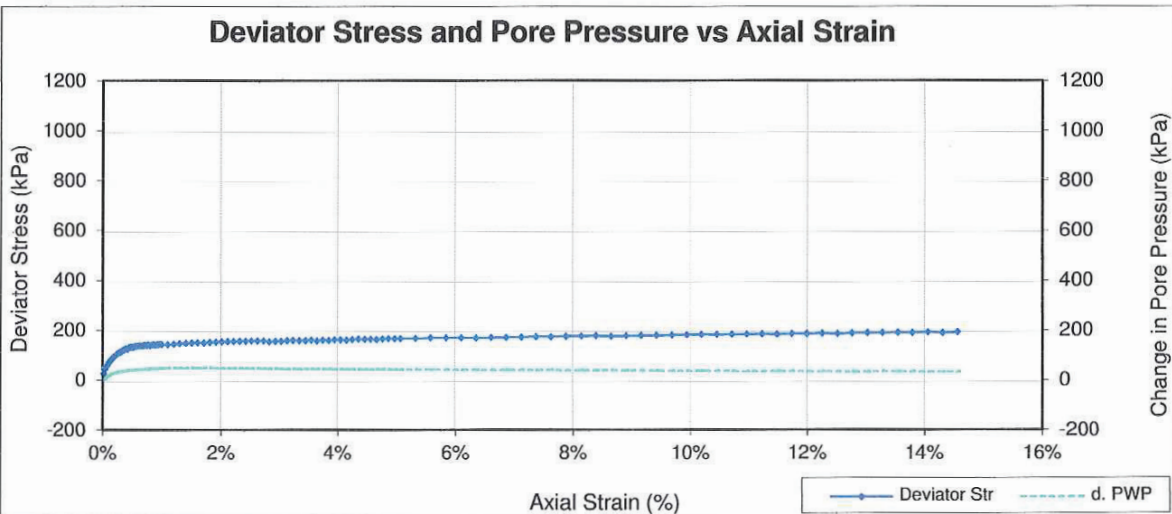
Effective Consolidation. Stress: 97 kPa				t_{50} (minutes): 0.675				
	Height (cm)	Diameter (cm)	Area (cm ²)	Moisture Content (%)	Dry Unit Weight (kN/m ³)	Void Ratio	Saturation (%)	Specific Gravity
INITIAL	19.99 *	10 *	78.540	7.1	20.528	0.338	59.1	2.80**
FINAL	19.99	10.000	78.540	12.0	20.528	0.338	99.2	

*: Measured dimensions; all other dimensions are calculated. **: Determined

SHEAR DATA: TEST No 1

Rate of Strain (%/min):	0.083	Principal Stresses at Failure (kPa)			
Axial Strain at Failure (%):	1.00	σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'
Failure Criterion:	Selected Deviator Stress	247	193	97	44
Axial Strain at Failure (%):	2.00				
Failure Criterion:	Selected Deviator Stress	256	202	97	44
Axial Strain at Failure (%):	10.00				
Failure Criterion:	Selected Deviator Stress	285	242	97	54

Note: Membrane and filter corrections applied



**CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULTS
 (ASTM D4767-95)**

Project: Relavera Huancapeti	
Project Number: LI201-00223/15 G05.04	Laboratory Number: G434
Field Sample Reference: Calicata TP-07 Depth (m): 1.00-4.00	Date Tested: 13-Jun-12

USCS: GC Clayey gravel with sand LL: 29 PL: 18

Remarks:
 Remolded sample at 95% MDD and OMC, obtained to modified proctor.
 Material used < 3/4". According to the requested by the client.

SATURATION DATA

Saturation method: Wet	Pore Pressure parameter B: 0.97
Final backpressure (kpa): 408	

CONSOLIDATION DATA

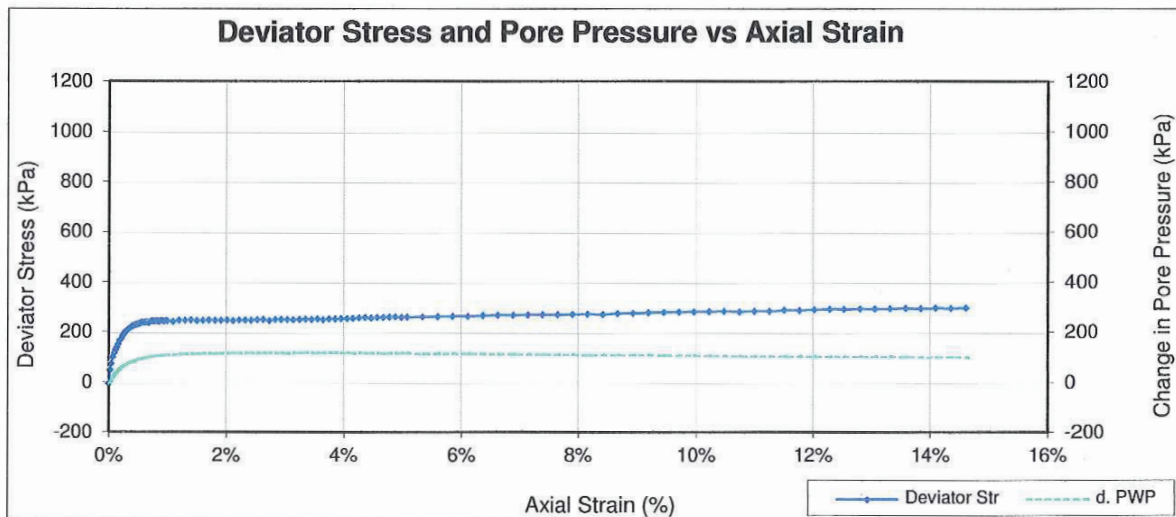
Effective Consolidation. Stress: 202 kPa				t ₅₀ (minutes): 1.030				
	Height (cm)	Diameter (cm)	Area (cm ²)	Moisture Content (%)	Dry Unit Weight (kN/m ³)	Void Ratio	Saturation (%)	Specific Gravity
INITIAL	19.95 *	10 *	78.540	7.2	20.562	0.336	59.9	2.80**
FINAL	19.93	9.989	78.373	11.6	20.628	0.332	97.9	

*: Measured dimensions; all other dimensions are calculated. **: Determined

SHEAR DATA: TEST No 2

Rate of Strain (%/min): 0.083	Principal Stresses at Failure (kPa)				
Axial Strain at Failure (%): 1.00	σ_1	σ_1'	σ_3	σ_3'	
Failure Criterion: Maximum Deviator Stress	453	340	202	90	
Axial Strain at Failure (%): 2.00					
Failure Criterion: Selected Deviator Stress	455	334	202	82	
Axial Strain at Failure (%): 10.00					
Failure Criterion: Selected Deviator Stress	490	379	202	91	

Note: Membrane and filter corrections applied



CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULTS
(ASTM D4767-95)

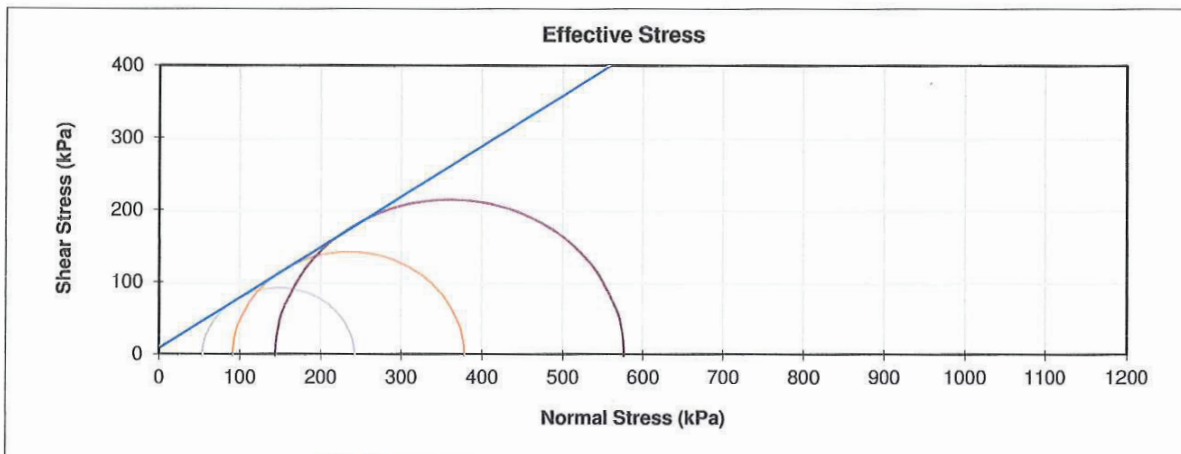
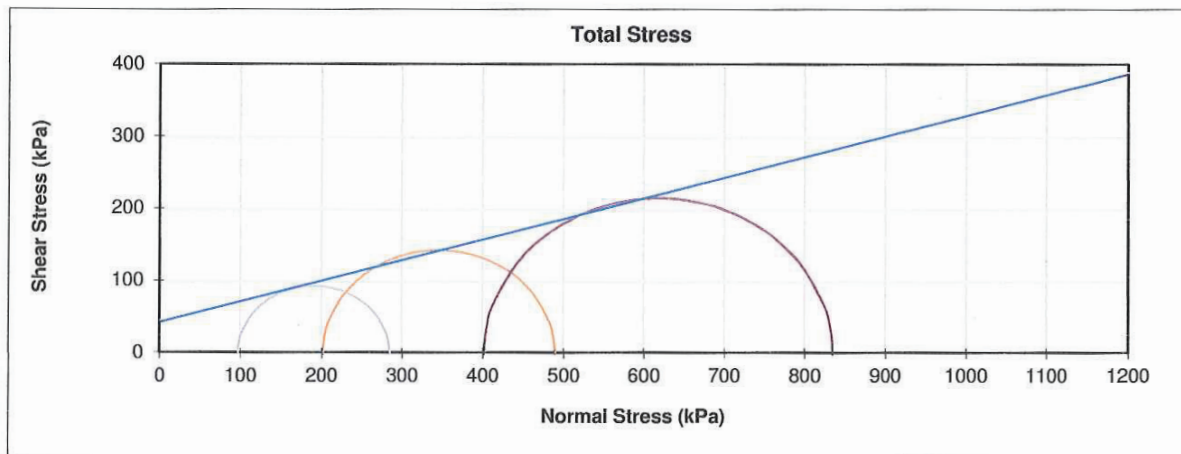
Project: Relavera Huancapeti		
Project Number: LI201-00223/15	G05.04	Laboratory Number: G434
Field Sample Reference: Calicata TP-07	Depth (m): 1.00-4.00	Date Tested: 18-Jun-12

Samples data:	USCS: GC	Clayey gravel with sand	LL: 29	PL: 18
----------------------	----------	-------------------------	--------	--------

Remarks:
 Remolded sample at 95% MDD and OMC, obtained to modified proctor.
 Material used < 3/4". According to the requested by the client.

MOHR STRESS CIRCLES (10 %)

	COHESION (kPa)	FRICTION ANGLE (°)
TOTAL	44	16
EFFECTIVE	10	35



CONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULTS
(ASTM D4767-95)

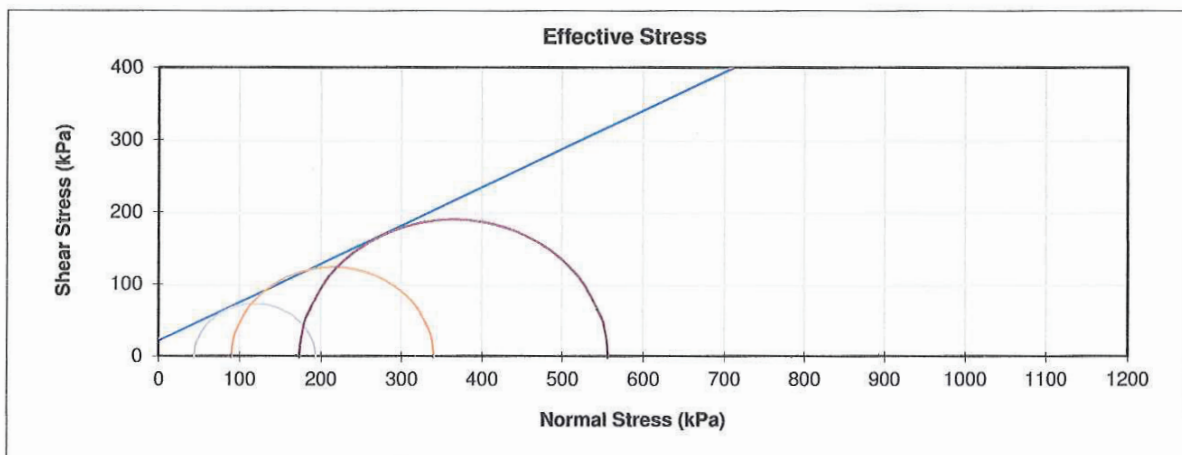
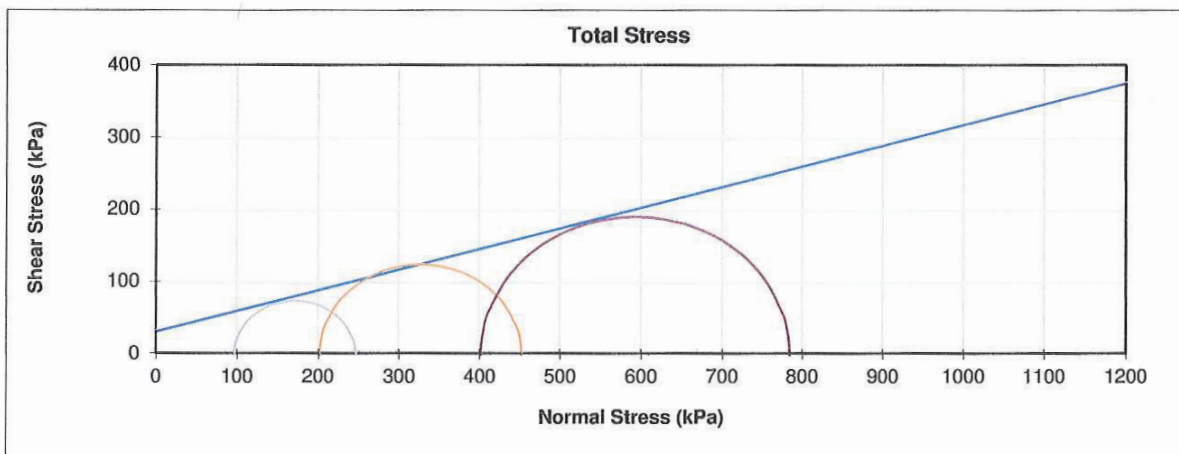
Project: Relavera Huancapeti		
Project Number: LI201-00223/15 G05.04	Laboratory Number: G434	
Field Sample Reference: Calicata TP-07	Depth (m): 1.00-4.00	Date Tested: 18-Jun-12

Samples data:	USCS: GC	Clayey gravel with sand	LL: 29	PL: 18
----------------------	----------	-------------------------	--------	--------

Remarks:
 Remolded sample at 95% MDD and OMC, obtained to modified proctor.
 Material used < 3/4". According to the requested by the client.

MOHR STRESS CIRCLES (1 %)

	COHESION (kPa)	FRICTION ANGLE (°)
TOTAL	32	16
EFFECTIVE	24	28



Anexo 12

Panel fotográfico.



Fotografía 1: Vista panorámica desde la zona oeste del depósito de relaves.



Fotografía 2: Vista panorámica desde la zona este del depósito de relaves.



Fotografía 3: Ensayos de densidad in situ en la corona del depósito de relaves.



Fotografía 4: Monitoreo de nivel de agua en piezómetros tipo Casagrande.