

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



T E S I S

**Evaluación geotécnica para construcción del recrecimiento de
Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera
Huachuacaja**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autores:

Bach. María Jesús PAITAN GONZALO

Bach. Alberth David RICALDI HINOSTROZA

Asesor:

Dr. José Fermín HINOJOSA DE LA SOTA

Cerro de Pasco - Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Evaluación geotécnica para construcción del recrecimiento de
Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera
Huachuacaja**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Julio Alejandro MARCELO AMES
PRESIDENTE

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI
MIEMBRO

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 325-2025-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

**“Evaluación geotécnica para construcción del
recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m.
sector Norte de la Relavera Huachuacaja”**

Apellidos y nombres de los tesisistas

Bach. Maria Jesus PAITAN GONZALO.

. Bach. Alberth David RICALDI HINOSTROZA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. José Fermín, HINOJOSA DE LA SOTA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

6 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 24 de setiembre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 24.09.2025 08:30:11 -05:00

DEDICATORIA

A nuestros padres, por ser faros de luz en nuestro camino, por enseñarnos con su ejemplo de valentía, esfuerzo y sacrificio, y por sostener con amor incondicional a nuestra familia. Gracias por mostrarnos que con firmeza y dedicación se construye la vida, y por acompañarnos siempre, guiando nuestra formación personal y profesional con paciencia y afecto.

AGRADECIMIENTO

El proyecto de investigación titulado “Evaluación geotécnica para construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja” no habría sido posible sin el apoyo invaluable de numerosas personas y organizaciones, a quienes estamos profundamente agradecidos y honrados de mencionar. Primero, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y en particular a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica. Su guía constante, su dedicación a la excelencia educativa y su compromiso con nuestra formación han sido una fuente inagotable de inspiración y desarrollo académico y profesional. Sin su apoyo, este proyecto no habría alcanzado el nivel de profundidad y rigurosidad que requería.

Nuestro agradecimiento eterno al Dr. José Hinojosa de la Sota, cuya inestimable ayuda, asesoría y orientación fueron esenciales en la elaboración de este Trabajo de Titulación. Sus conocimientos, experiencia y consejos no solo enriquecieron este proyecto de manera significativa, sino que también ampliaron nuestra visión profesional, enseñándonos a abordar los problemas con un enfoque crítico y meticuloso. Además, queremos extender nuestra gratitud a todas aquellas personas que, de alguna forma, contribuyeron al desarrollo y culminación de esta tesis. A nuestros compañeros de estudios, por su camaradería y apoyo moral durante los momentos difíciles. A nuestras familias, por su paciencia, comprensión y aliento constante que nos motivaron a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes. Finalmente, a todas las instituciones, empresas y profesionales que, directa o indirectamente, hicieron posible este proyecto mediante la provisión de recursos, conocimientos y tiempo. Su colaboración y disposición para ayudar fueron fundamentales para alcanzar este logro, que no solo marca un hito importante en nuestra carrera, sino que también refuerza nuestro compromiso con la mejora continua en el campo de la ingeniería geológica.

RESUMEN

Sociedad Minera El Brocal (SMEB), solicita la construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja, el material de relleno masivo emitido por las especificaciones técnicas es el Tipo A, el objetivo es satisfacer las necesidades operativas de la mina subterránea e incrementar la cantidad de relaves producidos por la planta concentradora Huachuacaja de 15240 tpd, con una producción de la planta concentradora Huachuacaja de 16 125 tpd, la relación de relaves/mineral de 0.94 y los minerales a ser obtenidos Pb-Zn-Cu. Además de ejecutar el sistema de drenaje para contener las aguas de contacto de las filtraciones de la Relavera R4 y recircular las aguas de no contacto y evitar el ingreso de relaves a la presa de relaves, el cálculo de factor de seguridad nos permite determinar la estabilidad del dique. Las características geotécnicas presentadas para la presente tesis permiten recomendar la construcción del Dique R4, que permitirá la continuidad de las operaciones mineras. Las muestras se tomaron según la cantidad y procedimiento indicado en las pruebas Mecánicas de Suelos de la Normativa ASTM; Ensayo Macro granulométrico Norma ASTM D5519, Norma ASTM D422 Ensayo Granulométrico, Norma ASTM D2216 Contenido de Humedad Natural, Norma ASTM D423 Límite líquido y Plástico y el Ensayo de Reemplazo por Agua Norma ASTM D5030.

Palabras Clave: Caracterización geotécnica, Planta Concentradora, Presa de relaves, Filtraciones, Mecánicas de Suelos Norma ASTM.

ABSTRACT

Sociedad Minera El Brocal (SMEB), requested the construction of the expansion of Dam R4 at a level of 4217 meters above sea level. Northern sector of the Huachuacaja Tailings Plant, the massive fill material issued by the technical specifications is Type A, the objective is to satisfy the operational needs of the underground mine and increase the amount of tailings produced by the 15,240 tpd Huachuacaja concentrator plant, with a production of the Huachuacaja concentrator plant of 16,125 tpd, the tailings/ore ratio of 0.94 and the minerals to be obtained Pb-Zn-Cu. In addition to executing the drainage system to contain the contact waters from the leaks of Tailings Dam R4 and recirculate the non-contact waters and prevent the entry of tailings into the tailings dam, the calculation of the safety factor allows us to determine that the dam stability. The geotechnical characteristics presented for this thesis allow us to recommend the construction of Dam R4, which will allow the continuity of mining operations. The samples were taken according to the quantity and procedure indicated in the Soil Mechanical tests of the ASTM Regulations; Macro Granulometric Test Standard ASTM D5519, Standard ASTM D422 Granulometric Test, Standard ASTM D2216 Natural Moisture Content, Standard ASTM D423 Liquid and Plastic Limit and the Water Replacement Test Standard ASTM 5030;

Keywords: Geotechnical characterization, Concentration Plant, Tailings Dam, Filtration, Soil Mechanics ASTM Standard.

INTRODUCCIÓN

Unidad minera El Brocal incrementó la producción de minerales, siendo los más importantes el cobre, zinc, plomo y cromo. Con el aumento en el uso de los recursos minerales, la empresa minera también desarrolla una adecuada gestión ambiental, que tiene como objetivo evitar efectos negativos en los ámbitos social, cultural, demográfico, geográfico e hidrológico. Por lo expuesto se inició la ejecución del recrecimiento en el Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja, siendo unas de las dificultades que se presentarían si no se ampliara la presa de relaves es que podría saturarse y con ello desbordarse. El material requerido para esta etapa según las especificaciones técnicas considera el Material Tipo A, material procedente de la cantera de Sacra familia para lo cual se realizó los ensayos de control concluyendo que el material obtenido cumple con los porcentajes de masa indicado en el huso granulométrico, el contenido de humedad es óptimo y el panel test de relleno masivo logro alcanzar los valores solicitados. Por lo tanto, el objetivo de la presente tesis de investigación es desarrollar una secuencia técnica del proceso constructivo mediante una prospección geotécnica, asegurando su factibilidad en la ejecución del proyecto con la finalidad de obtener una mayor capacidad de almacenamiento y conseguir un comportamiento estructural e hidráulico óptimo durante el periodo que fue diseñado.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

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

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.1.1. Antecedente Local.....	5
2.1.2. Antecedente regional.....	7
2.1.3. Antecedente internacional	8
2.2. Bases teóricas - científicas	8

2.2.1. Relaves mineros.....	8
2.2.2. Presa de relaves	9
2.2.3. Tipos de presas de relaves.....	10
2.2.4. Construcción de los depósitos de relaves.....	11
2.2.5. Partes de un depósito de relaves	13
2.2.6. Diseño de diques en Talud	14
2.2.7. Exploración con sondajes.....	15
2.2.8. Exploración geotécnica con calicatas	16
2.2.9. Ensayos geofísicos.....	17
2.2.10. Ensayos de laboratorio.....	18
2.3. Definición de términos básicos	19
2.4. Formulación de hipótesis	21
2.4.1. Hipótesis general.....	21
2.4.2. Hipótesis específicas.....	21
2.5. Identificación de variables.....	21
2.5.1. Variable independiente.....	21
2.5.2. Variable dependiente.....	21
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	22

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación	25
3.2. Nivel de investigación	25
3.2.1. Nivel exploratorio.....	25
3.2.2. Nivel aplicativo	25
3.3. Métodos de investigación	26
3.4. Diseño de investigación	26
3.5. Población y muestra	26
3.5.1. Población	26

3.5.2. Muestra	26
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
3.6.1. Trabajos en Campo	26
3.6.2. Trabajos en gabinete	26
3.6.3. Trabajos en software para modelamiento geotécnico	27
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	27
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	27
3.9. Tratamiento estadístico	27
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	28

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	29
4.1.1. Ubicación y Accesibilidad	29
4.1.2. Topografía y Clima	30
4.1.3. Geomorfología sector Norte de la Relavera Huachuacaja	31
4.1.4. Caracterización sector Norte de la Relavera Huachuacaja	31
4.1.5. Geología de la Relavera Huachuacaja	32
4.1.6. Criterio de Diseño Relavera Huachuacaja	32
4.1.7. Exploración con sondajes	34
4.1.8. Exploración Geotécnica Mediante Calicatas	37
4.1.9. Caracterización geotécnica de los materiales y terreno fundación Dique R4	40
4.1.10. Análisis de estabilidad de la presa Dique R4.	41
4.1.11. Materiales Geotécnicos	41
4.1.12. Resultados del análisis de estabilidad física.	43
4.1.13. Sistema de Manejo de Filtraciones en sector del Dique R4.	44
4.1.14. Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc.	48
4.1.15. Ensayo de permeabilidad de agua presión Tipo Lugeon.	50

4.1.16. Elaboración del panel Test material de relleno en recrecimiento de Dique R4.	53
4.1.17. Proceso constructivo material protección y material masivo.	60
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.	67
4.2.1. Ensayo de reemplazo de agua de acuerdo norma ASTM D5030 para la determinación de la Densidad In Situ y características físicas del Panel Test.	67
4.2.2. Características físicas del material de relleno masivo Tipo A	72
4.3. Prueba de hipótesis	77
4.3.1. Estabilidad Sísmica	77
4.3.2. Estabilidad de filtración	79
4.4. Discusión de resultados	80
4.4.1. Sobre la estabilización	80
4.4.2. Sistema de impermeabilización	81
4.4.3. Sistema de sub drenaje	81

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de aspectos físicos con forma de recrecer.....	11
Cuadro 2. Ensayos estándar en suelos.....	18
Cuadro 3. Ensayos especiales en suelo.....	18
Cuadro 4. Ensayos en roca.....	19
Cuadro 5. Variables e indicadores	22
Cuadro 6. Matriz de consistencia	23
Cuadro 7. Coordenadas geográficas.....	29
Cuadro 8. Coordenada UTM WGS84 ZONA18S.....	29
Cuadro 9. Análisis de estabilidad física Dique R4	43
Cuadro 10. Datos de entrada ensayo tipo Lefranc	49
Cuadro 11. Tiempo vs litros tipo Lefranc constante.....	49
Cuadro 12. La variación del caudal de infiltración en función del tiempo.....	50
Cuadro 13. Datos de entrada ensayo tipo Lugeon	51
Cuadro 14. Valores para cada estadio tipo Lugeon.....	52
Cuadro 15. Controles de asentamiento del Panel Test.....	55
Cuadro 16. Contenido de humedad Global a nivel macro	56
Cuadro 17. Cálculo de ensayos de densidad del suelo in situ	57
Cuadro 18. Resumen de CH, asentamiento y densidad máxima seca	57
Cuadro 19. Huso granulométrico del material tipo B	61
Cuadro 20. Huso granulométrico del material tipo E	62
Cuadro 21. Huso granulométrico del material tipo A	66
Cuadro 22. Análisis macro granulométrico al panel test reemplazo de agua.....	69
Cuadro 23. Ensayo por reemplazo de agua, mediante el material húmedo extraído de la calicata es de 7%, siendo la profundidad de prueba es de 0.60 m, material proveniente de Sacrafamilia, la densidad seca máxima sería 2.279 /cm ³	70
Cuadro 24. Ensayo de contenido de humedad al panel test.....	71
Cuadro 25. Ensayo de límites de Atterberg al panel test	72

Cuadro 26. Análisis macro granulométrico al material tipo A.....	73
Cuadro 27. Ensayo por reemplazo de agua material tipo A.....	74
Cuadro 28. Ensayo de contenido de humedad al material tipo A.	75
Cuadro 29. Ensayo de límites de Atterberg al material tipo A.....	76
Cuadro 30. Estabilidad física del Dique R4 a la cota 4 217m.s.n.m.....	78

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Caracterización geotécnica de la sección típica.....	9
Imagen 2. Métodos constructivos de tanques de relaves	12
Imagen 3. Partes de un Depósito de Relaves.....	14
Imagen 4. Diseño de diques en talud	15
Imagen 5. Ubicación de la U.M. COLQUIJIRCA.....	30
Imagen 6. Vista en planta Dique R4 para contención de agua de no contacto	33
Imagen 7. Ubicación vista en planta de sondajes (LC 2019) Dique R4.....	35
Imagen 8. Sección geológica sondaje SO-R4-01 Dique R4.....	36
Imagen 9. Exploración Geotécnica Mediante Calicatas-cresta Dique R4	37
Imagen 10. Registro de excavación mediante calicatas-cresta Dique R4.....	38
Imagen 11. Exploración Geotécnica Mediante Calicatas-Bofedal Dique R4	38
Imagen 12. Registro de excavación mediante calicatas- Bofedal Dique R4.....	39
Imagen 13. El huso de las curvas granulométricas pasante la malla 3"	40
Imagen 14. Vista en la planta Dique R4	41
Imagen 15. Caracterización geotécnica Dique R4.....	43
Imagen 16. Secciones A-A'/ B-B'/C-C' para el análisis de estabilidad física	44
Imagen 17. Manejo de aguas de no contacto Poza R4 proyectada	44
Imagen 18. Sistema de Sub-drenaje aguas de no contacto.....	45
Imagen 19. Sección de manejo de aguas de no contacto.....	46
Imagen 20. Instalación del sub-drenaje aguas de contacto	47
Imagen 21. Vista planta del sub-drenaje aguas de contacto.....	47
Imagen 22. Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc	48
Imagen 23. Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon.....	51
Imagen 24. Levantamiento para controles topográficos según celda.....	54
Imagen 25. Procedimiento de ejecución para el Panel Test	58
Imagen 26. Habilidad e instalación de geomembrana 1.5 mm protección de Dique	61

Imagen 27. Conformación de pantalla de protección al talud existente, tipo B	62
Imagen 28. Ingeniería detalle del proceso constructivo	63
Imagen 29. Carguío y disposición de material enrocado TIPO E.....	64
Imagen 30. La colocación del material de protección tipo B	64
Imagen 31. Conformación de material tipo A con Excavadora 330.....	66
Imagen 32. Conformación de material tipo A con Bulldozer D8	66
Imagen 33. Esquematización de trazo en terreno Panel Test – Tipo A.....	67
Imagen 34. Análisis de estabilidad estático Dique R4	78
Imagen 35. Análisis de estabilidad pseudoestático Dique R4.....	78
Imagen 36. El análisis de filtraciones de modelo y propiedades hidráulicas	79
Imagen 37. El análisis de filtraciones de modelo y resultados	80

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Patrón resultados para la selección de unidades de Lugeon	52
Gráfico 2. Curva de densidad seca vs ciclos.....	57
Gráfico 3. Densidad seca (g/cm ³) vs número de ciclos.....	68
Gráfico 4. Contenido de humedad (%) vs número.....	68
Gráfico 5. Curva granulométrica ensayada en el test de reemplazo de agua.....	69
Gráfico 6. Curva granulométrica ensayada material tipo A.....	74

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La altura del borde mínimo (la distancia vertical entre el nivel máximo de embalsamiento de relaves y la cresta del dique) ha disminuido y está en el límite permitido debido al aumento en la producción de relaves minero y la presencia de precipitaciones constantes. La Unidad Minera El Brocal está comenzando a construir el Dique R4 en el sector norte de la Relavera Huachuacaja, a una altitud de 4217 metros sobre el nivel del mar. El objetivo es almacenar los relaves que se producen en la unidad de 18000 toneladas métricas diarias de concentrado polimetálico, a medida que aumenta el ancho del revestimiento de la presa, cumpliendo los parámetros de diseño.

El espesor de capa fue de 0,50 a 0,60 m y compactado al 95% de la densidad seca máxima del ensayo por Proctor Estándar. El huso granulométrico de este material será el indicado según el número de tamiz. El espesor de capa podrá variar si se realiza una “cancha de prueba” para lograr la densidad especificada.

El propósito de la construcción del Dique R4 es evitar que el agua de no contacto de las quebradas Huachuacaja y Andacancha ingrese al depósito de relaves. Estas aguas se acumulan en la poza R4 y luego son bombeadas hacia

los canales de coronación Este y Oeste del sector norte de la Relavera Huachuacaja.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación local

La delimitación local se desarrolló en la provincia de Pasco, distrito de Tinyahuarco adjudicado a la Empresa Minera El Brocal S.A.A.

La delimitación local de la investigación se llevó a cabo en el sector norte de la Relavera Huachuacaja, distrito de Tinyahuarco, provincia de Pasco, bajo la gestión de la Empresa Minera El Brocal S.A.A., área donde se ejecutó el recrecimiento del Dique R4, lo que permitió un análisis geotécnico específico y directamente aplicable al proyecto.

1.2.2. Delimitación temporal

La delimitación temporal de la investigación se realizó en un periodo de 7 meses de octubre 2023 hasta mayo del 2024.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿En qué medida la evaluación geotécnica influirá para construcción del recrecimiento del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja?

1.3.2. Problemas específicos.

- a. ¿En qué grado la característica geotécnica influirá para construcción del recrecimiento del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja?
- b. ¿En qué medida la característica geológica influirá para construcción del recrecimiento del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar las características geotécnicas para construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar las características geotécnicas para construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja.
- b. Determinar las características geológicas para construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja.

1.5. Justificación de la investigación

En la actualidad el Dique R4 ubicado aguas arriba del sector Norte de la Relavera Huachuacaja, se encuentra en su capacidad máxima con una altura borde libre de 1.0 metros en la cota 4214 m.s.n.m. debido que la empresa minera El Brocal ha logrado incrementar su producción a 11,200 tpd, porque siendo necesario aumentar la capacidad de almacenamiento del vaso de la presa de relaves. La construcción del Dique R4 sector Norte de la Relavera Huachuacaja permite almacenar de forma controlada los depósitos herméticos, evitando la contaminación de suelos y aguas de contacto de las quebradas Huachuacaja y Andacancha.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones del uso del software SLIDE 2 versión 9.013 de Rocscience, para el cálculo de análisis de estabilidad y análisis de filtraciones es de carácter privado; asimismo los datos de ensayos de laboratorio de las muestras extraídas en calicatas y perforaciones que tienen como objetivo la

caracterización del material por el cual será conformado el Dique R4, viene a ser confidencial.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

Se considerarán los siguientes antecedentes que sirven de sustento a la tesis presentada:

2.1.1. Antecedente Local

Hidalgo Solís, Ederson Eddie (2023), en su tesis realizada en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Pasco, titulada *“Evaluación geotécnica en la construcción de recrecimiento de los diques R4 y R5 en la presa de relaves Huachuacaja”*, propone el recrecimiento de los diques R4 y R5 hasta la cota 4214 m.s.n.m., en los sectores Norte y Este de la presa de relaves Huachuacaja. La propuesta de recrecimiento considera las características del material y la estabilidad que presentan los diques durante el proceso constructivo. Además, el estudio enfatiza la identificación de zonas de muestreo de suelos y rocas alteradas, con el fin de realizar análisis geotécnicos en laboratorio mediante ensayos de cohesión, asegurando así la viabilidad técnica del proyecto.

(Ventura Pozo, William, 2022), en su tesis realizada en la Universidad Nacional Federico Villareal de Lima, titulada *“Mejora del residuo sólido para su utilización en el recrecimiento del espaldón de la Presa de relaves Huachuacaja,*

Minera El Brocal” tuvo como objetivo determinar un material de relleno adecuado conforme a las especificaciones técnicas establecidas en el expediente técnico. Mediante el análisis del residuo sólido de mina utilizando una zaranda mecánica, se obtuvo como resultado que el material no cumplía con la caracterización granulométrica requerida, lo que podría afectar negativamente el comportamiento estructural e hidráulico de la presa de relaves y aumentar el riesgo de colapso. Para solucionar esta problemática, se aplicó un blending con proporciones de 40%, 60% y 5% de residuo estéril de mina, material de préstamo y over, respectivamente, logrando cumplir con la gradación granulométrica y los requerimientos de plasticidad del material de relleno.

Como conclusión, el estudio evidencia que la adecuada mezcla de materiales permite optimizar las propiedades granulométricas y plásticas del residuo sólido, asegurando su uso seguro en el recrecimiento del espaldón de la presa de relaves.

Solís Vitor, Marcelino Roy (2019) en su tesis realizada en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Pasco, titulada “Análisis de suelos para determinar la estabilidad de talud en el servicio de almacenamiento de relaves de la Presa Huachuacaja – El Brocal” tuvo como objetivo garantizar la estabilidad de la presa de relaves mediante el uso del software SLIDE 2 versión 9.013 de Rocscience, evaluando el factor de seguridad de los taludes conforme a la normativa peruana.

En sus conclusiones, el autor señala que la estabilidad de un talud durante el proceso constructivo se relaciona directamente con la ingeniería geológica y geotécnica. Los resultados obtenidos con el software arrojaron un factor de seguridad (FS) superior a 2 en condiciones estáticas y pseudoestáticas, valores que superan los de proyectos cercanos como Huaracaca (FS de 1.4 en estático y 1 en pseudoestático). Dichos resultados evidencian que ambos proyectos cumplen holgadamente las recomendaciones

del Ministerio de Energía y Minas (MEM), que establece factores de seguridad mayores a 1.

Asimismo, se concluye que, durante el recrecimiento de una presa aguas abajo con material de préstamo, la estabilidad puede verse comprometida si no se consideran fuentes de cantera suficientemente activas que garanticen el volumen requerido de rocas y materiales. Esto es fundamental para asegurar la estabilidad del cuerpo del dique o presa.

2.1.2. Antecedente regional

Contreras Paucar, Carlos Enrique (2021), en su tesis realizada en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, titulada “Ampliación de la Presa de Relaves Pallancata en la Fase 3, para Incrementar su Capacidad de Almacenamiento, en la Empresa Minera Ares S.A.C., Ayacucho-2020”, propone la ampliación de la presa de relaves Pallancata en su fase 3 mediante un incremento de altura de 2,5 metros, elevando la cota desde 4589,00 m.s.n.m. hasta 4591,50 m.s.n.m., con un borde libre de 2,0 metros. El proyecto utiliza como material de relleno estructural el Tipo 1, complementado con material de transición y enrocado, lo que permitió ampliar el área de la presa de 242.694,582 m² a 264.885,965 m², generando un área operativa adicional de 22.191,383 m² para la disposición de relaves. Esta ampliación proporciona una nueva capacidad que garantiza un tiempo de vida útil de 13,53 meses, asegurando la operación continua y eficiente de la instalación.

Quecaño Yaja, Blanca Magali (2025), en su tesis realizada en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, titulada “Análisis De Infiltración Y Estabilidad del Depósito De Relaves N° 2 En El Recrecimiento del Año 2021- Unidad Minera Huancapetí- Recuay”, sus resultados evidenciaron que la estabilidad del depósito solo era aceptable cuando se implementaba un revestimiento adecuado, alcanzando factores de seguridad superiores a 2. En

contraste, sin dicho revestimiento, la infiltración comprometía la seguridad estructural, con factores de seguridad que oscilaban entre 1.16 y 1.32.

2.1.3. Antecedente internacional

Fourie, A. B., & Blight, G. E. (2001). Mine tailings dams: when things go wrong. *Construction and Building Materials*, examinaron diversos casos internacionales de fallas en presas de relaves, identificando deficiencias en el control de materiales de préstamo, en el diseño de drenaje y en la supervisión del proceso constructivo de recrementos. Su investigación enfatiza que el éxito de un proyecto de ampliación de diques depende de una adecuada caracterización geotécnica, el uso de materiales que cumplan con los criterios de granulometría y humedad, y la aplicación de factores de seguridad confiables.

Villavicencio, G., Espinoza, R., Palma, J., & Fourie, A. (2014). Failures of sand tailings dams in a highly seismic country. *Canadian Geotechnical Journal*, analizaron fallas en presas de relaves en Chile, un país de alta sismicidad, identificando que los factores críticos para la estabilidad son el control de la presión intersticial, la densificación de los materiales y la consideración de condiciones pseudoestáticas en los cálculos de seguridad. Los resultados mostraron que, en varios casos, los factores de seguridad fueron insuficientes frente a eventos sísmicos, lo que derivó en fallas parciales o totales de los diques.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Relaves mineros

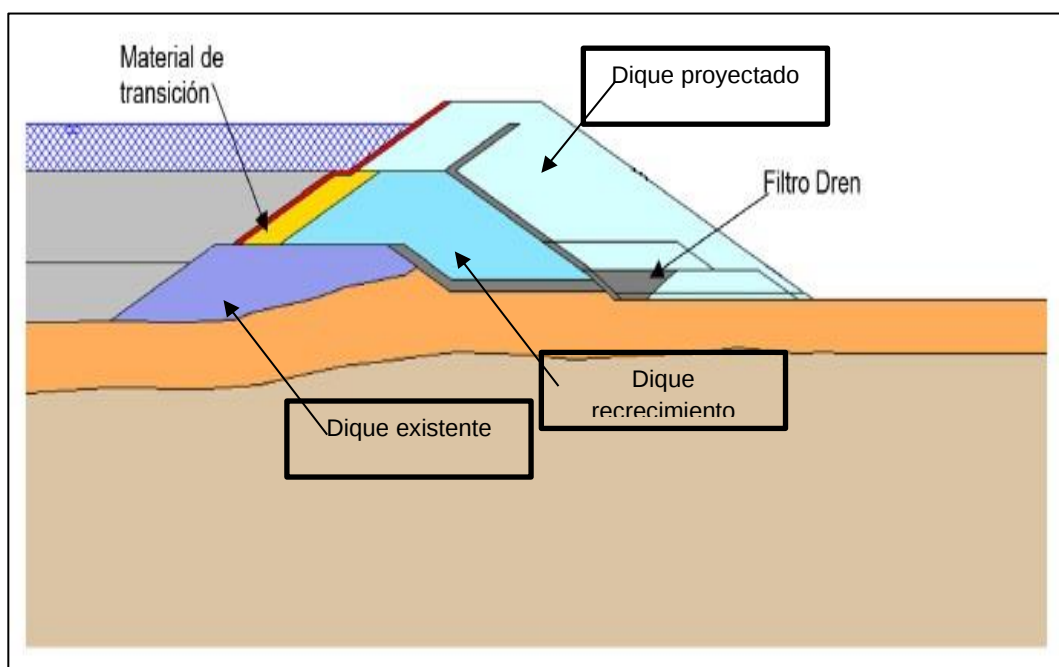
Los residuos mineros, tal y como los define la Real Academia de España, se refieren a partículas minerales que son arrastradas por las aguas residuales y mezcladas con material estériles, y cuyo aprovechamiento requiere un segundo lavado. Se entiende por residuo cualquier residuo no irrecuperable y sin valor económico, resultante del procesamiento metalúrgico para la

adquisición de minerales de alta ley económica. La disposición de grandes volúmenes de relaves producidas por la empresa minera contamina gravemente el medio ambiente y elementos vitales para el consumo humano. Por lo tanto, deben ser transportados y almacenados en un vaso de relaves, para pasar por un proceso de decantación el cual permite diferenciar el agua del residuo mineral y recuperar el mismo para propósitos de consumo humano.

2.2.2. Presa de relaves

Los almacenamientos de relaves hacen referencia a la presa de relaves, que pueden definirse como construcciones estables utilizados para el almacenamiento de relaves mineros, que se construyen gradualmente durante las operaciones mineras. Las dimensiones y métodos utilizados para su construcción dependen de la clasificación del tipo de relaves, la ubicación geográfica y el horizonte de estimación en la producción de la empresa minera.

Imagen 1. Caracterización geotécnica de la sección típica.



Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de una presa de aguas de contacto, los depósitos presentan un grave riesgo ambiental en caso de colapso y/o filtración, por lo que es

necesario un control constante de desplazamiento y un seguimiento constante del aumento de volumen de relaves.

Lo que permite alertar tempranamente sobre el crecimiento la represa. Según la RAE, el recrecimiento es considerado como el efecto del aumento, por lo que el recrecimiento del cuerpo de los relaves consiste en elevar por capas existentes mediante procesos de construcción en base al expediente técnico, tiene como objetivo proporcionar más espacio para la disposición y evitar el desbordamiento de capacidad.

2.2.3. Tipos de presas de relaves

El Servicio Geológico y Minero, nombra varios tipos de disposición final de relaves, los cuales varían dependiendo de la cantidad de agua que acompaña a los relaves y del método de disposición final de la presa de relaves, será de la siguiente manera (SERNAGEOMIN, 2007):

- a. Tranque de Relaves: Está definida por el muro de disposición que se construye a partir de la parte más gruesa de los residuos, los sólidos o residuos compactados, provenientes de un hidrociclón (que cumple la función de separar los sólidos finos del grueso mediante un flujo de agua).
- b. Embalse de relaves: El embalse está definido por un muro de contención de la presa de relaves, se construye con material prestado (piedras y material circundante) y se compacta en la cresta y la pendiente interna. El embalse de relaves se denomina también aquellas instalaciones de almacenamiento ubicadas en algún lugar de la pendiente del terreno, donde no se requiere la construcción de un muro de contención.
- c. Relaves Espesado: La captación superficial de los relaves previamente pasa por un proceso de sedimentación mediante equipos de Thickner, ello acelera el proceso de sedimentación de sólidos, el objetivo es de remover la mayor concentración de agua, con el fin de optimizar el consumo de agua de una fuente natural y/o procesada. Los relaves espesados están

diseñados para evitar que los relaves entren en áreas no autorizadas y también hay un sistema de cuenca para recolectar el agua restante que pueda filtrarse fuera del tanque.

- d. Relaves Filtrado: Se realiza mediante el almacenamiento de material que posee menos agua, debido al proceso de filtración para reducir el contenido de humedad por debajo del 20%.
- e. Relaves en pasta: Se define en la mezcla de agua y un sólido, que posee muchas partículas finas y un contenido menor de agua, por lo que la mezcla es un sólido espeso que se asemeja a una masa densa.

2.2.4. Construcción de los depósitos de relaves

Los depósitos de residuos se forman durante la construcción del cuerpo del dique mediante el uso de muros de contención, no se requiere muro cuando se evidencia depresiones naturales, la disposición comienza con una pequeña pared de contención, para luego ser recrecida a medida que aumenta el nivel de relaves.

Cuadro 1. Análisis de aspectos físicos con forma de recrecer

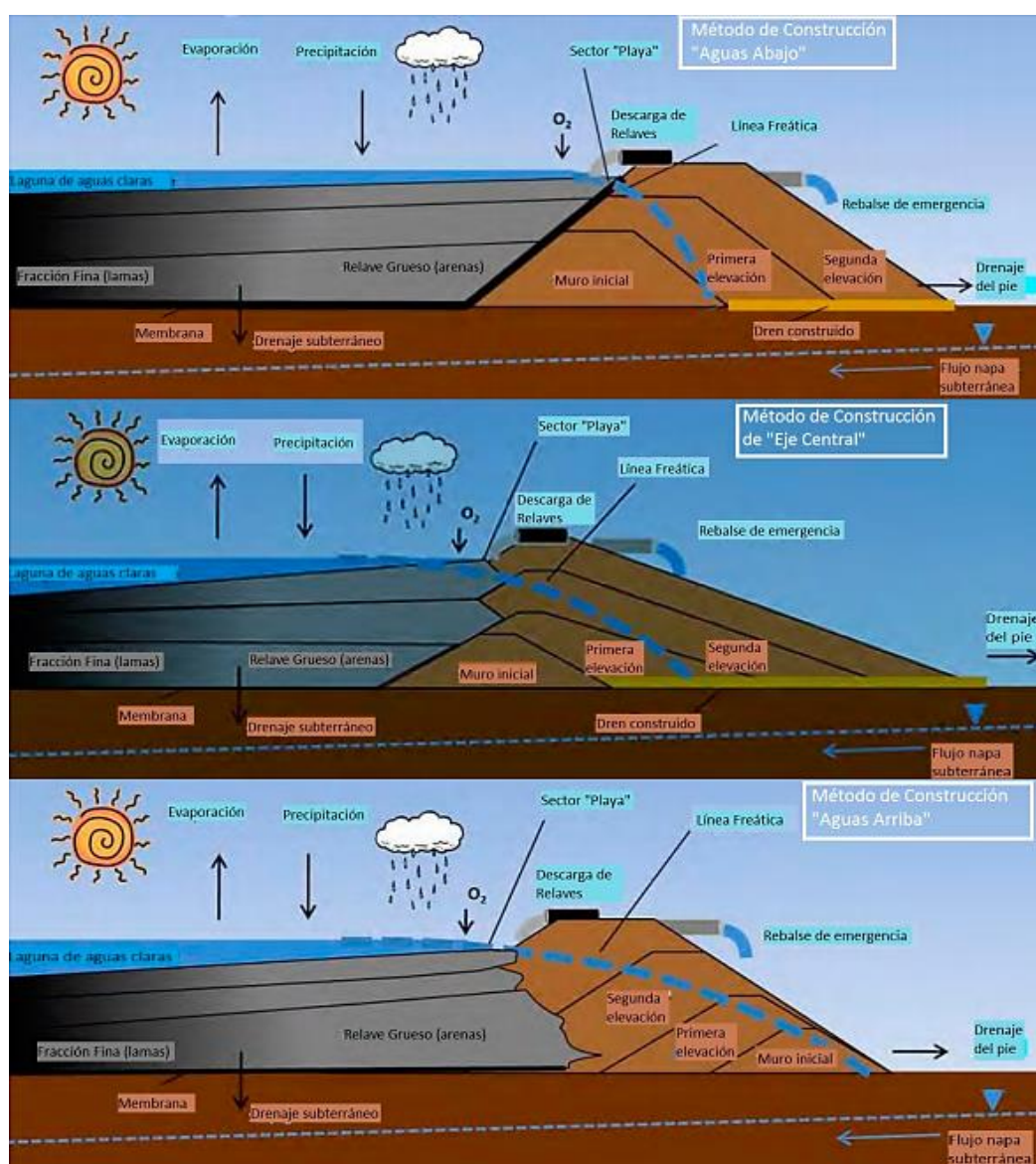
TIPO DE PRESA	RESISTENCIA SISMICA	RESTRICCIÓN CRECIMIENTO	REQUERIMIENTO RELLENO PRESA	COSTO RELATIVO
Materiales Convencionales (Tierra)	Bueno.	Presa completa construida inicialmente.	Suelo natural préstamo	Alto
Aguas Arriba	Pobre en áreas de alta sismicidad.	Mayormente deseable entre 5 - 10 m/año. Es peligroso para mayor de 15 m/año.	Suelo natural arena de relaves o desechos de mina	Bajo
Aguas Abajo	Bueno.	Ninguno.	Arena de relaves o desechos de mina si la producción es suficiente o suelo natural.	Alto
Linea Central	Aceptable.	Restricciones de altura para levantamientos individuales.	Arenas de relaves o desechos de mina si la producción es suficiente o suelo natural.	Moderado

Fuente: Muestra La Comparación De Las Características De Los Tipos De Presas De Relaves. Según el costo Vick S. G. (1990)

Hay tres formas de levantar los muros, (SERNAGEOMIN, 2007, Chile) sólo se contempla 2 tipos desde 1970:

1. "Construcción Aguas Abajo" (Ver Imagen N°02, Superior).
2. "Construcción Eje Central" (Ver Imagen N°02, Medio).
3. El método de "Construcción Upstream (aguas abajo)" (Ver Imagen N°02, Inferior) dicho método está restringido en Chile desde 1970, ejemplo cual es seguido paulatinamente en otros países mineros.

Imagen 2. Métodos constructivos de tanques de relaves



Fuente: 3 métodos de construcción de muros de depósitos de reales,
<https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>

2.2.5. Partes de un depósito de relaves

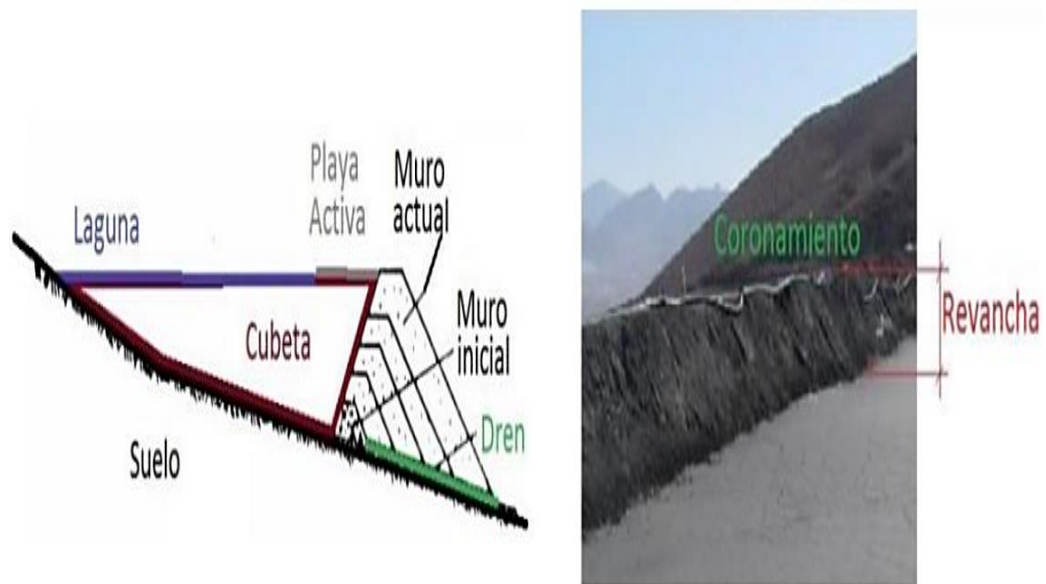
Señala el Servicio Nacional de Geología y Minería, las disposiciones de relaves mineros vienen hacer de la siguiente manera:

Muro: Estructura que permite almacenar los residuos sólidos que se depositan en ella, o delimita la presa de relaves.

- a) Cubeta: Tiene la capacidad beneficiosa para recoger residuos de relaves, y una gran parte contiene agua residual. Una cubeta viene hacer parte donde se forma la una laguna de aguas claras.
- b) Laguna de Aguas Claras: La disposición de relaves de la cubeta, es una mezcla de materia sólida y agua que dispone por medio de transporte, los sólidos se depositan en niveles inferiores, las partículas finas se sedimentan con el agua formando una laguna de aguas claras.
- c) Sistema de drenaje: Reconocido como un sistema adecuado que se utiliza para eliminar el nivel de agua del interior del vaso, para mantener un nivel de agua adecuado del depósito.
- d) Revancha: El desnivel entre la línea de coronación perteneciente al muro de contención y la superficie continua adyacente a la superficie del agua.
- e) Coronamiento: Viene hacer la parte superior del muro de contención del depósito de relaves, su diseño es aproximadamente a la horizontal.
- f) Canal de contorno: Es el canal para desviar el agua de la fuente de recolección y desviar el flujo superficial impidiendo el acceso a la cuenca de relaves.

Playa activa: La zona donde se depositan los restos de la cubeta, al cual se llama playa porque suele estar cerca de la superficie y se asemeja a una playa de arena fina. En esta zona de disposición de relaves se ubica en la línea de vaciado.

Imagen 3. Partes de un Depósito de Relaves

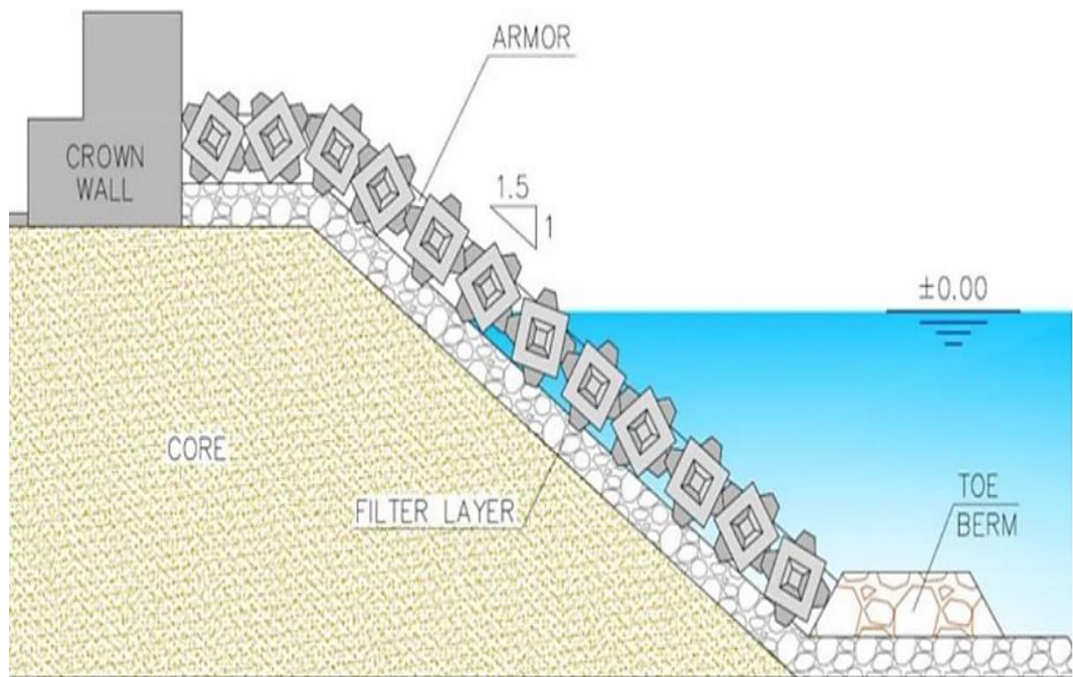


Fuente: Partes de un Depósito de Relaves, SERNAGEOMIN (2018)

2.2.6. Diseño de diques en Talud

La estructura básica de las presas de talud es un factor determinante en el peso de las partes principales del revestimiento. Del factor de seguridad depende el diseño y dimensiones, el presupuesto final del recrecimiento depende inmediatamente del espesor y tamaño de los niveles de presa de relaves, y por tanto de la cantidad total de material durante el pre-diseño es necesario realizar la fórmula “Handbook on Coastal Protection, Palomino Mancilla, 2020”.

Imagen 4. Diseño de diques en talud



Fuente: Diseño de diques en talud, Extraído de www.cubipod.com

$$W = \frac{1}{K_D} + \frac{H^3}{\left(\frac{W}{W_w} - 1\right)^3} + \frac{W_f}{Cota}$$

Donde:

W: el peso de los cuerpos que forman el manto principal.

Wr: relación entre el peso de una sustancia y el volumen hormigón.

Ww: relación entre el peso de una sustancia y el volumen del agua.

H: altura numérica de la ola.

A: el ángulo de inclinación de la estructura con respecto al plano horizontal.

KD: coeficiente de estabilidad.

2.2.7. Exploración con sondajes

La perforación de exploración de sondajes con diamante utiliza un cabezal de diamante o una broca que gira en el extremo de las barras de perforación. El orificio en el extremo de la broca de diamante logra cortar el núcleo del testigo de roca sólida, que se mueve a lo largo de la broca y luego de

regreso a la superficie. Los tamaños de perforación de estándar básicos son los siguientes 7/8" (EX), 13/16" (AX), 1 5/8" (BX) y 2 1/8" (NX). La gran mayoría de las barras de perforación tienen 3048 m (10 pies) de largo. Luego de 10 pies de perforación, se ajusta un nuevo trozo de tubería en el extremo superior, y así seguidamente. La cabeza de diamante gira lentamente y con una ligera presión mientras la lubrica con agua con ello se evita la sobre temperatura que pueda generar. La profundidad de perforación se logra contando la cantidad de barras de perforación colocadas en el pozo.

2.2.8. Exploración geotécnica con calicatas

La investigación geotécnica a través de las calicatas es un método que proporciona información detallada sobre las propiedades del suelo en un lugar específico. Consiste en la excavación de zanjas en el suelo, normalmente de diseño rectangular y/o cuadrada, con la finalidad de estudiar la composición, estructura, estratigrafía y propiedades físicas que posee el terreno. Las calicatas poseen una estructura económica y eficiente de recolectar muestras de terreno para los análisis de laboratorio, lo que permite a los ingenieros geotécnicos evaluar la capacidad de carga del suelo, la compresibilidad, la permeabilidad y otras consideraciones de diseño para cimientos, muros de contención, excavaciones. Además, los pozos también son útiles para dispositivos de monitoreo de la estabilidad del suelo, como para instalar piezómetros, clinómetros y extensómetros, que permite un monitoreo continuo de las condiciones geotécnicas de la misma.

En conclusión, la investigación geotécnica mediante las calicatas es la principal herramienta para obtener información precisa y detallada de las propiedades del terreno de una zona determinada, lo que permite tomar decisiones durante el proceso constructivo en diseño y construcción de los proyectos de Ingeniería Civil.

2.2.9. Ensayos geofísicos

Las pruebas geofísicas son una técnica utilizada para estudiar y determinar las propiedades físicas de la Tierra, en relación con sus niveles internos y estructuras subterráneas. Estas pruebas son necesarias, durante la exploración y explotación y obtener el aprovechamiento de recursos naturales, estudios geológicos y geotécnicos, planificación de obras de construcción y mitigación de riesgos naturales.

Entre los ensayos geofísicos más comunes se encuentran:

1. Sísmica, que estudia la propagación de las ondas sísmicas a través de las capas de la corteza terrestre, poder determinar su estructura y composición.
2. Radar de penetración terrestre, mediante las ondas electromagnéticas se puede detectar los cambios en la velocidad de propagación de las ondas y detectar así posibles fracturas de origen distinto.
3. Electromagnetismo, mide las propiedades eléctricas y magnéticas de los materiales de la corteza terrestre y con ello podemos identificar la litologías, estructuras geológicas y anomalías.
4. Gravimetría, que estudia los cambios en la gravedad de la Tierra, ello infiere en la distribución de masa subterránea y además la geología local.
5. Magnetometría, mide las variaciones en el campo magnético de la Tierra para detectar estructuras geológicas, estructuras mayores y la mineralización.

Estos ensayos permiten obtener información detallada y precisa sobre las características del subsuelo, lo que resulta fundamental para la toma de decisiones en diferentes campos de la Geociencias. Además, son herramientas no invasivas que evitan la necesidad de realizar excavaciones y perforaciones costosas para obtener datos geológicos.

2.2.10. Ensayos de laboratorio.

Ensayos estándar en suelo.

Los ensayos estándar en suelo se realizaron con las siguientes pruebas:

Cuadro 2. Ensayos estándar en suelos

<i>Descripción</i>	<i>American Society for Testing and Materials</i>
<i>Contenido de humedad</i>	<i>ASTM D 2216</i>
<i>Clasificación SUCS</i>	<i>ASTM D 2487</i>
<i>Gravedad específica de sólidos</i>	<i>ASTM D 854</i>
<i>Clasificación de Suelos (SUCS)</i>	<i>ASTM D 2487</i>
<i>Granulometría por tamizado</i>	<i>ASTM D 422</i>
<i>Límites de Atterberg</i>	<i>ASTM D 4318</i>
<i>Proctor modificado</i>	<i>ASTM D 1557</i>

Fuente: Elaboración propia.

Ensayos especiales en suelo.

Los ensayos especiales en suelo se realizaron con las siguientes pruebas:

Cuadro 3. Ensayos especiales en suelo

<i>Descripción</i>	<i>American Society for Testing and Materials</i>
<i>Ensayos triaxiales tipo CU</i>	<i>ASTM D 4767</i>
<i>Ensayos de consolidación</i>	<i>ASTM D 2435</i>
<i>Ensayos de permeabilidad</i>	<i>ASTM D 5084</i>

Fuente: Elaboración propia.

Ensayos en roca.

Los ensayos a los testigos de roca se realizaron con las siguientes pruebas:

Cuadro 4. Ensayos en roca

Descripción	American Society for Testing and Materials
<i>Densidad, Porosidad y Absorción</i>	<i>ASTM C97</i>
<i>Índice de resistencia a la carga puntual</i>	<i>ASTM D5731</i>
<i>Resistencia a la compresión uniaxial</i>	<i>ASTM D7012-C</i>

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Definición de términos básicos

- a) ASTM: Acrónimo de American Society for Testing and Materials. Considerado como Sociedad Norteamericana de materiales y Ensayos.
- b) Calicata: Un término general que describe la exploración o la minería exploratoria, generalmente de superficie.
- c) Perforación diamantina: Este es el estudio de la perforación en suelo o roca de la rotación y percusión y conocer las características físicas del suelo subsuperficial.
- d) Movimiento de tierras: Actividad que utiliza suelo natural, suelo prestado o agregados que requiere mano de obra, equipos y herramientas para su movimiento. La remoción del suelo implica cortar y rellenar el material hasta el nivel especificado en el proyecto.
- e) Perforación: perforar el terreno mediante giro e hincado para obtener un perfil estratigráfico del suelo o de las rocas.
- f) Deformación: El caso más común, es el movimiento de pendiente el entorno de deformación se puede dividir en traslación y rotación y deformación, representa el movimiento relativo del punto en sus ejes principales constituidos por el material sólido.
- g) Sondeo: Perforación desarrollada en el suelo por medios de rotación, con solución de obtener un perfil estratigráfico de los suelos o rocas.
- h) Clasificación de suelos AASHTO: Clasificación de suelos donde depende sus características de plasticidad y husos granulométricas; Los ensayos

estándar en suelos, los ensayos especiales en suelos, los ensayos a los testigos de roca.

- i) Falla de un talud: Es el movimiento de material en una pendiente que causa un movimiento relativo hacia abajo y oblicuo para cada masa asociada al talud.
- j) Investigación geotécnica: Conjunto de procedimientos para la producción y análisis de información proveniente de las características del terreno, con el objetivo de optimizar los procesos, diseño de sus fundaciones y estructuras de soporte. Estabilidad y conservación al momento de evaluar las condiciones generales de los taludes y diseño.
- k) Talud: Considerado como un plano inclinado de suelo o roca con respecto al eje horizontal.
- l) Muestra: Considera en seleccionar una o más muestras que se han representativas en la calidad al promedio de la población; el método de selección de muestras para hallar una población para la presente tesis.
- m) Factores de seguridad: Considerados como el factor más importante para el diseño es que las tensiones provocadas por la estructura o edificación sean menores que las tensiones permisibles en el suelo durante efecto de carga de trabajo. El diseño y proceso geotécnico utiliza un factor global de seguridad ello genera incertidumbres que están directamente involucradas en el proceso de diseño, ya sea la resistencia de los geomateriales o por defecto las cargas sometidas.
- n) Suelo: Término general para los materiales de forma suprayacente al macizo rocoso, son extraídos mediante métodos convencionales. Para identificar la sobrecarga, conviene denominar como suelo. La meteorización física y química de las rocas son características de partículas no sólidas, sedimentos no compactos. Los materiales con baja resistencia al corte se encuentran en suelos rocosos.

- o) Estabilidad: El estado y condición de la estructura, está sometido a cargas sostenidas sin causar deformación o movimiento significativo,
- p) Estrato: Los estratos viene hacer cuerpo tabular de roca sedimentaria, que, sin considerar la litología o composición mineralógica. Este término es considerado por niveles con una frecuencia de 1 cm de espesor.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La evaluación de las características geotécnicas del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. permitirá la construcción del recrecimiento en el sector Norte de la Relavera Huachuacaja.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. Las características geotécnicas de los diques R4 influye en la construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja.
- b. Las características geológicas de los diques R4 influyen en la construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

La evaluación geotécnica del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m.

2.5.2. Variable dependiente

Construcción del recrecimiento en el sector Norte de la Relavera Huachuacaja.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Cuadro 5. Variables e indicadores

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADOR
Variable independiente: Evaluación geotécnica del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m.	Serie de características físicas y mecánicas que permiten un análisis de estabilidad. Se medirá mediante ensayos de mecánica de suelos bajo normativa ASTM y análisis geológico de campo, cuyos resultados se compararán con los criterios de diseño del proyecto.	Curva granulométrica (% grava, arena, finos) - Contenido de humedad natural (%) Resultados Lefranc y Lugeon
Variable dependiente: Construcción del recrecimiento en el sector Norte de la Relavera Huachuacaja	Proceso de construcción por recrecimiento Se evaluará verificando si los parámetros geotécnicos cumplen con los valores exigidos para garantizar la factibilidad constructiva y la estabilidad del recrecimiento.	Estabilidad del dique - Cumplimiento de parámetros de diseño (altura proyectada 4217 m.s.n.m., ancho de coronamiento, talud 2H:1V) - Cumplimiento de especificaciones de materiales (Tipo A, B, E)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	TIPO DE INVESTIGACIÓN	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿En qué medida la evaluación geotécnica influirá para construcción del recrecimiento del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja?	Evaluar las características geotécnicas para construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja	La evaluación de las características geotécnicas del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. permitirá la construcción del recrecimiento en el sector Norte de la Relavera Huachuacaja.	El tipo de Investigación correspondiente es la investigación aplicada, cuya finalidad es utilizar la información obtenida para enfatizar el interés de la aplicación y así desarrollar una solución a la situación actual que se desea resolver.	El nivel correspondiente es la investigación explicativa, que se relaciona con la investigación de causa-efecto, donde explica el origen del fenómeno y responde a la pregunta; ¿por qué?	Población: La población está representada en el sector norte de la Relavera Huachuacaja. Muestra: La muestra esta representada por el Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m.
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
¿En qué medida la característica geológica influirá para construcción del recrecimiento del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja?	Determinar las características geológicas para construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja	Las características geotécnicas de los diques R4 influye en la construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja.	Variable independiente: Evaluación geotécnica del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m.	El método de investigación correspondiente es un método analítico y deductivo. El método analítico analiza por medio de la investigación por separado. En tanto el método deductivo se enfoca en obtener conclusiones generales para obtener explicaciones específicas.	El diseño de investigación tiene una disposición cuantitativa, no experimental, siendo un tipo de correlación y comprende el recopilar dos o más conjuntos de datos para determinar el nivel de correlación directa mediante la relación de una variable (O1) y una variable (O2) que son independientes entre sí.
¿En qué grado la característica geotécnica influirá para construcción del recrecimiento del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de	Determinar las características geotécnicas para construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m.	Las características geológicas de los diques R4 influyen en la construcción de recrecimiento en la presa de relaves Huachuacaja.	Variable dependiente: Construcción del recrecimiento en el sector Norte de la Relavera Huachuacaja.		

la Relavera Huachuacaja?	sector Norte de la Relavera Huachuacaja				
-----------------------------	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

El tipo de Investigación correspondiente es la investigación aplicada, cuya finalidad es utilizar la información obtenida para enfatizar el interés de la aplicación y así desarrollar una solución a la situación actual que se desea resolver.

3.2. Nivel de investigación

3.2.1. Nivel exploratorio

La investigación exploratoria en el recrecimiento de relaves busca establecer una base de conocimiento sobre cómo se pueden utilizar o modificar los relaves para propósitos constructivos, de recuperación de materiales valiosos o de minimización de riesgos ambientales.

3.2.2. Nivel aplicativo

La investigación aplicada sobre recrecimiento de relaves se centra en la implementación práctica de soluciones para aumentar la capacidad de almacenamiento de los depósitos de relaves existentes. Esta investigación se enfoca en el diseño, construcción y gestión de recrecimientos, utilizando metodologías y tecnologías específicas para cada caso, considerando factores como la estabilidad, la seguridad, el impacto ambiental y la eficiencia operativa.

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación correspondiente es un método analítico y deductivo. El método analítico analiza por separado cada elemento de estudio. En tanto el método deductivo se enfoca en obtener conclusiones generales para obtener explicaciones específicas.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación tiene una disposición cuantitativa, no experimental, siendo del tipo de correlación y comprende el recopilar dos o más conjuntos de datos, para determinar el nivel de correlación directa mediante la relación de una variable (O1) y una variable (O2) que son independientes entre sí.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está representada en el sector Norte de la Relavera Huachuacaja.

3.5.2. Muestra

La muestra está representada por el Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Trabajos en Campo

1. Investigación geotécnica de campo mediante el muestreo de sondajes.
2. Investigación geotécnica de campo mediante calicatas.
3. Ensayos de laboratorio de suelos.

3.6.2. Trabajos en gabinete

1. Revisión de la data de la hoja para caracterización Geotécnica
2. Resultados del análisis de estabilidad física
3. Revisión de planos geológicos de superficie a escala 1:500
4. Revisión de planos topográficos de superficie a escala 1:500

3.6.3. Trabajos en software para modelamiento geotécnico

Uso del software SLIDE 2 versión 9.013 de Rocscience (Análisis de equilibrio límite 2D para pendientes).

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La elección, comprobación y fiabilidad de los instrumentos son importantes para realizar la investigación debido que la calidad y validez de los resultados obtenidos dependen principalmente del instrumento de investigación, las cuales se describen a continuación:

- a) Selección: Implica el método más adecuado para medir las variables de la presente tesis. Lo cual es importante considerar la fiabilidad y validez del instrumento, así como la trascendencia para la investigación de la tesis.
- b) Validación: Es el proceso de verificación que cuantifica de manera precisa y confiable las variables. Se realiza un proceso preliminar mediante pruebas piloto, análisis estadísticos y comparaciones con tesis evaluadas y aprobadas.
- c) Confiabilidad: Se refiere a su consistencia y estabilidad al ser cuantificada por una variable a lo largo del tiempo y en diferentes contextos.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos es una parte fundamental en la extracción de información y conocimiento a partir de grandes volúmenes de información. Algunas de las técnicas más comunes utilizadas en este proceso son: Estadístico, comparativo para la elaboración de gráficos por cada variable analizada, para la presentación de resultados.

3.9. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico para la presente tesis, se fundamenta en la aplicación de diversos métodos y técnicas estadísticas; para examinar, interpretar y realizar la presentación de los datos obtenidos. Mediante el proceso

se puede sacar conclusiones fiables basadas en los datos recopilados. Las técnicas para la presente tesis para realización del tratamiento estadístico son descriptivas y exploratorias.

El procesamiento estadístico es importante en todas las fases de la investigación, desde el diseño y la planificación del estudio, la recopilación y el almacenamiento de datos hasta el análisis y la interpretación de los resultados. Esto ayuda a reducir el sesgo y la incertidumbre en la toma de decisiones basada en datos y a comunicar las conclusiones de forma clara y precisa

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La postura moral y ética nos ayuda como tesista a tomar decisiones basándose en principios y valores filosóficos al cual se denomina orientación ético-filosófica.

El propósito de la presente tesis mediante el recrecimiento de Dique R4, es evitar que genere un impacto negativo en el medio ambiente. Esta orientación se logra mediante dos campos de vida, la profesional y la personal.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Ubicación y Accesibilidad

La Unidad Minera se encuentra en el centro poblado de Colquijirca, en el distrito de Tinyahuarco, departamento de Pasco, a 300 km al Norte-Este de la ciudad de Lima, y a 20 km al Sur-Oeste de la ciudad de Cerro de Pasco, a una altitud aproximada de 4 200 a 4 400 m.s.n.m, (Ver Cuadro N° 07).

Cuadro 7. Coordenadas geográficas

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Latitud Sur	10°45'16"
Longitud Oeste	-76°17'46"
Altitud de la mina	4200 a 4400 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), del sector Norte de la Relavera Huachuacaja, según el sistema de coordenadas geográficas World Geodetic System 1984 (WGS 84), siendo las siguientes, (ver cuadro N°08).

Cuadro 8. Coordenada UTM WGS84 ZONA18S

COORDENADAS UTM WGS84 (m)	
NORTE	8 810 257
ESTE	359 214

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 5. Ubicación de la U.M. COLQUIJIRCA



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Topografía y Clima

Topografía. El área de investigación de la presente tesis está definida por un relieve característico de la región puna (jalca), cerros ondulados regularmente erosionados, poca vegetación y material de suelo orgánico considerado como (Top-Soil). Para el recrecimiento del Dique R4, se consideró la topografía hidrológica, siendo los siguientes:

- ✚ Área de la cuenca de aporte para el Dique R41 3,8 km².
- ✚ Área de la cuenca de aporte para el dique R51 3,0 km².
- ✚ Área de captación de los canales laterales1 3,0 km².
- ✚ Área total de la cuenca hidrográfica de influencia1 16,6 km²

Clima. Las condiciones climáticas en el sector Norte de la Relavera Huachuacaja representa un clima frío y seco siendo común de las zonas alto andina, que separa claramente dos estaciones. Las estaciones como el invierno, que comienza en diciembre y termina en marzo, trae consigo mucha lluvia, grandes tormentas, nieve y granizo durante esta temporada. En el período adicional se producen heladas y poca lluvia en la atmósfera, siendo adecuadas para realizar el recrecimiento del Dique R4, las temperaturas máximas y mínimas rondan los 30°C durante el día y los -5°C durante la noche.

4.1.3. Geomorfología sector Norte de la Relavera Huachuacaja

El ambiente superficial sector Norte de la Relavera Huachuacaja, presenta un ambiente glaciar, ubicado en un valle subhorizontal de forma de U (pendiente < 2%), con una anchura de aproximadamente 1000 m, el valle está compuesto por areniscas, conglomerados y las dolomitas se abren hacia ambos flancos del valle. Suprayaciendo los materiales se encuentra los depósitos glaciares, lacustres y suelos bofedales saturados. sector Norte de la Relavera Huachuacaja se lo localiza en la parte Sur del depósito, donde el valle es estrecho y asimétrico, al oeste se encuentra el cerro Lachipana, que tiene una pendiente moderada y está excavado en las dolomías estratificadas del Grupo Pucará. Al lado Este el cerro Marcapunta con una pendiente plana de 10° tiene suelo conformado por material Morrénico soportado por areniscas del Grupo Mitú, limolitas y conglomerados. El suelo superficial en la base de la presa de relaves por suelo orgánico y saturad, sustentado por una mezcla de material lacustre y Morrénico con glaciar fluvial apoyado sobre dolomitas del Grupo Pucará y arenas, limolitas y conglomerados del Grupo Mitú.

4.1.4. Caracterización sector Norte de la Relavera Huachuacaja

La Presa relaves, se encuentra ubicada sector Norte de la Relavera Huachuacaja con una longitud aproximada de 980 metros, según las especificaciones técnicas propuestas en la ingeniería de detalle, según el cuerpo

del dique está constituida por un material de enrocado de protección (Material E) que consta de excavación hasta 1 m o hasta eliminar al suelo orgánico y de baja resistencia. En sectores donde exista una potencia importante de suelo de baja resistencia deberá en una potencia de 1m, considerar la estabilización del suelo con enrocado grueso y espaldón compuestas por materiales de material de relleno masivo (Material tipo A), material de Dren (Material B), material de filtro (Material C), carpeta de rodadura (Material D). La impermeabilización de aguas arriba por geomembrana de HDPE de 1.5 mm. Esta geomembrana se colocará en la superficie del revestimiento ya instalado de geosintético de arcilla en el talud de aguas arriba del Dique R4, con el propósito de mejorar la impermeabilización del talud y GCL.

4.1.5. Geología de la Relavera Huachuacaja

La reseña geológica histórica de Sociedad Minera El Brocal con relación al sector Norte de la Relavera Huachuacaja, se inicia en el periodo Triásico donde se evidencia una serie de eventos de tipo tectónico, volcánico y los yacimientos de minerales controlados por un sistema de fallas longitudinales con dirección Norte-Sur. El sistema de falla longitudinal controla la sedimentación en el periodo Terciario, los complejos de Marcapunta controladas por fallas y estructuras subordinadas con rumbos de NW-SE, E-W y NE-SW, fueron considerados en los mapeos previos a la presente tesis, los rumbos controlan el emplazamiento de mineralización Colquijirca.

Para subterránea Marcapunta Norte, se considera estructuras con rumbo de Suroeste, consideradas por diaclasas y zonas de cizallamiento intersectando en manto de mineralización controlado por Enargita-Pirita.

4.1.6. Criterio de Diseño Relavera Huachuacaja

Los criterios de diseño se consideraron en las especificaciones técnicas con el objetivo de mejorar la infraestructura auxiliar en el Norte siendo el

recrecimiento de la presa R4, mediante la distribución de agua de contacto /aguas no contacto desde la poza R4, se considera los siguientes criterios:

Imagen 6. Vista en planta Dique R4 para contención de agua de no contacto



Fuente: Elaboración propia.

- ✚ La derivación de agua no contacto procedentes de las quebradas Huachuacaja y Andacancha, deberá ser desviada a la poza R4.
- ✚ La reubicación y aumento de la capacidad de la poza R4, para mejorar la recolección de agua de no contacto.
- ✚ Las filtraciones de las aguas de contacto de la presa de relaves R4, se recolectarán en pozas adaptadas y serán bombeados al depósito de relaves de Huachuacaja.
- ✚ El mejoramiento y recrecimiento, se considera la evaluación de la estabilidad de la presa relaves R4.
- ✚ El mínimo borde de la presa R4 será de 1 m., lo que significa la diferencia de altura desde la parte superior de la presa hasta el espejo de agua de la presa Huachuacaja.
- ✚ El diseño de recrecimiento de la presa de relaves sector norte de realizarse según la normativa del MEM.

✚ Las instalaciones durante el proceso constructivo deben ser estables por condiciones sísmicas, considerando que son estructuras temporales con una vida útil inferior a 4 años.

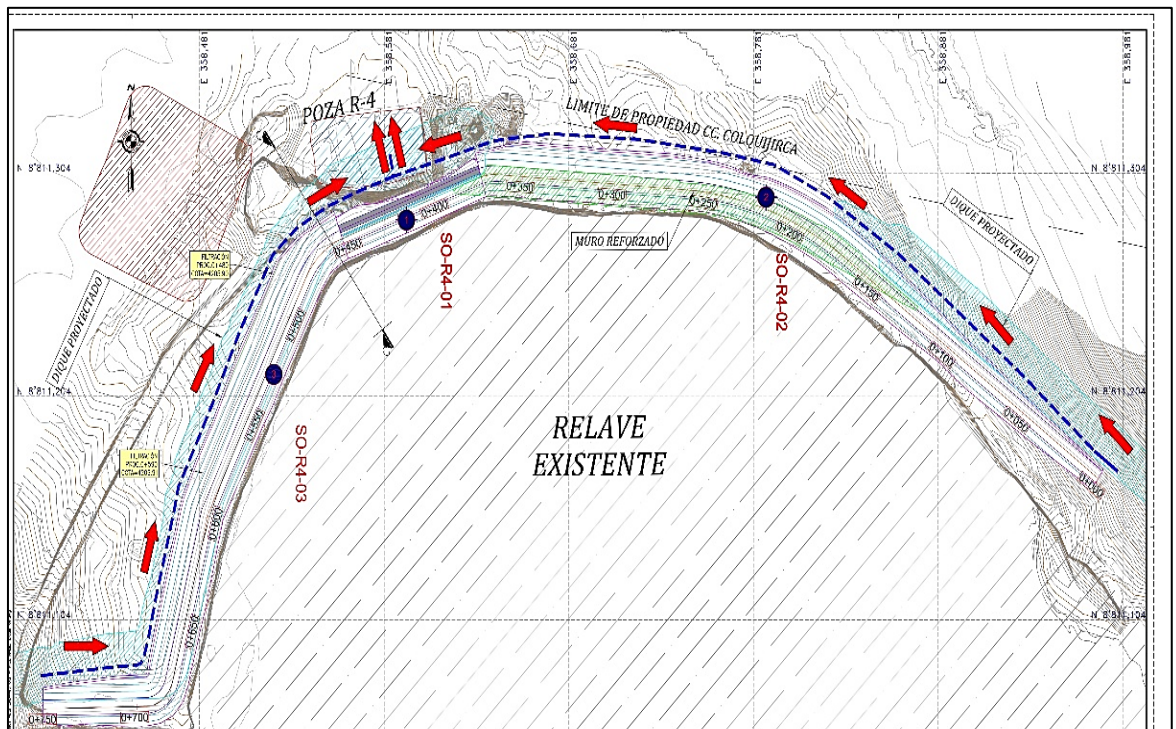
4.1.7. Exploración con sondajes

SVS (2009), se ejecutaron 03 sondajes diamantinos, los cuales se realizaron en la zona de fundación del Dique R4. La profundidad total de la perforación fue de 120 m separados cada 40 m cada uno de los sondajes.

Empresa ESONDI (2019), se ejecutaron dos perforaciones en el Dique R4, con las profundidades alcanzadas de 22 m y 20 respectivamente se logró extraer las muestras con tubería Shelby, para los ensayos de penetración estándar (SPT y LPT) y ensayos de permeabilidad In Situ.

Lara Consulting (2019), se ejecutaron 03 sondajes diamantinos analiza la perforación del Dique R4, menciona la presencia de gravas arcillosas y limosas (GC, GM), arcillas arenosas (CL, CH), limos arenosos (ML), siendo los espesores desde 3,7 hasta 10.9 m. Subyacente al estrato se encontró material rocoso, de arenisca limonita perteneciente al grupo MITU, con una profundidad entre 5.0 m hasta 10 m.

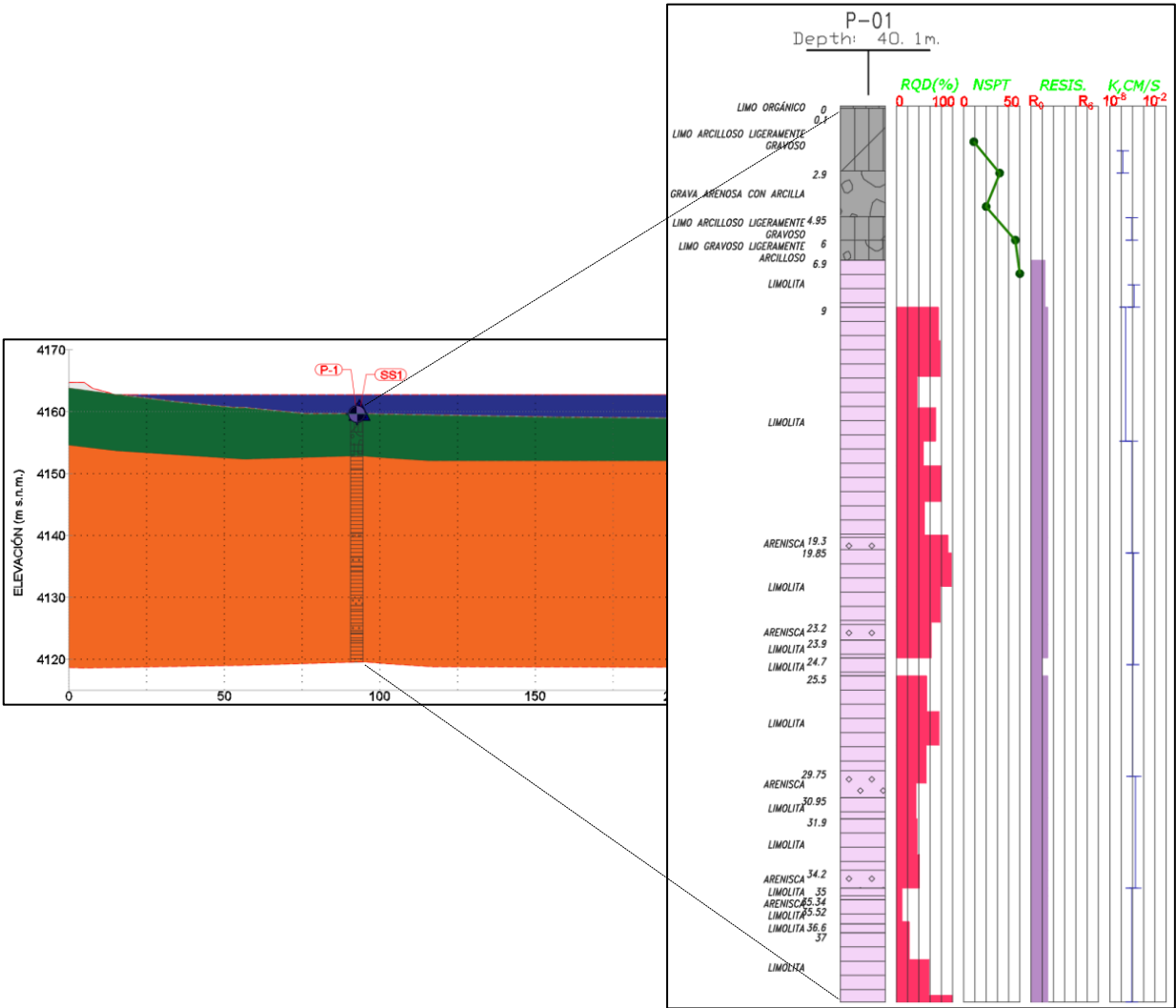
Imagen 7. Ubicación vista en planta de sondajes (LC 2019) Dique R4



Fuente: Elaboración propia.

SONDAJES SO-R4-XX	COORDENADAS UTM WGS84-18S		PROFUNDIDAD TOTAL (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
	ESTE (m)	NORTE (m)		
SO-R4-01	358 371	8 810 919	40.10	4,210.00
SO-R4-02	358 563	8 810 913	40.00	4,211.00
SO-R4-03	358 207	8 810 856	40.00	4,210.00

Imagen 8. Sección geológica sondaje SO-R4-01 Dique R4



Fuente: Elaboración propia.

4.1.8. Exploración Geotécnica Mediante Calicatas

Lara Consulting, 2021, realizó 14 calicatas en el área del Dique R4 con profundidades que varían entre los 0,6 y 3,3 m, siendo la profundidad promedio de excavación de 2,4 m. Lara Consulting, 2019, ejecutaron 11, calicatas en la presa del Dique R4, siendo las profundidades de 2,0 y 3,5 m, siendo la profundidad promedio de excavación de 3,0 m; con el apoyo de retroexcavadora. SVS, 2009, se ejecutaron 8 calicatas en zona de fundación relaves Dique R4, además del estribo izquierdo del depósito de relaves Huachuacaja.

Imagen 9. Exploración Geotécnica Mediante Calicatas-cresta Dique R4



EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA MEDIANTE CALICATAS				
CÓDIGO	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	DIMENSIÓN
W51-2018-D01-7041	358400	8810921	4211	1.2x3.0 m

Fuente: Elaboración propia.

Material de desmonte de mina, englobado en una matriz de grava limosa de color beige de humedad baja, de compacidad densa. Se observa bolonería mayor a 3" hasta un TM=6" en un porcentaje de 40%, de 8" a 12" en un porcentaje de 10% respecto al material excavado. También se observó bolones de TM=20" en un porcentaje de 5% respecto al material excavado. Al 1,30 metro de profundidad, medidos desde la superficie de la corona del dique, se observa

un pedazo de cable rojo. A partir de los 3,00 m se observan filtraciones, formándose un nivel freático.

Imagen 10. Registro de excavación mediante calicatas-cresta Dique R4

PROF. (m)	MUESTRA N°	NIVEL DE AGUA (m)	HUMEDAD (%)	CONSISTENCIA ¹ O DENSIDAD ² (gr/cm ³)	PLASTICIDAD ³	ENSAYOS ⁴	SUCS	GRÁFICO
0.00								
1.00								
2.00	S/M	N.E.					GM	
3.00								

Material de desmonte de mina, englobado en una matriz de grava limosa de color beige de humedad baja, de compactación densa. Se observa bolonería mayor a 3" hasta un TM=6" en un porcentaje de 40%, de 8" a 12" en un porcentaje de 10% respecto al material excavado. También se observo bolones de TM=20" en un porcentaje de 5% respecto al material excavado. Al 1,30 metros de profundidad, medidos desde la superficie de la corona del dique, se observa un pedazo de cable rojo. A partir de los 3,00 m se observan filtraciones, formandose un nivel freático.

Fuente: Elaboración propia

Imagen 11. Exploración Geotécnica Mediante Calicatas-Bofedal Dique R4

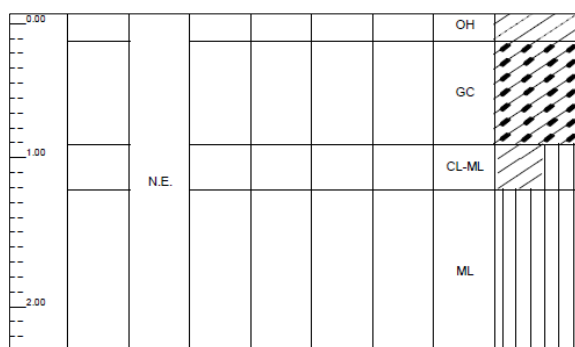


EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA MEDIANTE CALICATAS				
CÓDIGO	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	DIMENSIÓN
W51-2018-D01-7042	358707	8810803	4211	1.5x3.0 m

Fuente: Elaboración propia.

Los materiales de la calicata se describen de la siguiente forma: OH, Material Superficial, bofedal. Material orgánico de color negro, humedad alta y plasticidad alta. Con presencia de raíces y olor fétido. GC, Material de transición. Grava arenosa englobado en una matriz de limos y arcillas, de color naranja intenso, saturado y de compacidad suelta. CL-ML, Arcilla limosa con presencia de gravilla. Con TM=1/2", consistencia firme. ML, Lima arenoso de partículas finas, de consistencia firme a rígida de acuerdo aumenta la profundidad de excavación.

Imagen 12. Registro de excavación mediante calicatas- Bofedal Dique R4



Material Superficial, bofedal. Material orgánico de color negro, humedad alta y plasticidad alta. Con presencia de raíces y olor fétido.
Material de transición. Grava arenosa englobado en una matriz de limos y arcillas, de color naranja intenso, saturado y de compacidad suelta.
Arcilla limosa con presencia de gravilla. Con TM=1/2", consistencia firme.
Lima arenoso de partículas finas, de consistencia firme a rígida de acuerdo aumenta la profundidad de excavación.

Fuente: Elaboración propia

4.1.9. Caracterización geotécnica de los materiales y terreno fundación

Dique R4

Área de Fundación del Dique R4.

La evaluación del suelo de fundación, se realizó mediante la ejecución de calicatas de 2,00 hasta 3,00 metros de profundidad, con el apoyo de equipo retroexcavadora, el cual se determinó la presencia de suelos arcillosos con baja plasticidad, presencia de arenas y limos con una potencia de 0.10 a 0.20 metros de alta plasticidad. Además, la presencia de un estrato areno arcilloso de 0.70 a 0.90 metros de profundidad con presencia de 9 % de gravas y 46 % de finos

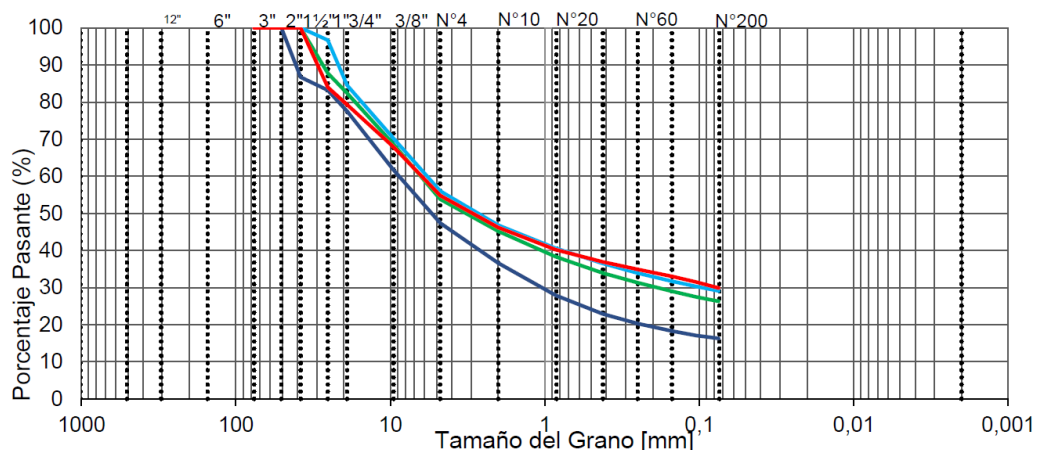
Material Existente en el cuerpo de los Diques R4

El análisis por medio de las calicatas en eje del Dique R4, concluyo que el cuerpo del dique está conformado de los siguientes materiales de grava arcillosa (GC) tamaño mayor a 15", compacta, siendo el contenido de humedad de 2,6% y su gravedad específica de sólidos de 2,7, la matriz presenta plasticidad baja.

El material existente de presa del Dique R4:

- 52,6% a 44% de gravas,
- 24,9% a 31,1% de arenas
- 16,3% a 29,9% de finos.

Imagen 13. El huso de las curvas granulométricas pasante la malla 3"



Fuente: Elaboración propia

4.1.10. Análisis de estabilidad de la presa Dique R4.

El sector Norte de la Relavera Huachuacaja Diques R4, ubicada actualmente a la cota 4 214 m.s.n.m. y será proyectado a la cota de 4 217 m.s.n.m. Las propiedades geométricas del talud aguas arriba y aguas abajo será de 2,0H:1,0V. La altura de recremento será 3 m, el cual tendrá un muro de suelo reforzado contarán con una longitud de 244 m y una altura máxima de 3.5 m., se evidenció en el Dique R4, está conformado por materiales granular limoso y arcilloso, de una compactidad compacta.

Imagen 14. Vista en la planta Dique R4



Fuente: Elaboración propia.

4.1.11. Materiales Geotécnicos

Estructuras proyectadas:

El filtro Dren, material por el cual se conformará el talud aguas abajo y la base de la presa R4, el cual será de 0,50 m de espesor, deberá estar compuesto por grava, arena y el mínimo porcentaje de finos. Las partículas tendrán la peculiaridad de ser, duraderas, sin materia orgánica, sin arcilla, sin materiales blandos con contenido de material inadecuado, con el objetivo de eliminar rápidamente la presión de los poros, el filtro dren debe poseer las siguientes características:

- ✚ Menor a 3 pulgadas.
- ✚ 40 a 60% de grava

- + 40 a 60% de arena.
- + No debe contener finos.

Material de transición, debe contener material Morrénico y poseer baja permeabilidad, el mismo que será utilizado en el talud aguas arriba de la presa Dique R4, deberá ser conformado por grava, arena y arcillas, carente de cualquier material orgánico o material contaminante, el material de transición debe poseer las siguientes características:

- + Tamaño máximo de 1".
- + Índice de plasticidad mayor a 12.
- + 12% a 45% grava.
- + 36% a 38% arena.
- + 17% a 52% fino.

Estructuras existentes:

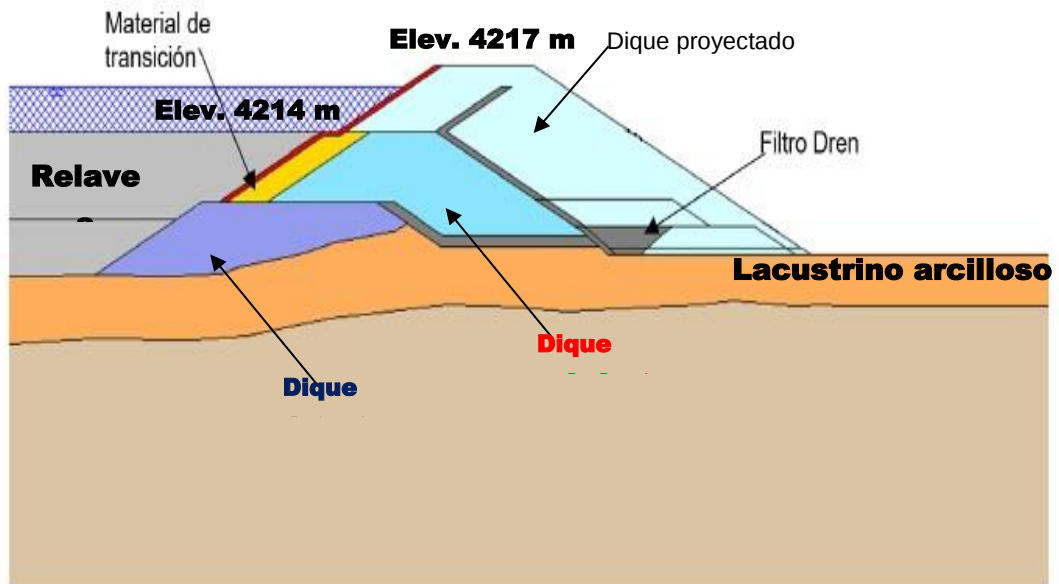
Dique existente, el material está conformado por grava arcillosa o limosa con proporciones de arena (GM, GC), gravas sub-angulares a angulares de tamaño máximo de 11" a 12", 2.5% de matriz limosa/arcillosa y 10.8% de CH de finos, índice de plasticidad media y 2.4 a 2.7 de gravedad específica.

Fundación:

Lacustrino arcilloso, constituido por sedimentos arcillosos con potencia de 6 a 8 metros, subyaciendo a una profundidad de 20 metros el basamento rocoso por el Grupo Mitú (Arenisca).

- + Promedio de 18% de contenido de humedad%.
- + Promedio de 35% de límite líquido.
- + Promedio de 18% de índice plástico.
- + Promedio de 9% de grava.
- + Promedio de 23% de arena.
- + Promedio de 68% de finos.

Imagen 15. Caracterización geotécnica Dique R4



Fuente: Elaboración propia

4.1.12. Resultados del análisis de estabilidad física.

Criterios de Diseño.

Para criterios de diseño para la presente tesis de estabilidad aguas abajo y aguas arriba, mediante la evaluación de la estabilidad física, se consideró los siguientes factores de seguridad mínimos, (Ver Cuadro N°09).

- ✚ Factor de seguridad mínimo en estática será igual a 1,5.
- ✚ Factor de seguridad mínimo en pseudo-estática será igual a 1.

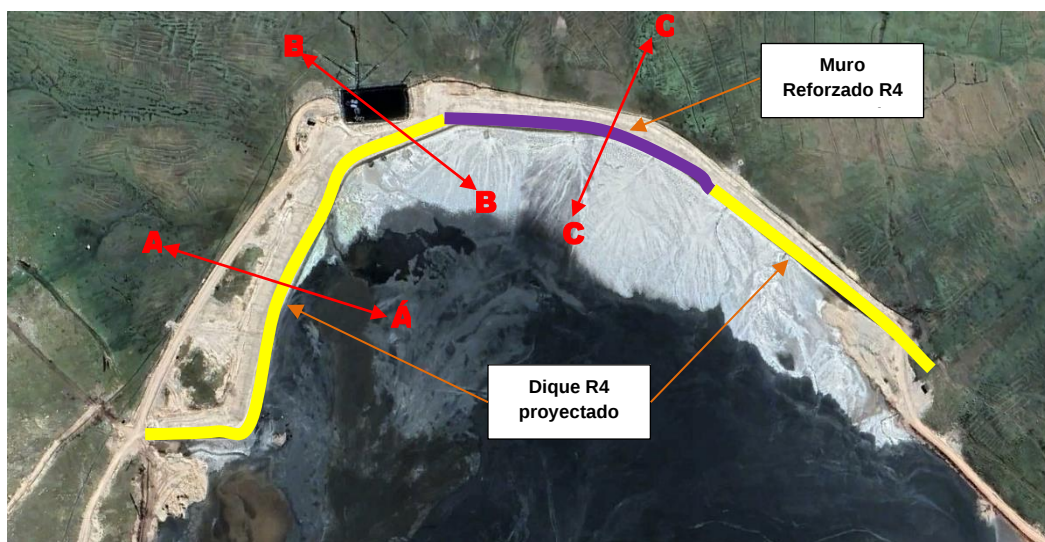
El cuadro de análisis de estabilidad del Dique R4 a la cota 4 217 m.s.n.m., para el proyectado dique, el F.S. son mayores a los requeridos por el MEM.

Cuadro 9. Análisis de estabilidad física Dique R4

Dique	Sección	Condición	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo estatico
R4	A-Á	Proyectado Dique	2.58	1.83
	B-B´	Proyectado Dique	2.1	1.56
	C-C´	Muro Reforzado	2.75	1.99

Fuente: Elaboración propia

Imagen 16. Secciones A-A'/ B-B'/C-C' para el análisis de estabilidad física



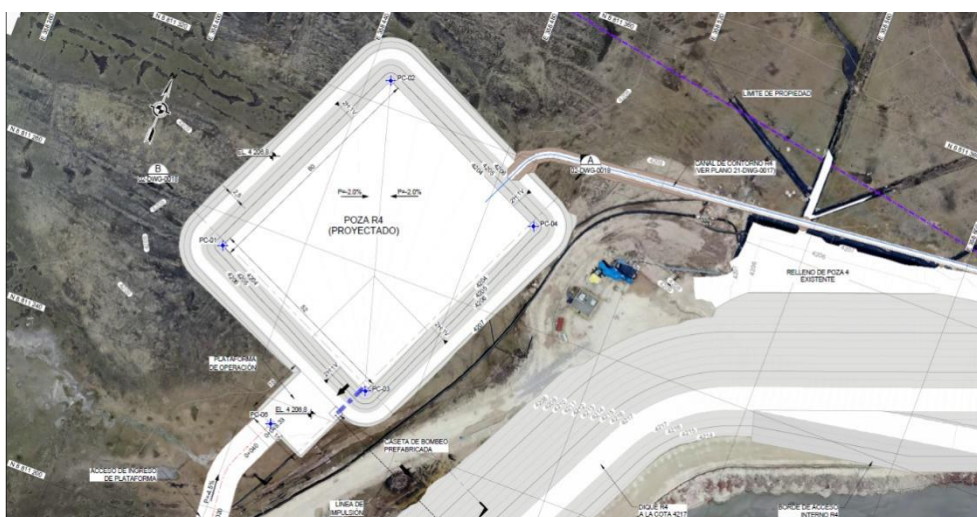
Fuente: Elaboración propia

4.1.13. Sistema de Manejo de Filtraciones en sector del Dique R4.

Caracterizar el manejo de aguas de No Contacto

Para caracterizar el manejo de aguas de no contacto del sector norte de la presa R4, se propone el monitoreo y manejo de aguas pluviales en la zona de interés. Esta escorrentía es captada mediante un canal que recoge y transporta la escorrentía a una nueva poza R4, que está diseñado para contener 7.000 m³ de agua de no contacto.

Imagen 17. Manejo de aguas de no contacto Poza R4 proyectada



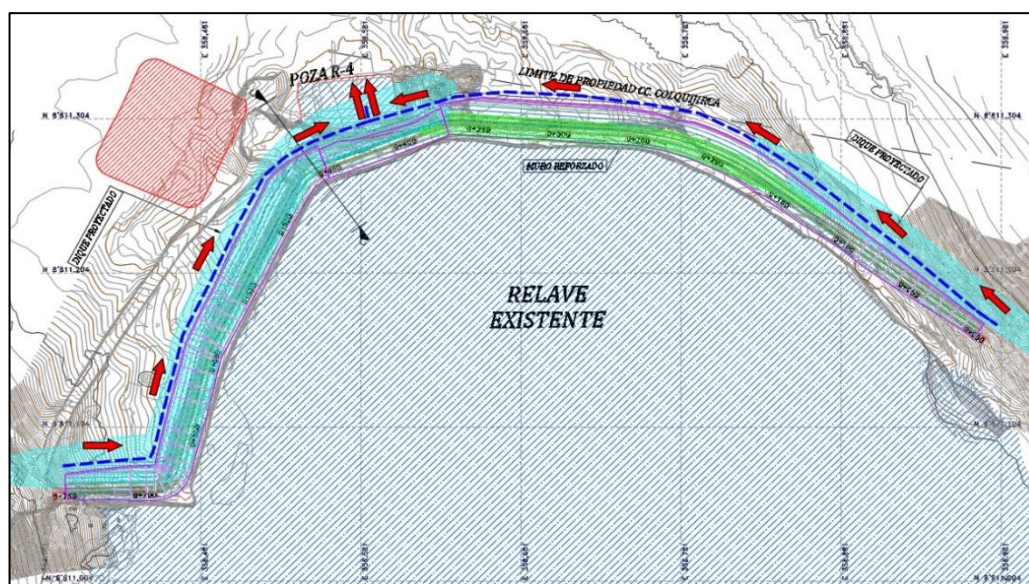
Fuente: Elaboración propia

Inicialmente estaba considerado un canal de hormigón ciclópeo de sección rectangular, con dimensiones de altura de 0,60 m y un ancho de 0,70 m. por temas de costos se realizó a una sección trapezoidal revestido por geomembrana de HDPE 1.5 mm con un pendiente norte del canal menor a 0,5% y de máximo del 1%.

Caracterizar el manejo de aguas de Contacto

Para contener las aguas de contacto de las filtraciones de la Relavera R4, se propone construir un sistema de drenaje francés alrededor de todo el perímetro del dique, de manera que el dren francés capture cualquier lixiviado generado por dicha presa. Este sistema de dren francés tiene una sección trapezoidal y consta de 2 tramos. Estas dos secciones se fusionan en una rama principal siendo drenados hacia la "caja de descarga" por medio de una tubería sólida de HDPE de 8" hacia el "poza colectora de derrames".

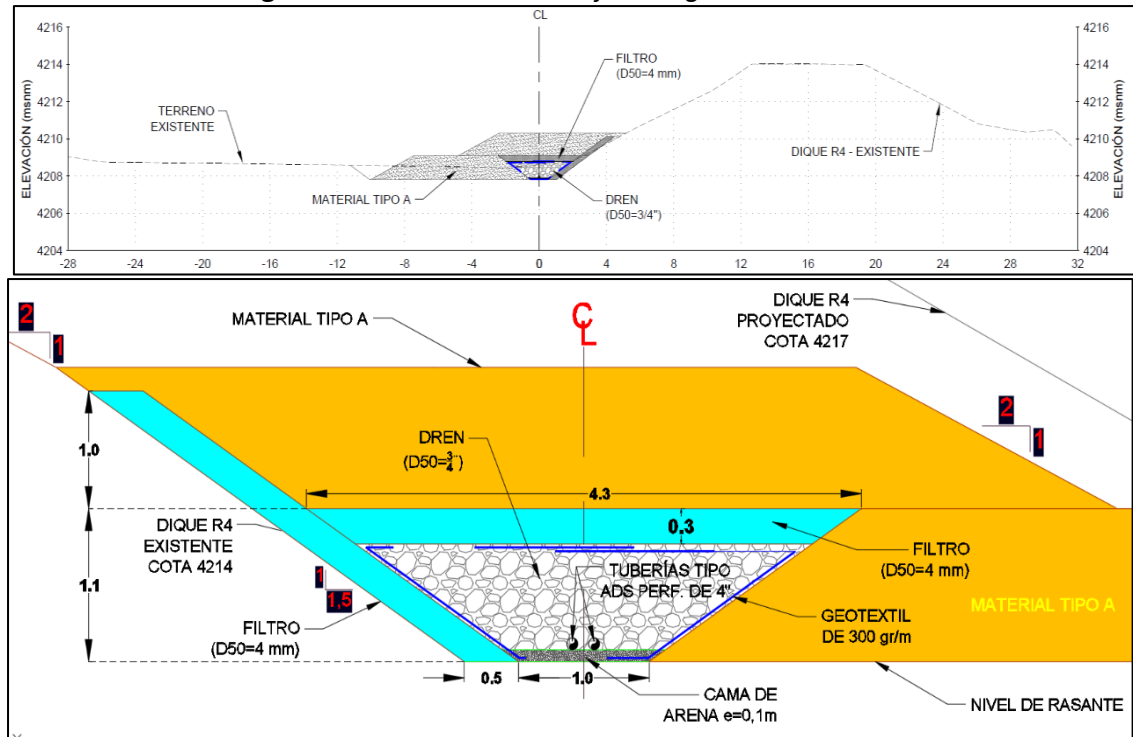
Imagen 18. Sistema de Sub-drenaje aguas de no contacto



Fuente: Elaboración propia

Se debe conformar una plataforma en el pie del talud aguas abajo con una pendiente del 2% para permitir una rápida evacuación de las aguas de no contacto. En el interior del cuerpo de talud se forma un sistema de drenaje, que permite la evacuación de posibles filtraciones hacia la poza.

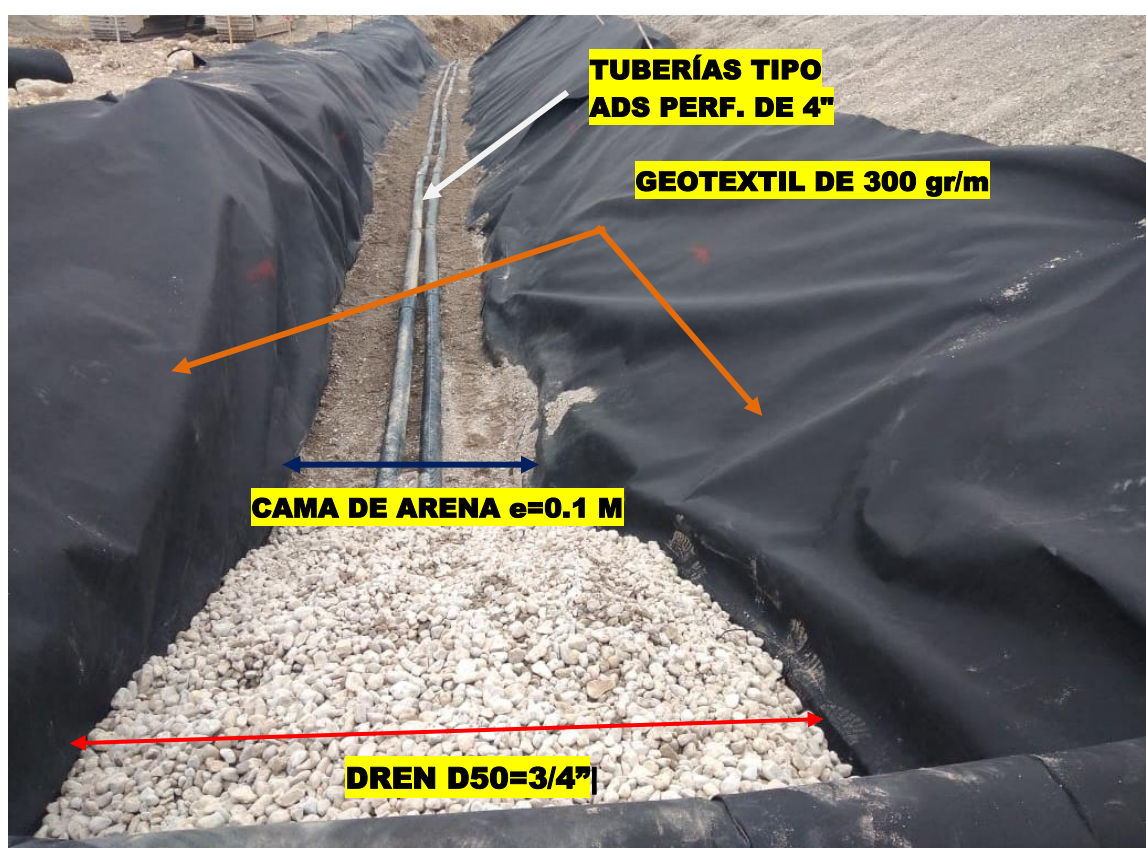
Imagen 19. Sección de manejo de aguas de no contacto



Fuente: Elaboración propia

Para el manejo de aguas de contacto se realiza mediante la colocación de una pantalla de material tipo Filtro $D_{50}=4$ mm al talud del Dique R4 existente, posterior se realiza la excavación a sección trapezoidal a una altura promedio de 1.1 metros, siendo impermeabilizada por medio de un entamulado con geotextil 300gr/m, en la base se coloca una cama de arena de $e=0.1$ metros y la parte superior se coloca 2 tuberías del tipo ADS perforadas de 4" a un pendiente de 1.0% para ser relleno con material tipo dren $D_{50}=3/4$ ", se culmina con una capa de material tipo Filtro $D_{50}=4$ mm de $e=0.30$ m, en las siguientes fotografías se puede visualizar el proceso constructivo del sistema de sub-drenaje.

Imagen 20. Instalación del sub-drenaje aguas de contacto



Fuente: Elaboración propia

Imagen 21. Vista planta del sub-drenaje aguas de contacto



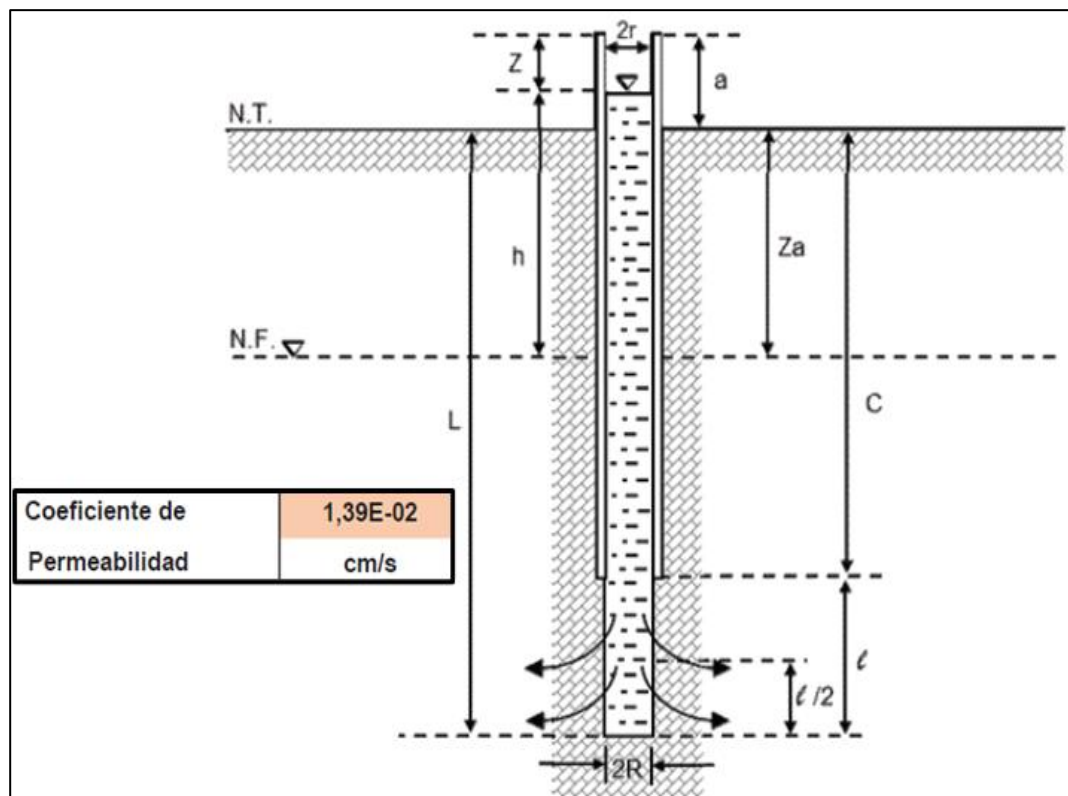
Fuente: Elaboración propia

4.1.14. Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc.

El ensayo tipo Lefranc se considera la medición de la velocidad de filtración de agua, mediante la muestra de suelo compactada en un cilindro de acero inoxidable. La muestra se coloca en el cilindro y mediante una presión constante de agua en el extremo superior de la muestra. Se calcula el tiempo que tarda en filtrarse una cierta cantidad de agua a través de la muestra y se calcula la permeabilidad del suelo con el método de la Ley de Darcy, con ello podemos diseñar la evaluación de la estabilidad de presas de relaves, (Ver Cuadro N° 10).

Mediante los siguientes datos $N=8810912$, $E=358562$, Cota (m.s.n.m.) $=4210.5$, $\text{Inclinación}=90^\circ$, Litología= Arena limosa con grava, Tramo=2.00-3.00 metros.

Imagen 22. Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10. Datos de entrada ensayo tipo Lefranc

Descripción	Unidad	Simbología	Valor
Distancia boca revestimiento- plataforma	m	a	0.1
Profundidad de Nivel Freático	m	Za	1.6
Longitud de tramo revestido	m	C	2
Longitud de perforación	m	L	3
Radio interior del revestimiento	m	r	0.06
Radio de bulbo de ensayo	m	R	0.48
Longitud de bulbo antes ensayo	m	l	1
Longitud de bulbo despues ensayo	m	l	1
Sobrecarga hidraulica	m	h	1.7
Profundidad agua en revestimiento	m	Z	0
Incremento de tiempo	Tiempo	&t	1

Fuente: Elaboración propia

Se calcula el tiempo que tarda en filtrarse una cierta cantidad de agua a través de la muestra y se calcula la permeabilidad del suelo con el método de la Ley de Darcy, siendo coeficiente de permeabilidad saturado $k_s = 1.39 \cdot 10^{-2}$ m/s.

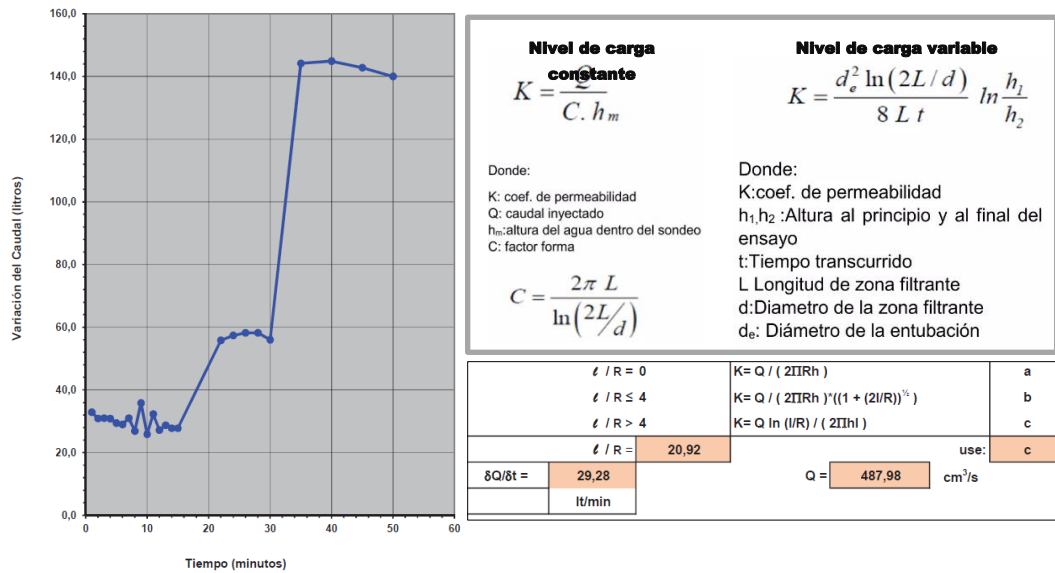
Cuadro 11. Tiempo vs litros tipo Lefranc constante

Tiempo (min)	Q (litros)	δ Q (litros)	t (min)	Q (litros)	δ Q (litros)
0	660,00		22	1305,00	55,8
1	692,90	32,90	24	1362,40	57,4
2	723,80	30,90	26	1420,60	58,2
3	754,80	31,00	28	1478,80	58,2
4	785,60	30,80	30	1534,80	56,0
5	815,00	29,40	35	1679,00	144,2
6	844,00	29,00	40	1823,90	144,9
7	875,00	31,00	45	1966,70	142,8
8	901,90	26,90	50	2106,70	140,0
9	937,70	35,80			
10	963,60	25,90			
11	995,90	32,30			
12	1023,10	27,20			
13	1051,80	28,70			
14	1079,60	27,80			
15	1107,40	27,80			
16	1135,70	28,30			
17	1163,30	27,60			
18	1191,40	28,10			
19	1219,70	28,30			
20	1249,20	29,50			

Fuente: Elaboración propia

La variación del caudal de infiltración en función del tiempo, siendo el coeficiente de permeabilidad saturado $k_s = 1.39 \cdot 10^{-2}$ m/s. Este análisis se procesó por cada tramo, siendo $Q = 478.98 \text{ cm}^3/\text{s}$.

Cuadro 12. La variación del caudal de infiltración en función del tiempo



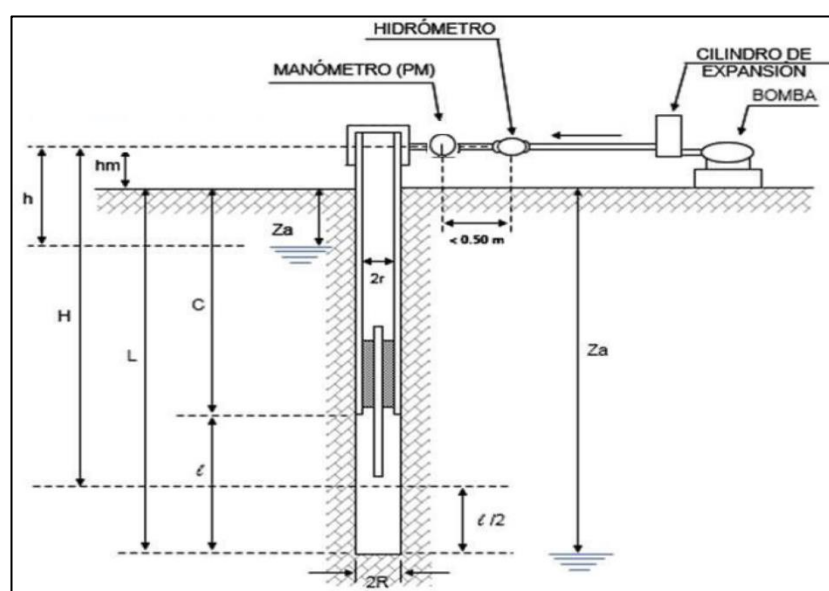
Fuente: Elaboración propia

4.1.15. Ensayo de permeabilidad de agua presión Tipo Lugeon.

Es un ensayo y se realiza con sondeo a las rocas consolidadas para determinar la permeabilidad, consiste en medir Volumen de agua, tiempo, mediante $Q=v/t$ mediante el sondeo longitud (L) por medio de la presión (Ht), (Ver Cuadro N° 14).

Mediante los siguientes datos N=8810913, E=358563, Cota (m.s.n.m.) =4210.51, Inclinación=90°, Litología= Lodolita, Tramo=7.40-12.00 metros.

Imagen 23. Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon.



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 13. Datos de entrada ensayo tipo Lugeon

Descripción	Unidad	Simbología	Valor
Distancia vertical de manómetro al terreno	m	hm	0.65
Distancia del nivel freático al terreno	m	Za	1.25
Columna de agua en el ensayo	m	H	1.9
Profundidad del obturador	m	C	7.4
Profundidad final de tramo de prueba	m	L	12
Inclinación de perforación c/horizontal	°	∞	90
Carga hidráulica	m	h'	1.9
Longitud tramo de ensayo	m	l	4.6
Diámetro de bulbo del ensayo	cm	2R	9.56
Presión manométrico	kg/cm ²	PM	0
Volumen por intervalo de tiempo	L	v	
Volumen total	L	Vt	
Caudal promedio para cada estadio	L/min	q	
Absorción de agua	L/min/m	QI	
Perdida de carga	kg/cm ²	Δp	
Presión efectiva en el punto medio de tramo ensayo	kg/cm ²	PEF	
Unidad Lugeon	QX10/PEF	UL	

Fuente: Elaboración propia

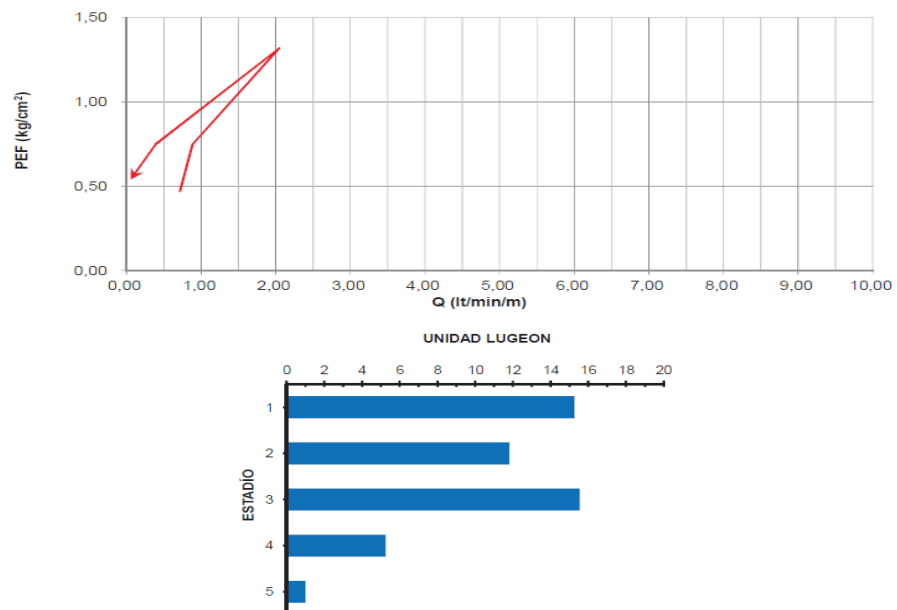
Cuadro 14. Valores para cada estadio tipo Lugeon

	PM (kg/cm ²)		PM (kg/cm ²)		PM (kg/cm ²)		PM (kg/cm ²)		PM (kg/cm ²)	
	0,28		0,56		1,13		0,56		0,35	
TIEMPO EN MINUTOS	LECTURA HIDROM.	VOLUMEN (l)	LECTURA HIDROM.	VOLUMEN (l)	LECTURA HIDROM.	VOLUMEN (l)	LECTURA HIDROM.	VOLUMEN (l)	LECTURA HIDROM.	VOLUMEN (l)
0	200,00		266,00		410,00		507,00		531,50	
1	205,90	5,90	271,20	5,20	421,40	11,40	508,50	1,50	532,40	0,90
2	211,30	5,40	276,80	5,60	432,40	11,00	510,10	1,60	533,15	0,75
3	216,10	4,80	282,20	5,40	442,30	9,90	511,80	1,70	533,70	0,55
4	220,60	4,50	286,50	4,30	452,00	9,70	513,60	1,80	533,80	0,10
5	224,80	4,20	290,00	3,50	461,70	9,70	515,40	1,80	533,85	0,05
6	226,50	1,70	292,50	2,50	471,10	9,40	517,20	1,80	533,90	0,05
7	227,60	1,10	294,70	2,20	480,50	9,40	519,20	2,00	533,95	0,05
8	229,20	1,60	297,10	2,40	489,60	9,10	521,10	1,90	533,95	0,00
9	231,20	2,00	299,60	2,50	498,30	8,70	523,00	1,90	533,95	0,00
10	233,00	1,80	306,80	7,20	504,30	6,00	525,10	2,10	534,00	0,05
Vt		33,00		40,80		94,30		18,10		2,50
q (l/min)		3,30		4,08		9,43		1,81		0,25
Ql (l/min/m)		0,72		0,89		2,05		0,39		0,05
Δp (kg/cm ²)		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00
PEF (kg/cm ²)		0,47		0,75		1,32		0,75		0,54
U L		15,26		11,83		15,53		5,25		1,01

Fuente: Elaboración propia

Un manómetro se coloca en la entrada de boca, mediante contador de agua y una válvula de descarga, y permite medir los caudales inyectados a una presión.

Gráfico 1. Patrón resultados para la selección de unidades de Lugeon



Fuente: Elaboración propia

4.1.16. Elaboración del panel Test material de relleno en recrecimiento de Dique R4.

Para la obtención de la data necesaria mediante el Panel Test y continuar el proceso constructivo del recrecimiento de la presa de relaves zona norte de Huachuacaja se realizará mediante la siguiente forma:

-  **Uso:** Material Tipo A
-  **Obra:** Construcción del recrecimiento del Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja
-  **Cantera:** Cantera de Sacra Familia.
-  **Equipos:** Tractor D6, excavadora, Motoniveladora, Rodillo de 10 TN, Volquete, Estación Total, Cisterna.
-  **Clima:** Nublado/Viento

Objetivo de Panel Test.

-  Determinar el número mínimo de ciclos de compactación para alcanzar la máxima densidad seca.
-  Optimizar los tiempos y los recursos para lograr mayor avance de la obra, garantizando la calidad de la misma.
-  Determinar la máxima densidad seca del material extraído, en relación al máximo asentamiento verificado en campo, la que servirá para realizar el control del grado de compactación de las capas conformadas y cumplir con los parámetros requeridos en las Especificación Técnicas vigentes del proyecto, (Ver Cuadro N° 13).

Procedimiento de ejecución.

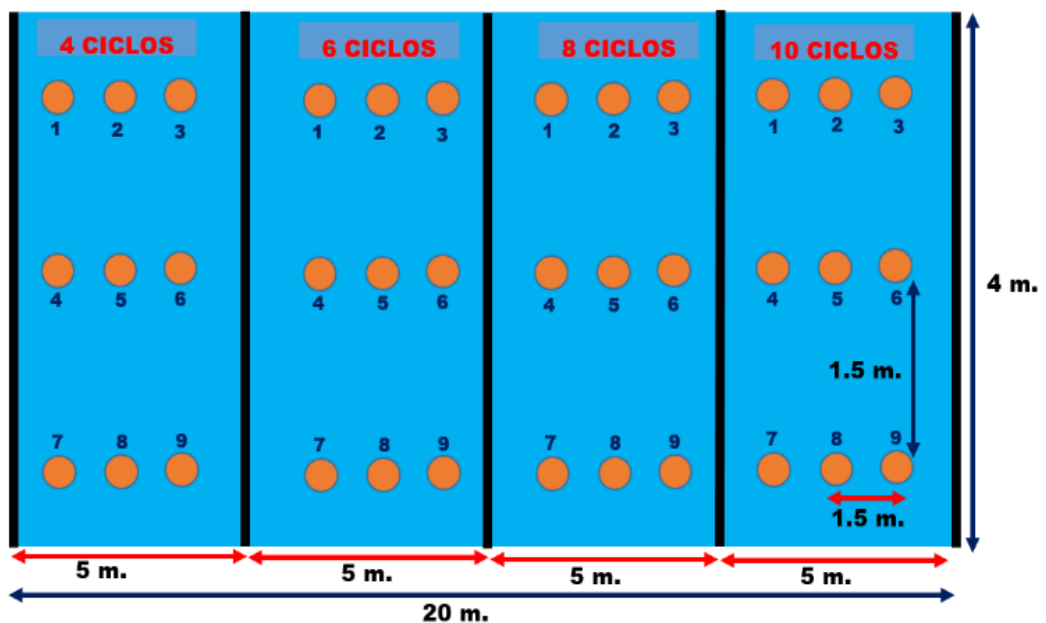
-  Se realizó la conformación de una plataforma (Panel Test N°07) con dimensiones 20.0 m de largo, 4.0 m de ancho y espesor suelto aproximado 0.65 m, verificando el asentamiento vs. el número de ciclos del rodillo, (Ver Cuadro N° 15).
-  Se señalizaron los 09 puntos de cada una de las celdas.

- ✚ El material de relleno provino de la cantera de Huachuacaja Norte.
- ✚ El tramo de prueba se dividió en 04 celdas, de 5.0 m. x 4.0 m.
- ✚ Se procedió a realizar la compactación y controles de asentamiento de la primera celda con 04 ciclos, la segunda celda con 06 ciclos, la tercera celda con 8 ciclos y la tercera celda con 10 ciclos, utilizando rodillo vibratorio liso de 10 toneladas, (Ver Cuadro N° 15).
- ✚ Para cada punto señalado (09) de cada celda se realizaron controles topográficos, verificando los asentamientos.

Levantamiento para controles topográficos según celda.

Se señalaron los 09 puntos de celda para los controles topográficos, verificando los asentamientos.

Imagen 24. Levantamiento para controles topográficos según celda



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15. Controles de asentamiento del Panel Test

CELDA 1 CON 4 CICLOS					
PUNTO	NORTE	ESTE	COTA INICIO	COTA FINAL	DESNIVEL
1	8811210.357	358903.837	4214.144	4214.109	-0.035
2	8811211.125	358904.448	4214.130	4214.095	-0.035
3	8811211.947	358905.018	4214.146	4214.112	-0.034
4	8811212.657	358904.008	4214.153	4214.109	-0.044
5	8811211.844	358903.396	4214.130	4214.083	-0.047
6	8811211.080	358902.794	4214.143	4214.124	-0.019
7	8811211.801	358901.806	4214.093	4214.085	-0.008
8	8811212.582	358902.383	4214.152	4214.103	-0.049
9	8811213.377	358902.995	4214.132	4214.100	-0.032
Promedio					-0.034

CELDA 2 CON 6 CICLOS					
PUNTO	NORTE	ESTE	COTA INICIO	COTA FINAL	DESNIVEL
1	8811213.248	358899.790	4214.153	4214.152	-0.001
2	8811214.035	358900.347	4214.1534	4214.1264	-0.027
3	8811214.859	358900.962	4214.1605	4214.1175	-0.043
4	8811215.574	358899.944	4214.1608	4214.1068	-0.054
5	8811214.790	358899.334	4214.157	4214.097	-0.06
6	8811213.976	358898.761	4214.122	4214.097	-0.025
7	8811214.747	358897.758	4214.1321	4214.1121	-0.02
8	8811215.526	358898.317	4214.1713	4214.1213	-0.05
9	8811216.335	358898.930	4214.164	4214.102	-0.062
Promedio					-0.038

CELDA 3 CON 8 CICLOS					
PUNTO	NORTE	ESTE	COTA INICIO	COTA FINAL	DESNIVEL
1	8811216.161	358895.707	4214.165	4214.129	-0.036
2	8811216.956	358896.356	4214.152	4214.124	-0.028
3	8811217.793	358896.896	4214.162	4214.106	-0.056
4	8811218.522	358895.899	4214.141	4214.100	-0.041
5	8811217.697	358895.350	4214.140	4214.126	-0.014
6	8811216.890	358894.705	4214.141	4214.118	-0.023
7	8811217.651	358893.676	4214.159	4214.127	-0.032
8	8811218.425	358894.317	4214.126	4214.091	-0.035
9	8811219.241	358894.892	4214.151	4214.126	-0.025
Promedio					-0.032

CELDA 4 CON 10 CICLOS					
PUNTO	NORTE	ESTE	COTA INICIO	COTA FINAL	DESNIVEL
1	8811219.074	358891.700	4214.145	4214.125	-0.02
2	8811220.015	358892.240	4214.163	4214.103	-0.06
3	8811220.710	358892.859	4214.1766	4214.1246	-0.052
4	8811221.451	358891.842	4214.1563	4214.1373	-0.019
5	8811220.652	358891.225	4214.1561	4214.1241	-0.032
6	8811219.835	358890.675	4214.1519	4214.1219	-0.03
7	8811220.646	358889.603	4214.163	4214.121	-0.042
8	8811221.495	358890.226	4214.1632	4214.1302	-0.033
9	8811222.165	358890.846	4214.1598	4214.0978	-0.062
Promedio					-0.039

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de contenido de humedad según la norma ASTM D2216.

Para el cálculo de contenido de humedad según la norma ASTM D2216, se ha obtenido los resultados para distintos intervalos de tamaño del material como: % Retenido en el Tamiz de 3", % pasante en el Tamiz de 3" y % retenido en el N°3/8", y % pasante en el Tamiz de 3/8"; a el fin de hallar un contenido de humedad Global a nivel macro, (Ver Cuadro N° 16).

Cuadro 16. Contenido de humedad Global a nivel macro

N° de Celdas	N° de Ciclos	Contenido de Humedad Global (%)
1	4	6.50
2	6	6.70
3	8	6.65
4	10	6.50

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de ensayos de densidad del suelo in situ

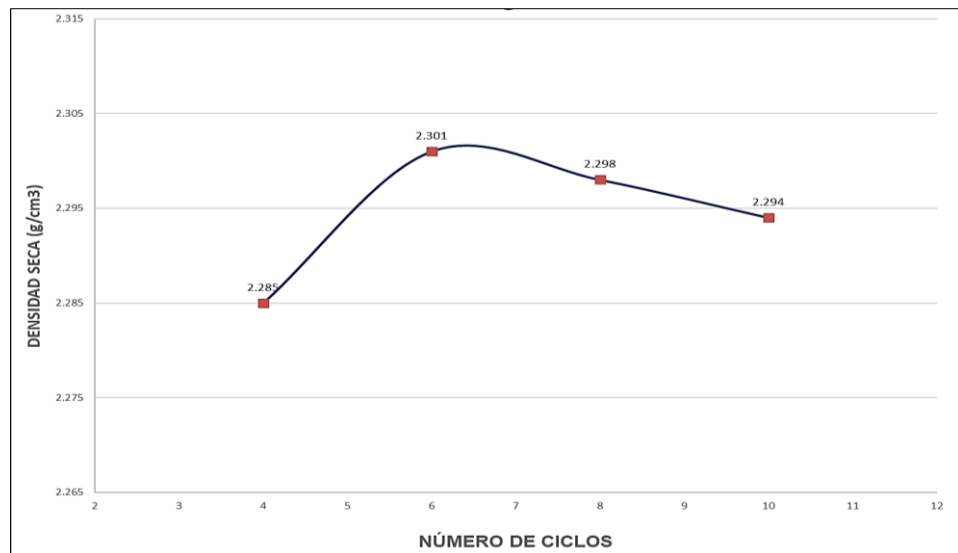
Finalmente, se realizaron los ensayos de densidad del suelo in situ, en cada una de las celdas (Total 04), utilizando el método de reemplazo de agua ASTM - D 5030 se muestra el número de ciclos de rodillo versus las densidades secas obtenidas, (Ver Cuadro N° 17).

Cuadro 17. Cálculo de ensayos de densidad del suelo in situ

N° de Celdas	N° de Ciclos	Densidad Máxima Seca g/cm ³
1	4	2.285
2	6	2.301
3	8	2.298
4	10	2.294

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2. Curva de densidad seca vs ciclos



Fuente: Elaboración propia

Presentación de resultados obtenidos:

La curva granulométrica del material Tipo A, cumple con la banda indicada, colocar el material Tipo A suelto con espesor de hasta 65 cm y compactar el material Tipo A con 6 ciclos de rodillo y una humedad de hasta + 3.0 % COH, considerando que el porcentaje de compactación se acepta hasta el 95%.

Cuadro 18. Resumen de CH, asentamiento y densidad máxima seca

N° de Celdas	N° de Ciclos	Contenido de Humedad (%)	Asentamiento (cm)	Densidad Maxima Seca (g/cm ³)
1.00	4.00	6.50	- 0.034	2.285 g/cm ³
2.00	6.00	6.70	- 0.038	2.301 g/cm ³
3.00	8.00	6.65	0.032	2.298 g/cm ³
4.00	10.00	6.50	- 0.039	2.294 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia

Imagen 25. Procedimiento de ejecución para el Panel Test



1. Traslado de materiales de Huachuacaja Norte ,hacia la plataforma ubicada en el Dique R4.



2. Conformación de la plataforma con la motoniveladora, con un espesor de capa suelta de 65 cm.



3. Controles de asentamientos en los 09 puntos de cada celda, según el número de ciclos.



4. Compactacion con Rodillo de 10 Tn, con un espesor suelto de capa de 0.60 m., en las celdas: 4, 6, 8 y 10 ciclos.



5. Excavación del hoyo para el ensayo de densidad In Situ (Reemplazo de Agua) del anillo de 1.2 m. de diametro y 0.60 m. de profundidad.



6. Ejecución del ensayo de Reemplazo por Agua (ASTM D5030).

Fuente: Elaboración propia

4.1.17. Proceso constructivo material protección y material masivo.

Todos los recursos estarán en óptimas condiciones, y se tomarán las debidas precauciones para su protección de la intemperie.

Equipos

- + Excavadora volvo E 380.
- + Volquetes 20 m3.
- + Rodillos CAT de 10 tn.
- + Motoniveladora 120 M.
- + Tractor de oruga CAT D6.
- + Equipo de laboratorio de suelos.

Mano de Obra

- + Operador de Maquinaria Pesada.
- + Técnicos de laboratorio de suelos.
- + Personal de piso (encofradores, vigías, cuadradores, etc).

Equipo/Herramientas

- + Equipo topográfico
- + Prismas
- + Radios de comunicación y detector de tormentas.

Material de protección tipo B:

La colocación del material tipo B, será colocado como material de protección con un espesor de capa suelta de 30 cm., para ello se utilizarán volquetes, estos deberán transportar el material desde el punto de acopio de la plataforma ubicado en la R5.

Se propone, que el material de tipo B, debe tener las características de un material de baja permeabilidad, porque, tendrá como función ser una barrera que proteja el dique y ser de baja permeabilidad en la cara del talud de aguas arriba.

Como material de baja permeabilidad se ha considerado colocar en la cara del Dique R4 aguas arriba y el pond de relaves. El material consiste por tamaños menores a 1" siendo los finos del 50%, IP mayor a 12 y una gravedad específica mayor de 2,7. La dispersión y evitar problemas de tubificación, se realiza Ensayos de Pinhole, con valores de permeabilidad mínima de 1×10^{-8} m/s.

Cuadro 19. Huso granulométrico del material tipo B

Diametro de la partícula (N° de Tamiz)	% Acumulado que pasa (% en peso)
1" (25.4 mm)	100
0.375" (9.525 mm)	70 - 100
N° 4 (4.76 mm)	56 - 88
N° 10 (2 mm)	40 - 73
N° 20 (0.84 mm)	30 - 65
N° 40 (0.426 mm)	26 - 61
N° 200 (0.074 mm)	17 - 52

Fuente: Elaboración propia

Imagen 26. Habilitación e instalación de geomembrana 1.5 mm protección de Dique



Fuente: Elaboración propia

Imagen 27. Conformación de pantalla de protección al talud existente, tipo B



Fuente: Elaboración propia

Material de mejoramiento tipo E:

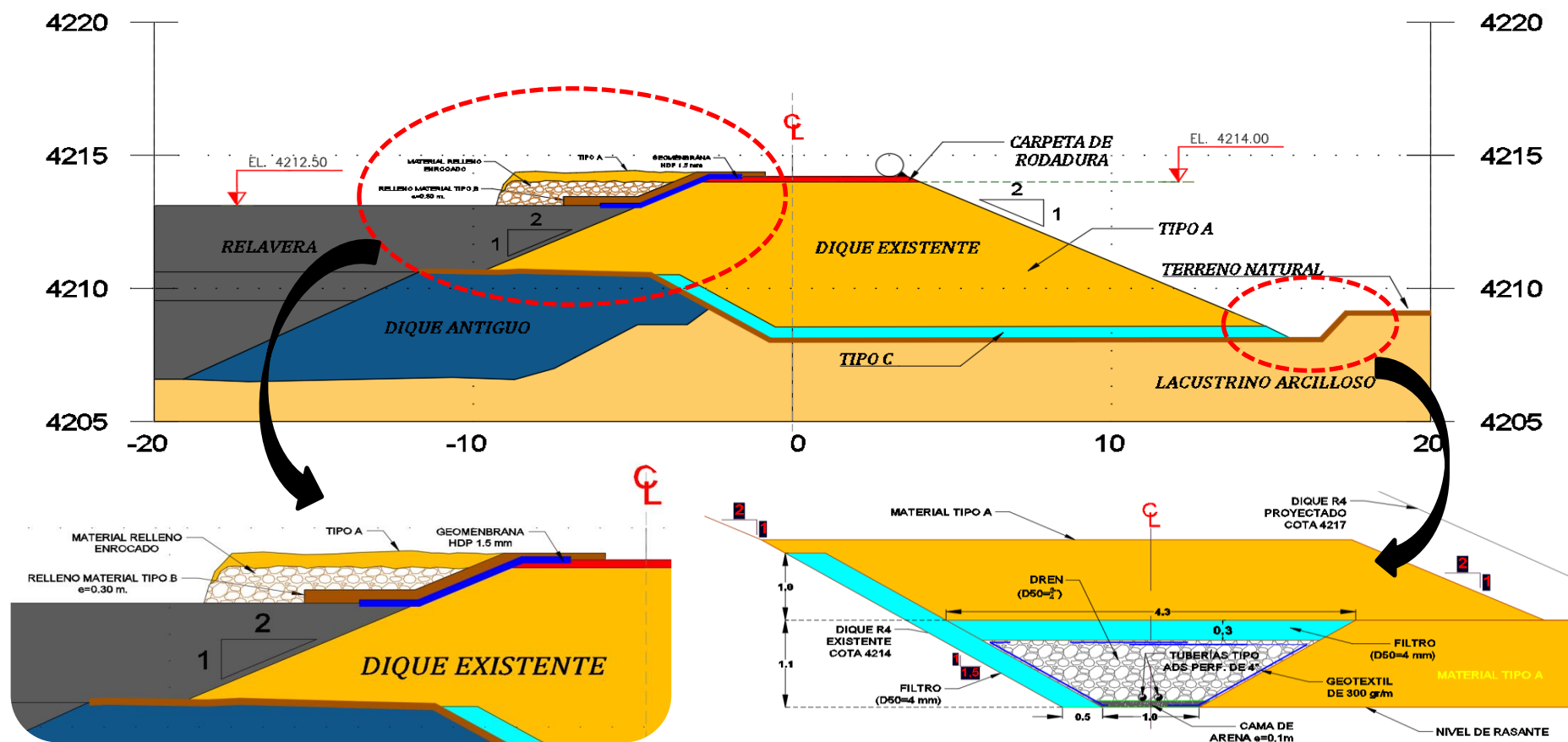
El material de relleno tipo enrocado será dispuesto como mejoramiento para la ampliación 8 metros dentro de la base del pond de relaves. Los bolones serán duros el diámetro debe ser mayor a 20", durables deben ser, sin material orgánico, arcilla, partículas blandas o algún otro material inadecuado el material se proveniente de la cantera de Sacra familia dispuesto por El Brocal. Cabe mencionar que se tiene stock de bloques de rocas calizas mayor a 20" proveniente de botadero mina, ello no cumple con las especificaciones técnicas emitidas por diseñador, se considera Blending con material externos del modo que cumple la función de estabilidad, (Ver Cuadro N° 20).

Cuadro 20. Huso granulométrico del material tipo E

Diámetro de la Partícula (N° de Tamiz)	% Acumulado que Pasa (% en Peso)
20" (508 mm)	100
12" (304,8 mm)	30 - 100
10" (254 mm)	0 - 80
6" (152,4 mm)	0- 30

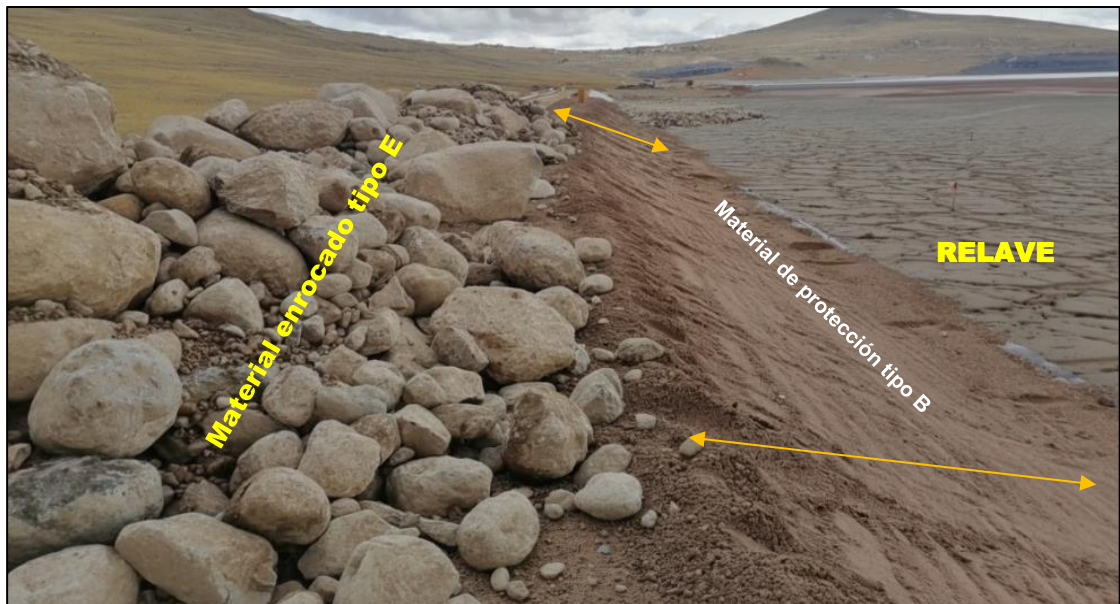
Fuente: Elaboración propia

Imagen 28. Ingeniería detalle del proceso constructivo



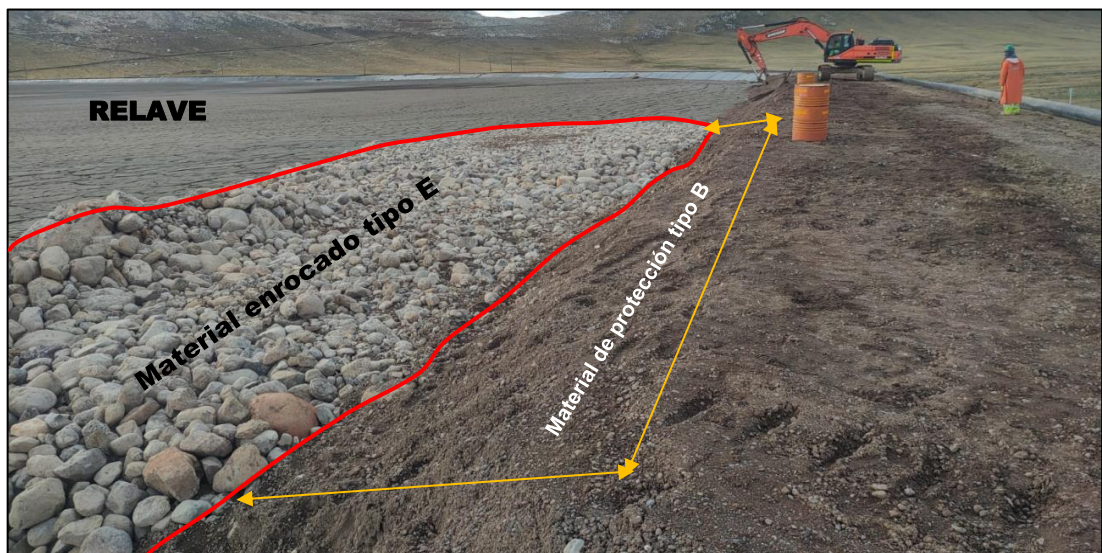
Fuente: Elaboración propia

Imagen 29. Carguío y disposición de material enrocado TIPO E



Fuente: Elaboración propia

Imagen 30. La colocación del material de protección tipo B



Fuente: Elaboración propia

Material de relleno masivo tipo A

Una vez liberado el material tipo E considerado como relleno bolonería, se colocará el material tipo A (material que cumple con el huso granulométrico), dicho material se utilizará como relleno masivo del recremento del Dique R4,

el cual, sería proveniente de la cantera denominado Sacra familia, cantera determinada por El Brocal.

Se realiza el tendido del material utilizando una motoniveladora, debiendo dejar una superficie de material horizontal. Extendido el material, se procede a compactar con el rodillo vibratorio de 10 TN, debiendo realizar 6 según los resultados de prueba de panel test.

Para el controlar los niveles de las capas superiores a compactar se utiliza plantillas topográficas, que corresponde a cada cota de capa en conformación.

El tendido de material se realizará con tractor D6, siendo controlados por los niveles de acuerdo a las plantillas y al espesor de capa suelta.

Se culmina con los ensayos de Análisis Granulométrico, Análisis Contenido de Humedad y Análisis Densidad IN SITU Método Reemplazo de Agua, correspondiente al registro de liberación de la capa de material tipo A, seguido se procederá humedecerla y escarificarla, y poder garantizar la adherencia.

El Material tipo A, consiste en fragmentos durables, resistentes de roca de tamaño máximo 304,8 mm (12"). El espesor de capa deberá ser de 0,6 m y compactado al 95% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor Estándar, el huso granulométrico del material será el indicado en el siguiente cuadro, (Ver Cuadro N° 21).

Cuadro 21. Huso granulométrico del material tipo A

Diámetro de la Partícula (N° de Tamiz)	% Acumulado que Pasa (% en Peso)
12" (304.8 mm)	100
6" (152.4 mm)	75 - 100
3" (76.2 mm)	59 - 100
1" (25,4 mm)	39 - 72
3/4" (19 mm)	33 - 66
N°4 (4,76 mm)	11 - 38
N°10 (2 mm)	5 - 27
N°20 (0,8 mm)	3 - 21
N° 40 (0.4 mm)	3 - 19
N° 200 (0.074mm)	3 - 17

Fuente: Elaboración propia

Imagen 31. Conformación de material tipo A con Excavadora 330



Fuente: Elaboración propia

Imagen 32. Conformación de material tipo A con Bulldozer D8



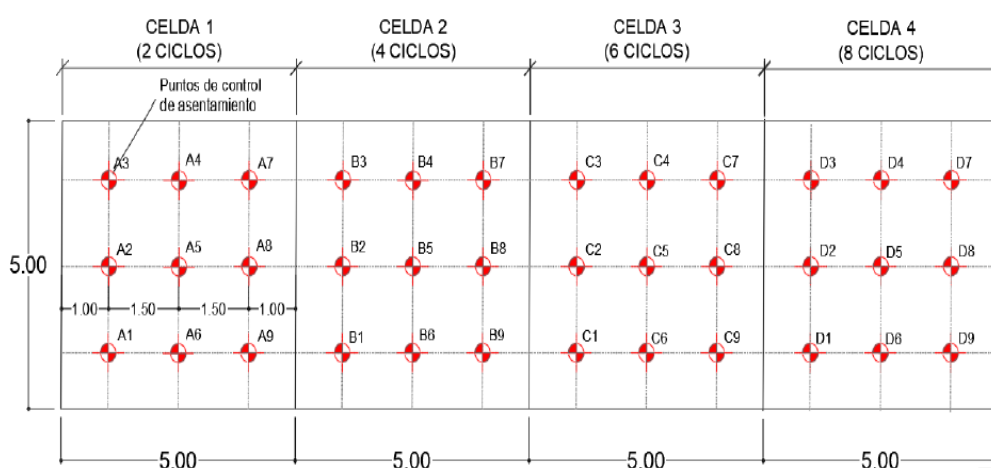
Fuente: Elaboración propia

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.2.1. Ensayo de reemplazo de agua de acuerdo norma ASTM D5030 para la determinación de la Densidad In Situ y características físicas del Panel Test.

Se muestra el trazo de esquematización en terreno vista en planta para el panel test (Tes Fill) del relleno compactado, además de los 09 puntos topográficos ubicados en cada celda para el control de los asentamientos.

Imagen 33. Esquematización de trazo en terreno Panel Test – Tipo A

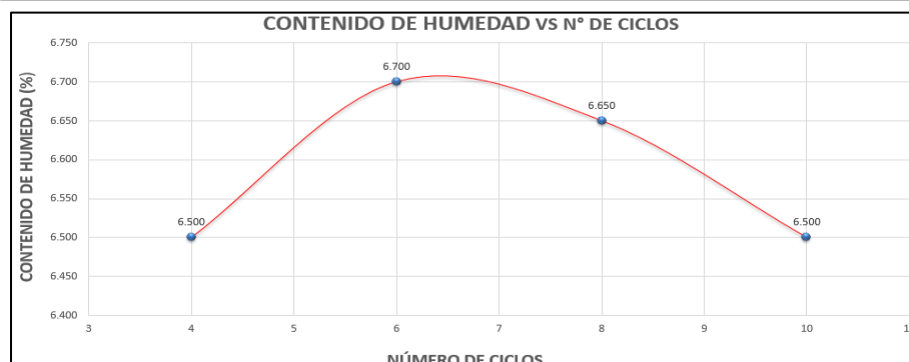


Fuente: Elaboración propia

El asentamiento del material tipo A mediante un rodillo compactador de 10 TN tiene como objetivo aumentar su durabilidad y capacidad de carga. Se utiliza un rodillo compactador para ejercer una presión uniforme sobre el suelo y compactar las partículas del suelo, reduce el aire atrapado y reduce la porosidad, (Ver Gráfico N° 03).

Gráfico 3. Densidad seca (g/cm³) vs número de ciclos

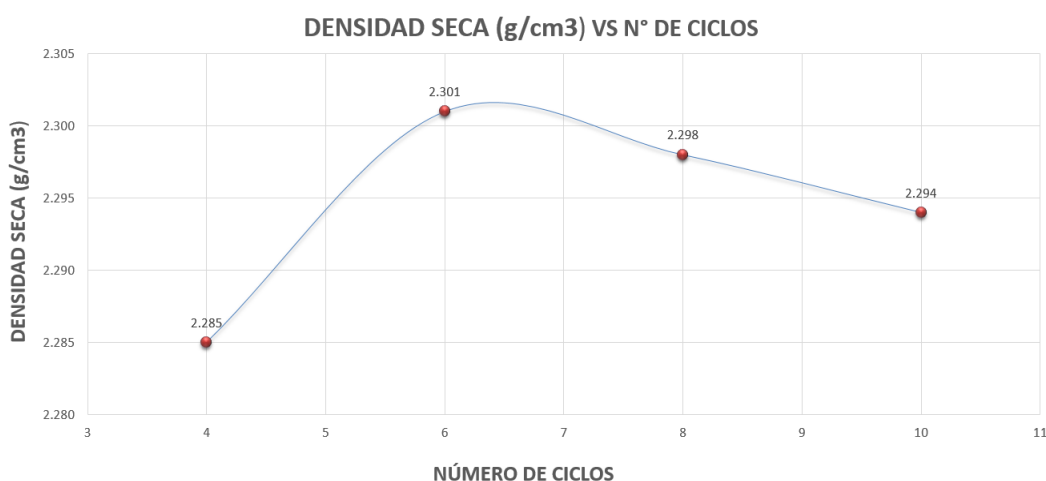
N° de celda	N° de ciclos	Contenido Humedad (%)	Asentamiento promedio (cm)	Densidad máxima seca (g/cm ³)
1	4	6.5	-0.034	2.285
2	6	6.7	-0.038	2.301
3	8	6.65	-0.032	2.298
3	10	6.5	-0.039	2.294



Fuente: Elaboración propia

Se realizó los ensayos de densidad de suelos in situ, a las 04 celdas, mediante el método de reemplazo por agua ASTM D 5030. En el gráfico N°04 se muestra la densidad seca vs el número de ciclos de rodillo.

Gráfico 4. Contenido de humedad (%) vs número



Fuente: Elaboración propia

El análisis granulométrico del material mediante tamizado es un método utilizado para determinar la distribución del tamaño de las partículas en una muestra de suelo mediante un tamiz de un tamaño específico, (Ver Cuadro N° 22).

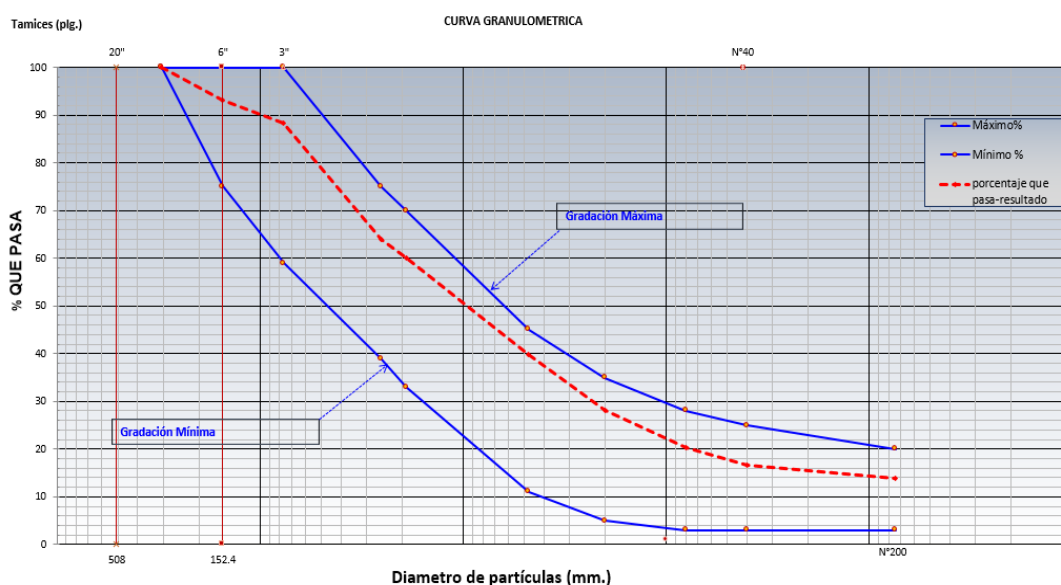
Cuadro 22. Análisis macro granulométrico al panel test reemplazo de agua

Tamaño Tamices	Abertura (mm)	Peso Reten. Parcial (gr.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones Técnicas	
						Mínimo %	Máximo%
12"	304.800	0.0	0.000	0.0	100.0	100.0	100
6"	152.400	30563.5	6.782	6.8	93.2	75.0	100
3"	76.200	22222.3	4.931	11.7	88.3	59	100
1"	25.400	2762.5	24.438	36.15	63.9	39	75
3/4"	19.000	425.7	3.766	39.92	60.1	33	70
N° 4	4.760	2290.5	20.262	60.18	39.8	11	45
N° 10	2.000	278.80	11.684	71.86	28.1	5	35
N° 20	0.800	187.80	7.870	79.73	20.3	3	28
N° 40	0.400	88.80	3.721	83.45	16.6	3	25
N° 200	0.074	66.70	2.795	86.25	13.8	3	20
Platillo		328.1	13.750	100.00	0.0		
Peso Total Humedo		484600.00	Gr.				
Peso Total Seco		450678.00	Gr.				
Peso del Suelo Seco pasante de la malla 3"		9980.50	Gr.				
Peso del Suelo Seco pasante de la malla N°4		950.20	Gr.				

Fuente: Elaboración propias

La interpretación de la curva granulométrica permite calcular los parámetros como el diámetro medio, la desviación estándar y la uniformidad del suelo en función de la curva granulométrica.

Gráfico 5. Curva granulométrica ensayada en el test de reemplazo de agua



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 23. Ensayo por reemplazo de agua, mediante el material húmedo extraído de la calicata es de 7%, siendo la profundidad de prueba es de 0.60 m, material proveniente de Sacrafamilia, la densidad seca máxima sería 2.279 /cm³.

DATOS DE ENSAYO	
Ubicación del ensayo	Presa de relave Huachuacaja R4
N° Capa	1
Cota superior compactada (msnm)	4213.5
Diametro de anillo (m)	1.20 m
Profundidad de la Prueba (m)	0.60 m
Equipos para coformación del material	Tractor D6, excavadora, Motoriveladora, Rodillo de 10 Tn, Volquete, Estación Total, Cisterna.
N° de pasadas (Ciclos) de rodillo de 10 tn	06 Ciclos

DATOS DE CAMPO Y ENSAYO	
Cantidad de agua utilizada para llenar el anillo	32.8
Cantidad de agua utilizada para llenar el anillo + calicata	231.6
Cantidad de agua para llenar la calicata (2 - 1)	198.8
Peso Total del material humedo extraido de calicata	484.6

DATOS DE CAMPO Y ENSAYO	
N° de registro donde se calculo el CHB	ESSA-RD4-PT1
Contenido de Humedad Global	7.00%

CALCULOS	
Volumen de calicata	198.8
densidad humeda	2.438
Densidad seca	2.279

LEYENDA DE RESULTADO: C: CONFORMIDAD NC: NO CONFORME N/A: NO APLICA	
---	--

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 24. Ensayo de contenido de humedad al panel test

Humedad de material que Retiene el Tamiz de 3"			
RECIPIENTE N°		8	17
Peso de recipiente mas peso de suelo humedo	gr	5565.6	5666.2
peso de recipiente mas peso de suelo seco	gr	5322.3	5437.8
Peso de recipiente	gr		
peso de contenido de agua	gr	243.3	228.4
Peso de suelo seco	gr	5322.3	5437.8
Contenido de Humedad	%	4.6	4.2
Granulometría material que retiene el tamiz de 3"		11.6%	
PROMEDIO DE HUMEDAD	4.4%		

Humedad de material que Pasa el Tamiz de 3" y Retiene el N°4			
N° RECIPIENTE		25	55
Peso de recipiente mas peso de suelo humedo	gr	4121.2	4444.5
peso de recipiente mas peso de suelo seco	gr	3889.8	4191.0
Peso de recipiente	gr		
peso de contenido de agua	gr	231.4	253.5
Peso de suelo seco	gr	3889.8	4191.0
Contenido de Humedad	%	5.9	6.0
Granulometría material que pasa 3" y retiene el tamiz N° 4		48.4%	
PROMEDIO DE HUMEDAD	6.0%		

Humedad de material que Pasa el Tamiz N° 4			
N° RECIPIENTE		108	59
Peso de recipiente mas peso de suelo humedo	gr	4010.2	4223.2
peso de recipiente mas peso de suelo seco	gr	3677.2	3885.5
Peso de recipiente	gr		
peso de contenido de agua	gr	333.0	337.7
Peso de suelo seco	gr	3677.2	3885.5
Contenido de Humedad	%	9.1	8.7
Granulometría material que pasa el tamiz N° 4		40.0%	
PROMEDIO DE HUMEDAD	8.9%		

CONTENIDO DE HUMEDAD GLOBAL:		7.0%
-------------------------------------	--	-------------

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de humedad de material que retiene el tamiz de 3" con 4.4 % la humedad de material que pasa de 3" y retiene el N°04 con 6.0 %, la humedad de material que pasa tamiz N° 04 con 8.9%, por lo cual el contenido humedad global será de 7.0%.

La determinación del límite líquido, plástico e índice de plasticidad - límites de Atterberg Norma ASTM - D4318, en tanto el límite líquido de 25.5 y el límite plástico de 16.1, siendo el índice de plasticidad de 10.2.

Cuadro 25. Ensayo de límites de Atterberg al panel test

LÍMITE LÍQUIDO				
Nº TARRO		27	58	8
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	g	33.50	31.20	32.90
PESO TARRO + SUELO SECO	g	29.31	27.40	28.75
PESO DE AGUA	g	4.19	3.80	4.15
PESO DEL TARRO	g	11.50	12.50	13.70
PESO DEL SUELO SECO	g	17.8	14.9	15.1
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	23.5	25.5	25.5
NUMERO DE GOLPES		30	25	20

LÍMITE PLÁSTICO				
Nº TARRO		54	108	24
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	g	15.06	14.90	15.23
PESO TARRO + SUELO SECO	g	14.58	14.28	14.88
PESO DE AGUA	g	0.48	0.62	0.35
PESO DEL TARRO	g	11.50	10.80	12.54
PESO DEL SUELO SECO	g	3.1	3.5	2.3
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	15.6	17.8	15.0
				16.1

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	26.2
LÍMITE PLÁSTICO	16.0
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	10.2

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Características físicas del material de relleno masivo Tipo A

Para determinar el huso granulométrico y contenido de humedad natural del material de relleno Tipo A se tuvo en cuenta 03 muestras seleccionadas, con un volumen aprox. de entre 2 a 3 m³ por muestra. Según los planos emitidos por el expediente técnico se deberá excavar una capa de material inadecuado

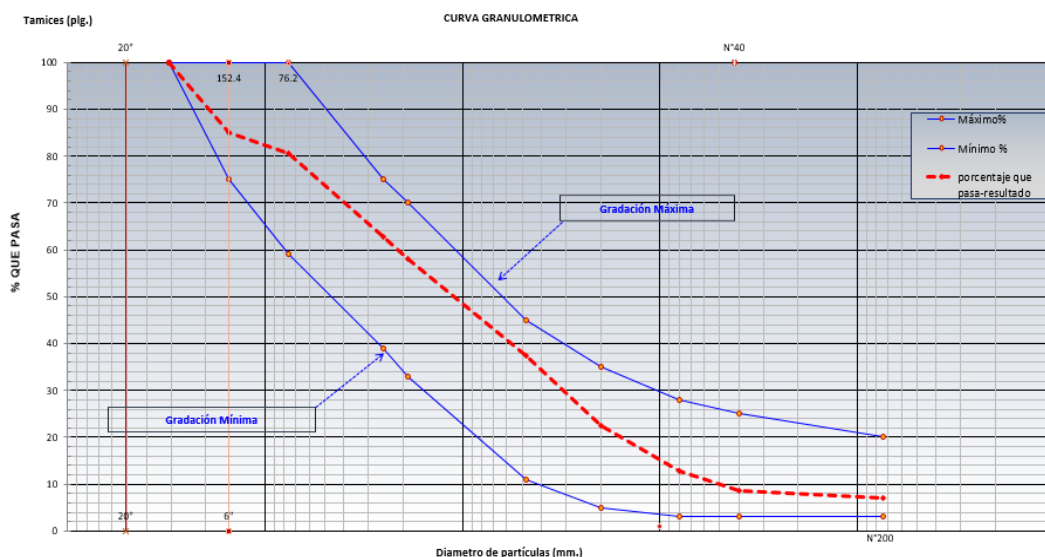
para mejoramiento de fundación y/o obtener un macizo rocoso o material adecuado. La presa Dique R4 está formada por dos materiales compactados, el primero de ellos es el denominado material tipo A, que está formado por menos de un 10% de grava de arena fina (GS) compactada en capas de 65 cm de espesor de material suelto hasta alcanzar el 95%, la densidad seca máxima será mediante la prueba Proctor modificada. Otro material tipo B consiste en grava arcillosa (GC) con un contenido de finos inferior al 22%, como material de protección al dique existente capa de 30 cm de espesor.

Cuadro 26. Análisis macro granulométrico al material tipo A

Tamaño Tamices	Abertura (mm)	Peso Reten. Parcial (gr.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones Técnicas	
						Mínimo %	Máximo%
12"	304.800	0.0	0.000	0.0	100.0	100.0	100
6"	152.400	86400.0	14.865	14.9	85.1	75.0	100
3"	76.200	26385.0	4.539	19.4	80.6	59	100
1"	25.400	3189.0	17.893	37.30	62.7	39	75
3/8"	19.000	840.0	4.713	42.01	58.0	33	70
Nº 4	4.760	3673.0	20.609	62.62	37.4	11	45
Nº 10	2.000	524.00	14.998	77.62	22.4	5	35
Nº 20	0.800	333.00	9.531	87.15	12.9	3	28
Nº 40	0.400	153.00	4.379	91.53	8.5	3	25
Nº 200	0.074	46.50	1.331	92.86	7.1	3	20
Platillo		249.5	7.141	100.00	0.0		
Peso Total Humedo		1227.40	Gr.				
Peso Total Seco		581250.00	Gr.				
Peso del Suelo Seco pasante de la malla 3"		14365.00	Gr.				
Peso del Suelo Seco pasante de la malla Nº4		1305.98	Gr.				

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Curva granulométrica ensayada material tipo A



Fuente: Elaboración propia

Mediante el material húmedo extraído de la calicata es de 7%, siendo la profundidad de prueba es de 0.60 m, material proveniente de Sacrafamilia, la densidad seca máxima sería 2.279 /cm³.

Cuadro 27. Ensayo por reemplazo de agua material tipo A

DATOS DE ENSAYO	
Ubicación del ensayo	Presa de relave Huachuacaja R4
N° Capa	-
Cota superior compactada (msnm)	4214
Diametro de anillo (m)	1.20 m
Profundidad de la Prueba (m)	0.60 m
Equipos para conformación del material	Tractor D6, excavadora, Motoniveladora, Rodillo de 10 Tn, Volquete, Estación Total, Cisterna.
N° de pasadas (Ciclos) de rodillo de 10 tn	06 Ciclos
DATOS DE CAMPO Y ENSAYO	
Cantidad de agua utilizada para llenar el anillo	220.0
Cantidad de agua utilizada para llenar el anillo + calicata	735
Cantidad de agua para llenar la calicata (2 - 1)	515.0
Peso Total del material humedo extraído de calicata	1227.4
DATOS DE CAMPO Y ENSAYO	
N° de registro donde se calculo el CHB	CH-R4 - 009
Contenido de Humedad Global	5.50%
CALCULOS	
Volumen de calicata	515.0
Densidad húmeda	2.383
Densidad seca	2.259
LEYENDA DE RESULTADO:	C: CONFORMIDAD NC: NO CONFORME N/A: NO APLICA
Máxima densidad seca de Panel Test aprobado.	2.301%
Máxima densidad seca del ensayo de reemplazo de agua de la capa.	2.259%
% de compactación (>95%).	98.17%

Fuente: Elaboración propia

Ensayo de humedad de material que retiene el tamiz de 3" con 1.5 % la humedad de material que pasa de 3" y retiene el N°04 con 3.6 %, la humedad de material que pasa tamiz N° 04 con 6.8 %, por lo cual el contenido humedad global será de 5.5 %.

Cuadro 28. Ensayo de contenido de humedad al material tipo A.

Humedad de material que Retiene el Tamiz de 3"			
RECIPIENTE N°		-	
Peso de recipiente mas peso de suelo humedo	gr	698.0	
peso de recipiente mas peso de suelo seco	gr	687.0	
Peso de recipiente	gr		
peso de contenido de agua	gr	10.4	
Peso de suelo seco	gr	687.6	
Contenido de Humedad	%	1.5	
Granulometría material que retiene el tamiz de 3"		2.0%	
PROMEDIO DE HUMEDAD	1.5%		

Humedad de material que Pasa el Tamiz de 3" y Retiene el N° 4			
N° RECIPIENTE		-	
Peso de recipiente mas peso de suelo humedo	gr	3696.0	
peso de recipiente mas peso de suelo seco	gr	3569.4	
Peso de recipiente	gr		
peso de contenido de agua	gr	128.6	
Peso de suelo seco	gr	369.4	
Contenido de Humedad	%	3.6	
Granulometría material que pasa 3" y retiene el tamiz N° 4		38.7%	
PROMEDIO DE HUMEDAD	3.6%		

Humedad de material que Pasa el Tamiz N° 4			
N° RECIPIENTE			
Peso de recipiente mas peso de suelo humedo	gr	3276.0	
peso de recipiente mas peso de suelo seco	gr	3067.4	
Peso de recipiente	gr		
peso de contenido de agua	gr	208.6	
Peso de suelo seco	gr	3067.4	
Contenido de Humedad	%	6.8	
Granulometría material que pasa el tamiz N° 3/8"		59.3%	
PROMEDIO DE HUMEDAD	6.8%		

CONTENIDO DE HUMEDAD GLOBAL:		5.5%
------------------------------	--	------

Fuente: Elaboración propia

La determinación del límite líquido, plástico e índice de plasticidad - límites de Atterberg Norma ASTM - D4318, en tanto el límite líquido de 26.0 y el límite plástico de 15.6, siendo el índice de plasticidad de 10.4.

Cuadro 29. Ensayo de límites de Atterberg al material tipo A.

LIMITE LIQUIDO				
Nº TARRO		5	62	486
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	g	32.00	32.20	33.40
PESO TARRO + SUELO SECO	g	28.40	28.40	29.10
PESO DE AGUA	g	3.60	3.80	4.30
PESO DEL TARRO	g	13.70	13.80	13.40
PESO DEL SUELO SECO	g	14.7	14.6	15.7
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	24.5	26.0	27.4
NUMERO DE GOLPES		29	25	21
LIMITE PLASTICO				
Nº TARRO		15	65	96
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	g	19.20	16.55	17.60
PESO TARRO + SUELO SECO	g	18.30	15.88	16.95
PESO DE AGUA	g	0.90	0.67	0.65
PESO DEL TARRO	g	11.70	11.40	13.40
PESO DEL SUELO SECO	g	6.6	4.5	3.6
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	13.6	15.0	18.3



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	26.0
LIMITE PLASTICO	15.6
INDICE DE PLASTICIDAD	10.4

Fuente: Elaboración propia

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Estabilidad Sísmica

El análisis de estabilidad sísmica se evalúa considerando las características y condiciones que presenten en el Dique R4, se reconoce del Cuerpo de Ingenieros mediante (USA) el método de Newmark, para calcular desplazamientos permanentes en presas de relaves, se realiza utilizando 350 registros sísmicos históricos y se define que las estructuras analizadas mediante el método pseudo –estático siendo el factor de seguridad mayor a 1.0 , siendo el coeficiente sísmicos en el eje horizontal de $\frac{1}{2}$ veces a la aceleración máxima no van a desarrollar deformaciones mayor a 1.0 metro, siendo un valor aceptado y ser tolerado por presas de material, y no representa una amenaza a la integridad de la estructura en ejecución.

Para evaluar la estabilidad física del Dique R4 a la cota 4 217m.s.n.m., mediante el (MEM) determinar los mínimos factores de seguridad solicitados para la estabilidad de taludes. Siendo la condición estática el factor de seguridad será igual a 1,5 y el análisis en condición pseudo-estática el factor de seguridad será igual a 1,0. Por lo tanto, se utilizó un coeficiente sísmico de 0.15 del cálculo de estabilidad pseudo-estático en el recrecimiento del Dique R4 siendo la aceleración máxima de 50% para un $T_r=475$ años, considerando una estructura temporal de vida útil menor a 3 años, (Ver Cuadro N° 27).

El control correcto de la compactación y porcentaje de finos para el recrecimiento mediante el relleno del material Tipo A (relleno masivo) y Tipo B (relleno de protección del dique existente) garantiza el correcto funcionamiento de la presa. Mediante el análisis facilita la determinación de tensiones de depósito, deformaciones, propiedades de refuerzo, riesgos de licuefacción y estabilidad de taludes existente y proyectado. Además, en relación con la planificación, se deben investigar a fondo las características de los relaves, el

grado de saturación, las dimensiones de la presa de almacenamiento y la sismicidad local.

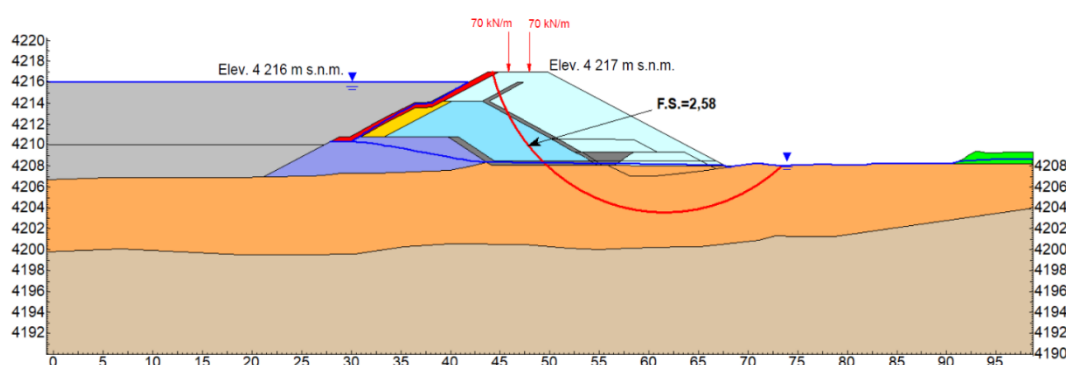
Cuadro 30. Estabilidad física del Dique R4 a la cota 4 217m.s.n.m.

Dique	Sección	Condición	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo estatico
R4	A-Á	Proyectado Dique	2.58	1.83
	B-B'	Proyectado Dique	2.1	1.56
	C-C'	Muro Reforzado	2.75	1.99

Fuente: Elaboración propia.

Factor de seguridad de 2.58 del análisis de estabilidad estático, Dique R4, aguas abajo elevación 4 217 m – borde libre 1 m – falla circular (Sección A).

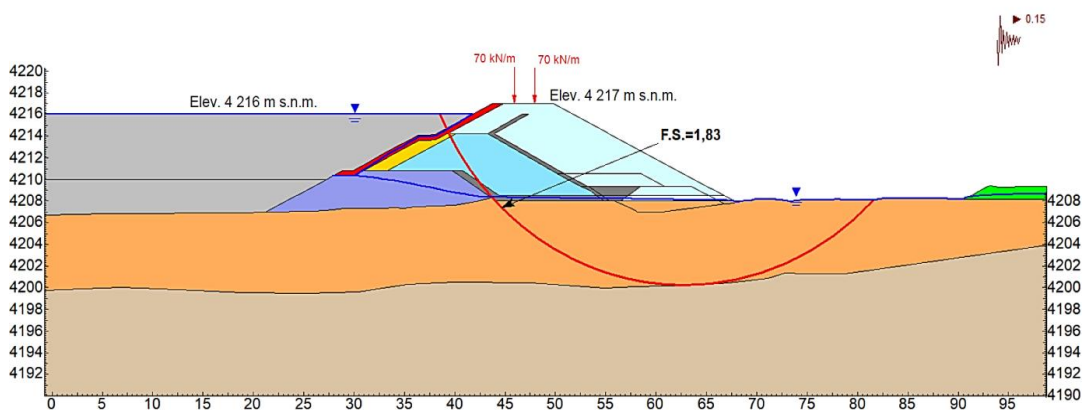
Imagen 34. Análisis de estabilidad estático Dique R4



Fuente: Lara Consulting & Engineering SAC.

Factor de seguridad de 1.83 del análisis de estabilidad pseudo-estático, Dique R4, aguas abajo elevación 4 217 m – borde libre 1 m – falla circular (Sección A).

Imagen 35. Análisis de estabilidad pseudoestático Dique R4



Fuente: Lara Consulting & Engineering SAC.

4.3.2. Estabilidad de filtración

El análisis de filtraciones bidimensional se realiza utilizando el programa SLIDE 2 versión 9.013 de Rocscience, que utiliza un modelo numérico de elementos finitos en cual proporciona características de percolación, infiltración y confinamiento para la simulación, el cual permite el cálculo del flujo de agua a través de estructuras y capa de roca y suelo siendo subyacentes a la superficie.

En este análisis, el caudal se calculó bajo el supuesto de flujo constante.

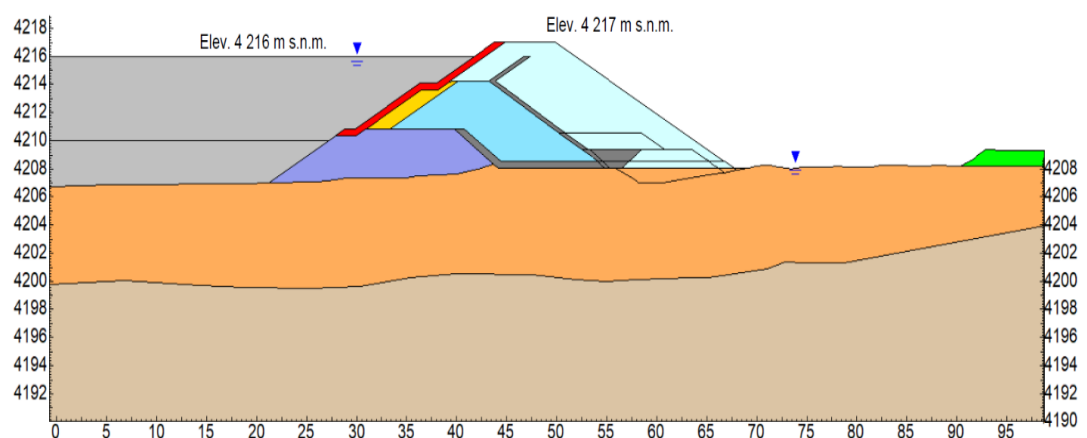
El cálculo del caudal se basó en la ley de Darcy:

- ✚ La permeabilidad del medio (k).
- ✚ Gradiente hidráulico (i).
- ✚ Área transversal a la dirección del flujo (A).

Se asumió que los materiales tengan permeabilidad para ambos casos como constante y se consideraron diferencias en las conductividades hidráulicas para los ejes horizontales y verticales. Para lo cual se colocó una geomembrana de HDPE 1.5 mm aguas abajo cuyo objetivo es de impermeabilizar y proteger la presa de relaves redirigiendo el flujo aun poza provisional

El análisis de filtraciones en condición proyectada del Dique R4 elevación 4 217 m – borde libre 1 m – modelo y propiedades hidráulicas (sección A).

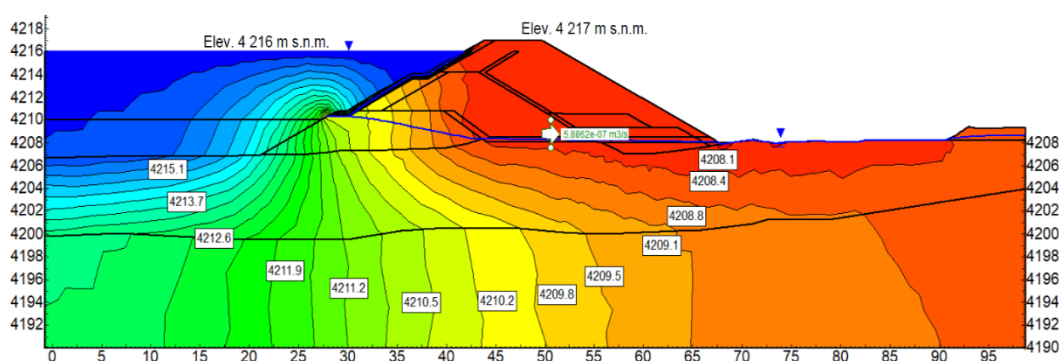
Imagen 36. El análisis de filtraciones de modelo y propiedades hidráulicas



Fuente: Lara Consulting & Engineering SAC.

El análisis de filtraciones en condición proyectada del Dique R4 elevación 4 217 m – borde libre 1 m – resultados

Imagen 37. El análisis de filtraciones de modelo y resultados



Fuente: Lara Consulting & Engineering SAC.

4.4. Discusión de resultados

La construcción del recrecimiento del Dique R4 a la cota 4217 m s.n.m., en el sector Norte de la Relavera Huachuacaja, responde a la capacidad de la planta concentradora Huachuacaja, cuya producción es de 16 125 tpd, generando aproximadamente 15 240 tpd de relaves. Esta cantidad representa una relación relaves/mineral de 0,94, correspondiente a los minerales Pb-Zn-Cu. El diseño considera un borde libre mínimo de 1 m en la cresta del dique en contacto con relaves, lo cual asegura un margen de seguridad operacional. Asimismo, las instalaciones han sido concebidas para mantener su estabilidad ante condiciones sísmicas, teniendo en cuenta que se trata de estructuras temporales con una vida útil proyectada menor a 5 años.

4.4.1. Sobre la estabilización

El reemplazo de materiales inadecuados hasta alcanzar un macizo rocoso competente, junto con el empleo de materiales tipo A y B, asegura condiciones de fundación estables. El material tipo A alcanzó una compactación del 95% de la densidad seca máxima (Proctor modificado), garantizando resistencia y baja deformabilidad. Este valor es consistente con los estándares

ASTM y coincide con hallazgos de Hidalgo (2023), lo que valida su idoneidad como relleno masivo. Por su parte, el material tipo B (grava arcillosa) cumple una función protectora al dique existente, favoreciendo la estabilidad global. El análisis en SLIDE 2 arrojó factores de seguridad de 2.58 (estático) y 1.83 (pseudoe estático), superando ampliamente los valores mínimos establecidos por el MEM (1.5 y 1.0 respectivamente). Estos resultados son superiores a los reportados en proyectos similares (ej. presa de Huaracaca, FS = 1.4 estático), lo cual evidencia un adecuado diseño y ejecución en el recrecimiento.

4.4.2. Sistema de impermeabilización

La impermeabilización del Dique R4 tiene como finalidad evitar la descarga de líquidos contaminantes y preservar el equilibrio hidrogeológico del sector Norte de la Relavera Huachuacaja. Para ello, el talud aguas arriba fue revestido con un geocompuesto de arcilla Eurobent NTW35 (GCL), formado por geotextiles con núcleo de bentonita, complementado con una geomembrana de HDPE Tecliner de 1,5 mm. Este sistema se conecta con la impermeabilización instalada en los niveles 4214 y 4217, e incorpora una pendiente del 2% para evacuar aguas sin contacto, junto con un drenaje interno en pendiente que controla posibles infiltraciones. El diseño del dique se completa con material de granulometría máxima de 12", contenido de finos menor al 17%, un coronamiento de 6 m de ancho y taludes 2H:1V en ambas caras, garantizando estabilidad e impermeabilidad.

4.4.3. Sistema de sub drenaje

Para controlar las filtraciones y aguas de contacto de la Relavera R4, se implementó un sistema de drenaje francés a lo largo del perímetro del dique, diseñado para captar los lixiviados y conducirlos hacia una caja de descarga mediante tuberías sólidas de HDPE de 8", con destino final en la poza colectora de derrames. El sistema cuenta con dos tramos que convergen en una rama

principal y se complementa con una plataforma en el pie del talud aguas abajo, con pendiente del 2%, que facilita la evacuación de aguas no contaminadas.

En el interior del talud se construyó un subdren con sección trapezoidal (altura promedio 1,1 m), impermeabilizado con geotextil de 300 g/m² y conformado por una cama de arena de 0,10 m, dos tuberías ADS perforadas de 4" con pendiente del 1%, y material drenante D50=¾". Finalmente, se colocó una capa de filtro D50=4 mm de 0,30 m de espesor, asegurando la conducción eficiente de filtraciones hacia la poza colectora y reforzando la estabilidad hidráulica del dique.

CONCLUSIONES

1. Se obtienen resultados mediante gabinete, laboratorio de Mecánica de Suelos y panel test concluyendo que material tipo A material con contenido de humedad de 7%, siendo la profundidad de prueba de 0.60 m, con una densidad seca máxima sería 2.279 g/cm³, tanto el límite líquido de 26.0 y el límite plástico de 15.6 siendo el índice de plasticidad de 10.4., dicho material favorecerá para su utilización como material de relleno masivo para construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4217 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja. Como se indica en los parámetros permisibles del expediente técnico.
2. Los materiales de relleno masivo, protección y mejoramiento deben ser controlados mediante ensayos de acuerdo a la normativa ASTM; ensayo de mecánica de suelos, ensayo Macro granulométrico Norma ASTM D5519, Norma ASTM D422 Ensayo Granulométrico, Norma ASTM D2216 Contenido de Humedad Natural, Norma ASTM D423 Límite líquido y Plástico y el Ensayo de Reemplazo por Agua Norma ASTM 5030, considerando que deben ser controlados ya sea en cantera de Sacrafamilia y Dique R4.
3. Estabilidad o posible inestabilidad del talud durante su proceso constructivo, siendo un aspecto relacionado directamente con la ingeniería geológica - geotécnica. Se concluye que mediante el software SLIDE 2 versión 9.013 de Rocscience tiene un resultado de FS (Factor de Seguridad) superior a 2 en condiciones estáticas y pseudoestáticas, al ser comparados con Proyectos aledaños (Huaraucaca) siendo el FC de 1.4 para estático y 1 para pseudoestático, concluimos que ambos proyectos son superiores a las recomendaciones dadas por el MEM que define el FS mayores a 1.
4. El panel test de relleno masivo compactado al material tipo A y ensayo de Reemplazo por Agua Norma ASTM 5030 permitieron determinar el número de ciclos de rodillo (6 ciclos) y poder lograr la máxima densidad seca con un contenido de humedad adecuado, logrando optimizar tiempo y recursos y lograr un

mejor avance de del proyecto, y evitar incumplir los estándares de calidad requerido según el expediente técnico.

RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar estudios de factibilidad del material del Residuo sólido de mina con material de préstamo siendo una opción como material de relleno en la construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4220 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja, siendo un proceso de mejora en las unidades mineras, especialmente para recrecimientos de relleno masivo.
2. Se deben realizar la determinación de las características físicas del material de relleno mediante la normativa ASTM en los ensayos de Mecánica de Suelos en canteras de explotación y el Dique R4 con un cierto volumen de liberación.
3. El panel test del relleno el material de tipo A favorece como material de relleno en la construcción del recrecimiento de Dique R4 a la cota 4220 m.s.n.m. sector Norte de la Relavera Huachuacaja se recomienda realizar ensayos con diferentes espesores de relleno siendo 50 a 70 cm, 4 celdas de prueba con dimensiones de 5.00 x 5.00 m, y la toma de muestra para el de ensayo de reemplazo por agua (ASTM D5030) se debe de realizar con un anillo metálico de diámetro 1.20 m.
4. Se recomienda realizar el recrecimiento en ausencia de la lluvia, además que el regado de agua en las vías principales y la parte superior de la corona de dique para evitar la polución y evitar condiciones para personal y/o equipos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APAZA QUISPE, S. C. (2019). Diseño de recrecimiento de la presa de relaves de la unidad de producción UNTUCA-Minera CORI PUNO SAC. Universidad Nacional del Altiplano: Facultad de Ingeniería de Minas.
- Carlos Enrique, CONTRERAS PAUCAR (2021). Ampliación de la Presa De Relaves Pallancata en la Fase 3, Para Incrementar su Capacidad de Almacenamiento, en la Empresa Minera Ares-S.A.C. Ayacucho-2020
- Marcelino Roy, SOLIS VITOR. (2019). Análisis de suelos para determinar la estabilidad de talud en el servicio de almacenamiento de relaves de la Presa Huachuacaja – El Brocal.
- Golder Associates S.A., 6. (2017). Ingeniería de Detalle de la Presa de Relaves Huachuacaja. Unidad Minera El Brocal.
- Ederson Eddie HIDALGO SOLIS. (2023). Evaluación geotécnica en la construcción de recrecimiento de diques R4 y R5, en la presa de relaves Huachuacaja
- VENTURA POZO William, (2022). Mejora del residuo sólido para su utilización en el recrecimiento del espaldón de la presa de relaves Huachuacaja, minera El Brocal.
- QUECAÑO YAJA, Blanca Magali (2025). Análisis De Infiltración Y Estabilidad del Depósito De Relaves N° 2 En El Recrecimiento del Año 2021- Unidad Minera Huancapetí- Recuay
- Elvys R, CRISTOBAL DAMASO, (2018) <Construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa ii a la cota 4621 m.s.n.m. para el control de contaminación ambiental en la Compañía Minera Chungar S.A.C., Cerro de Pasco- Perú
- Fourie, A. B., & Blight, G. E. (2001). Mine tailings dams: when things go wrong. Construction and Building Materials
- Villavicencio, G., Espinoza, R., Palma, J., & Fourie, A. (2014). Failures of sand tailings dams in a highly seismic country. *Canadian Geotechnical Journal*,

Luis A, Mendieta Britto, 2018. Estudio de ingeniería a nivel detallado para el crecimiento de la presa de relaves El Porvenir de Compañía Minera Milpo S.A.A, San Francisco de Asís de Yarusyacan, Pasco- Perú.

ANEXOS

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS	Revisión	: 0
	Fecha de Emisión	: 24/10/2019
	Páginas	: 01-01
	Realizado por	
	Revisado por	
	Código	:AGR4R5-001

PROYECTO:	
TRAMO:	
MATERIAL:	
UBICACIÓN:	LADO :

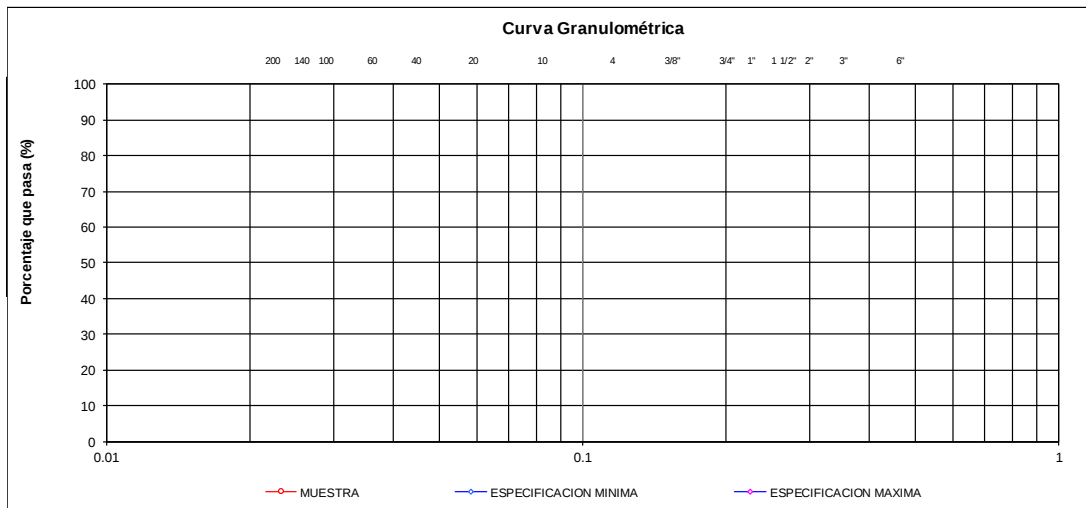
DATOS DE LA MUESTRA

CANtera:	TAMaño MAXIMO :	3"	
MUESTRA:	Peso Inicial Seco :	0.0	g
PROF. (m):			

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

(ASTM D422)

TAMIZ	ASTM	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA			
3"							Contenido de Humedad (%) :	0.0
2"							Tara N°:	-
1 1/2"							Peso de la Tara (g):	0.10
1"							Peso Tara+Suelo Hum.(g):	0.0
3/4"							Peso Tara+Suelo Sec.(g):	0.0
3/8"							Peso del Agua (g):	0.0
Nº 4							Peso del Suelo Seco (g):	-0.1
Nº 10							Límite Líquido (LL) :	17
Nº 20							Límite Plástico (LP) :	NP
Nº 40							Índice Plástico (IP) :	NP
Nº 60							Clasificación (SUCS) :	GP-GM
Nº 100							Descripción (SUCS) :	- Grava pobremente graduada con limo y arena
Nº 140							Clasificación (AASHTO) :	A-1-a(0)
Nº 200							Descripción (AASHTO) :	Bueno
< Nº 200							Bolonería > 3" :	#DIV/0!
TOTAL		0.0	0.0				Grava 3" - Nº 4 :	0.0
							Arena Nº4 - Nº 200 :	0.0
							Finos < Nº 200 :	0.0



LEYENDA DE RESULTADO: C: CONFORMIDAD NC: NO CONFORME N/A: NO APLICA

NOMBRE:		FIRMA:	
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:

	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS	Revisión : 0 Fecha de Emisión : 24/10/2019 Páginas : 01-01 Realizado por Revisado por Código : PER4R5 - 001
--	--------------------------------	--

NORMA PROCTOR ESTÁNDAR

D698-12

PROYECTO:	:	
TRAMO:	:	
MATERIAL:	:	
UBICACIÓN:	:	Lado :

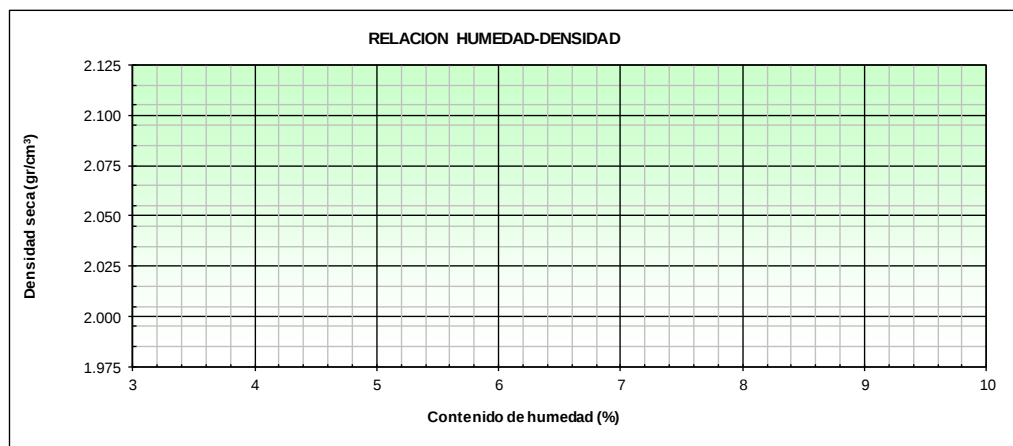
DATOS DE LA MUESTRA

CANTERA:	:	PROGRESIVA :
MUESTRA:	:	CLASF. (SUCS) :
PROF. (m):	:	CLASF. (AASHTO) :

METODO DE COMPACTACION : C

FECHA DE ENSAYO: 24/10/2019

Peso suelo + molde	gr					
Peso molde	gr					
Peso suelo húmedo compactado	gr					
Volumen del molde	cm ³					
Peso volumétrico húmedo	gr					
Recipiente N°						
Peso del suelo húmedo+tara	gr					
Peso del suelo seco + tara	gr					
Tara	gr					
Peso de agua	gr					
Peso del suelo seco	gr					
Contenido de agua	%					
Peso volumétrico seco	gr/cm ³					
Densidad máxima (gr/cm ³)						
Humedad óptima (%)						



CORRECCION POR GRAVA ASTM D-4718

Gravedad Específica, Dc		Peso suelo húmedo+tara	
Porcentaje por Peso de la Fracción Gruesa, Pc		Peso suelo seco + tara	
Porcentaje por Peso de la Fracción Fina, Pf		Peso de Tara	
Contenido de Humedad óptima del Proctor, Wo		Peso de agua	
Contenido de Humedad de la Fracción Gruesa, Wc		Peso fracción grueso seco	
Densidad seca de la Fracción Fina, g DF		Contenido de humedad	
Contenido de humedad óptima corregido, Cw			
Densidad Óptima Seca Corregida			

LEYENDA DE RESULTADO: C: CONFORMIDAD NC: NO CONFORME N/A: NO APLICA

LABORATORIO E. SMELTER:		LABORATORIO GOLDER:	
NOMBRE:	FIRMA:	NOMBRE:	FIRMA:
Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:

	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS	Revisión : 0 Fecha de Emisión : 30/10/2019 Páginas : 01-01 Realizado por Revisado por Certificado N° : LAR4R5 - 001	
--	--------------------------------	--	--

LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40
(ASTM D 4318)

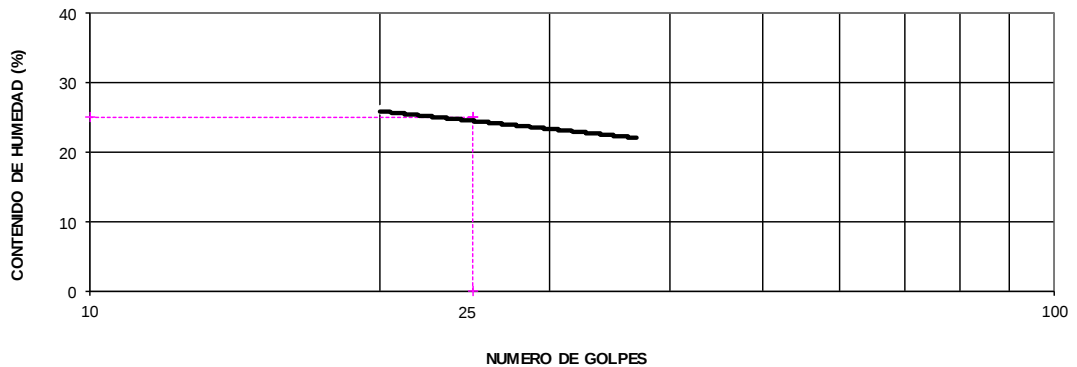
PROYECTO	: RECRECIMIENTO DEL DIQUE R4
TRAMO	: 0 + 000
MATERIAL	: TIPO B
UBICACIÓN	: Presa Relave Huachuacaja R4

DATOS DE LA MUESTRA	
CANTERA	: Huachuacaja R4
MUESTRA	: M-003
PROF. (m)	: 0.50 m.
TAMAÑO MAXIMO : N° 40	

LIMITE LIQUIDO				
N° TARRO		97	6	1
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		30.00	30.10	30.50
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		27.00	26.90	27.00
PESO DE AGUA (g)		3.00	3.20	3.50
PESO DEL TARRO (g)		14.00	14.00	13.60
PESO DEL SUELO SECO (g)		13.0	12.9	13.4
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		23.1	24.8	26.1
NUMERO DE GOLPES		32	23	20

LIMITE PLASTICO				
N° TARRO		496.00	492.00	80.00
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		34.40	32.50	33.30
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		31.60	30.10	30.80
PESO DE AGUA (g)		2.80	2.40	2.50
PESO DEL TARRO (g)		13.50	13.20	13.50
PESO DEL SUELO SECO (g)		18.1	16.9	17.3
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		15.5	14.2	14.5

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	25
LIMITE PLASTICO	15
INDICE DE PLASTICIDAD	10

OBSERVACIONES

LEYENDA DE RESULTADO:			
C: CONFORMIDAD	NC: NO CONFORME	N/A: NO APLICA	

LABORATORIO E. SMELTER:		LABORATORIO GOLDER:	
NOMBRE:	FIRMA:	NOMBRE:	FIRMA:
Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:

	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS	Revisión : 0 Fecha de Emisión : 27/10/2019 Páginas : 01-01 Realizado por Revisado por Código : RAR4R5 - 001
--	--------------------------------	--

**ENSAYO REEMPLAZO DE AGUA
AST-D5030**

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
OBRA TRAMO MATERIAL UBICACIÓN	
DATOS DE ENSAYO	
Ubicación del ensayo	
N° Capa	
Cota superior compactada (msnm)	
Diametro de anillo (m)	
Profundidad de la Prueba (m)	
Equipos para coformación del material	
N° de pasadas (Ciclos) de rodillo de 10 tn	
DATOS DE CAMPO Y ENSAYO	
Cantidad de agua utilizada para llenar el anillo	
Cantidad de agua utilizada para llenar el anillo + calicata	
Cantidad de agua para llenar la calicata (2 - 1)	
Peso Total del material humedo extraído de calicata	
DATOS DE CAMPO Y ENSAYO	
N° de registro donde se calculo el CHB	
Contenido de Humedad Global	
CALCULOS	
Volumen de calicata	
densidad humeda	
Densidad seca (8 / (1+6/100)	
Densidad seca de diseño	
LEYENDA DE RESULTADO: C: CONFORMIDAD NC: NO CONFORME N/A: NO APLICA	
COMENTARIOS/OBSERVACIONES:	

LABORATORIO E. SMELTER:		LABORATORIO GOLDER:	
NOMBRE:	FIRMA:	NOMBRE:	FIRMA:
Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:

CONTENIDO DE HUMEDAD

(ASTM D2216)

PROYECTO: TRAMO: MATERIAL: UBICACIÓN: SOLICITADO POR	DATOS DE LA MUESTRA CANTERA: MUESTRA: PROF. (m):
--	---

PERFORACIÓN	CIELO ABIERTO	CIELO ABIERTO	
MUESTRA N°			
PROFUNDIDAD (m.)			
CÁPSULA N°			
PESO RECIPIENTE			
PESO RECIPIENTE + MATERIAL HUM.(gr.)			
PESO RECIPIENTE + MATERIAL SECO(gr.)			
PESO DEL AGUA (gr.)			
PESO MATERIAL SECO (gr.)			
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)			
HUMEDAD PROMEDIO (%)	0.00%		

LEYENDA DE RESULTADO: C: CONFORMIDAD NC: NO CONFORME N/A: NO APLICA			
---	--	--	--

Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:

	APROBACIÓN DE COMPONENTES LIBERACIÓN DEL MATERIAL TIPO E	ID: ES-2126-QC-FRM-TIPO E Rev.: D
	CONTROL DE CALIDAD	Fecha: 15/02/2021

Nombre del Proyecto:			
Nº Proyecto:		Registro Nº :	MTEP22-001
Propietario:		Nº de capa:	
Sector o Zona		Progresivas/ Cota:	
Fecha:		Turno:	
		Plano de Referencia:	

Descripción Específica del Elemento (s):				
Ítem	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA A INSPECCIONAR	C	NC	N/A
1	Tamaño máximo .			
2	El material debe estar compuesto sin material orgánico, arcillas, partículas blandas			
3	Cumple con la curva granulométrica según las especificaciones técnicas.			
4	El material está constituido por bolones y gravas.			
5	El material debe estar compuesto de partículas duras.			
6	El material contiene poco o nada de finos.			

RELLENO

NIVEL DE RELLENO _____ msnm ALTURA A RELLENAR _____ m	MATERIAL DE RELLENO (PROPIO - CANTERA - OTRO): _____ MAX. ESPESOR DE CAPA: _____ m
--	---

Leyenda de Aceptación

C CONFORME	NC NO CONFORME	N/A NO APLICA
--	--	---

OBSERVACIONES:	CROQUIS:

DOCUMENTACIÓN ADJUNTA:

COMENTARIOS / OBSERVACIONES

SUPERVISOR ES		JEFE CQC ES		SUPERVISOR CQA GOLDER		PROYECTOS SMEB	
CONSTRUCCIÓN ES	D:	CQC - ES	D:	SUPERVISIÓN DE CQA	D:	SUPERVISIÓN DEL PROYECTO	D:
Nombre	M:	Nombre:	M:	Nombre:	M:	Nombre:	M:
Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:	Firma:	A:

	APROBACIÓN DE COMPONENTES LIBERACIÓN DEL MATERIAL TIPO A		ID:ES-2126-QC-FRM-TIPO A	
			Rev.: D	
	CONTROL DE CALIDAD		Fecha: 15/02/2021	

Nombre del Proyecto:				
N° Proyecto:		Registro N° :		
Propietario:		N° de capa:		
Sector o Zona		Progresivas/ Cota:		
Fecha:		Turno:		Plano de Referencia:

Descripción Específica del Elemento (s):				
Ítem	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA A INSPECCIONAR	C	NC	N/A
1	Tamaño máximo de 12".			
2	Este material es colocado y compactado de acuerdo con el espesor de las especificaciones técnicas.			
3	Cumple con la curva granulométrica según las especificaciones técnicas.			
4	El material consiste en fragmentos durables			
5	El material es extraído de la cantera según las especificaciones técnicas.			
6	Espesor de la capa cumple según lo indicado en los planos de construcción			
7	N° de Informe de Panel Test			
8	Máxima densidad seca del Panel Test aprobado			
9	Máxima densidad seca del ensayo de reemplazo de agua de la capa			
10	% de compactación (>95%)			

RELLENO NIVEL DE RELLENO _____ msnm ALTURA A RELLEVAR _____ m MATERIAL DE RELLENO (PROPIO - CANTERA - OTRO): _____ MAX. ESPESOR DE CAPA: _____ m	
Legenda de Aceptación C CONFORME NC NO CONFORME N/A NO APLICA	

OBSERVACIONES:	CROQUIS:

DOCUMENTACIÓN ADJUNTA:	

COMENTARIOS / OBSERVACIONES	

SUPERVISOR ES	SUPERVISOR CQC ES	SUPERVISIÓN DE CQA	SUPERVISIÓN DEL PROYECTO
CONSTRUCCIÓN ES D: Nombre: Mt Firma: A:	CQC - ES D: Nombre: Mt Firma: A:	SUPERVISIÓN DE CQA D: Nombre: Mt Firma: A:	SUPERVISIÓN DEL PROYECTO D: Nombre: Mt Firma: A:

PZ2PTARI-RGCL-01
Revisión: 0
24/02/2021
Pagina: 01 de 01

Registro N° : _____

Fecha de Recepción : _____

[illegible]

Firma	Firma	Firma	Firma	Firma
Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre
Fecha :	Fecha :	Fecha :	Fecha :	Fecha :





Mejoramiento de fundación de relaves con material tipo E



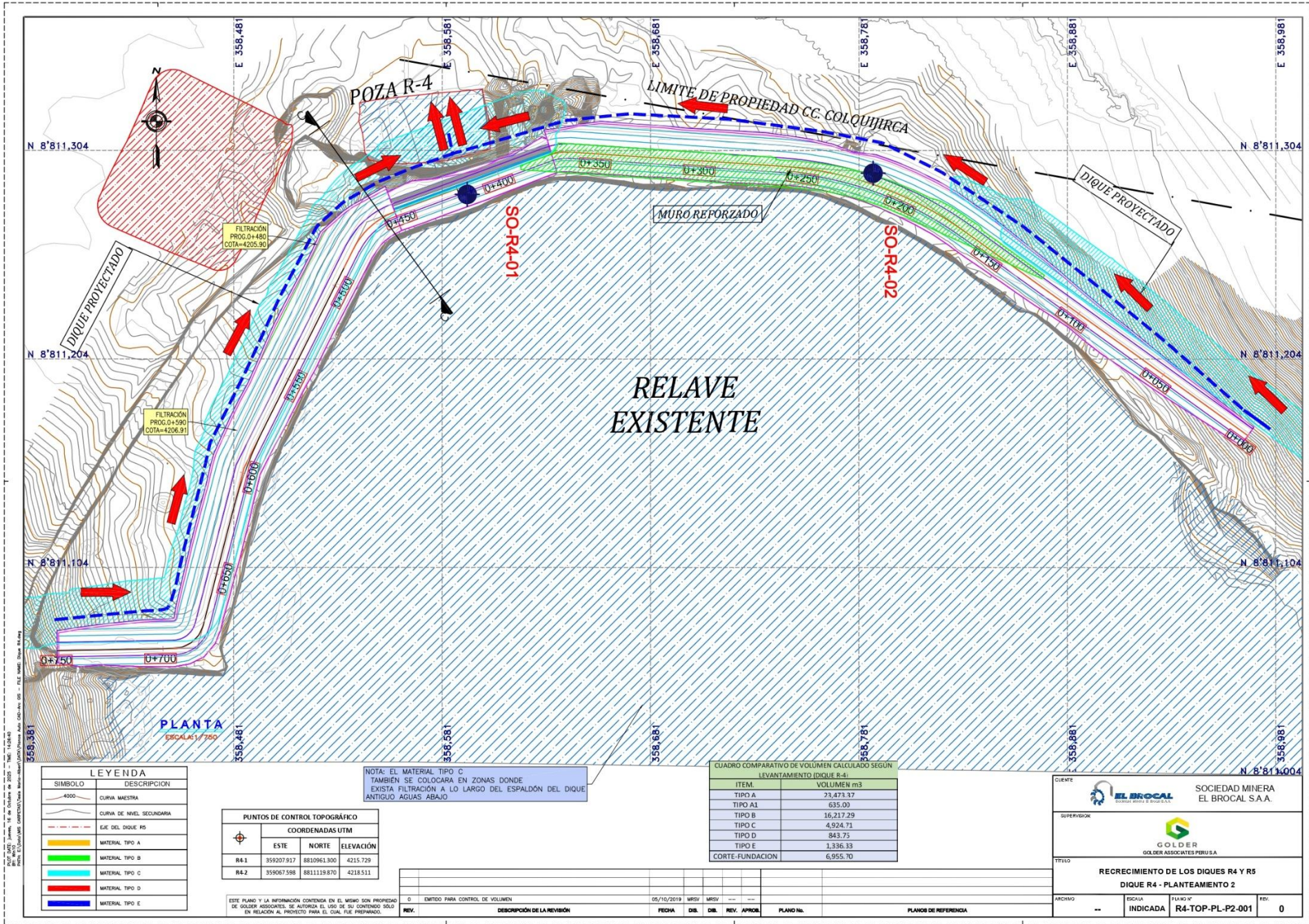
Conformación de material enrocado Tipo E, relleno de espacios vacíos con material tipo B



Eliminación de material incompetente para mejoramiento de fundación y canalización de aguas de contacto.



Desbroce del topsoil para conformación de canales de derivación de aguas de contacto.



PLANTA
ESCALA 1/750

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	CURVA MAESTRA
	CURVA DE NIVEL SECUNDARIA
	EJE DEL DIQUE RS
	MATERIAL TIPO A
	MATERIAL TIPO B
	MATERIAL TIPO C
	MATERIAL TIPO D
	MATERIAL TIPO E

PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO			
COORDENADAS UTM			
	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
R4-1	359207.917	8810961.300	4215.729
R4-2	359067.598	8811119.870	4218.511

ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL MISMO SON PROPIEDAD DE GOLDER ASOCIADOS. SE AUTORIZA EL USO DE SU CONTENIDO SOLO EN RELACIÓN AL PROYECTO PARA EL CUAL FUE PREPARADO.

NOTA: EL MATERIAL TIPO C TAMBIÉN SE COLOCARÁ EN ZONAS DONDE EXISTA FILTRACIÓN A LO LARGO DEL ESPALDÓN DEL DIQUE ANTIQUO AGUAS ABAJO.

CUADRO COMPARATIVO DE VOLUMEN CALCULADO SEGUN LEVANTAMIENTO (DIQUE R-4)	
ITEM	VOLUMEN m3
TIPO A	23,473.37
TIPO A1	635.00
TIPO B	16,217.29
TIPO C	4,924.71
TIPO D	843.75
TIPO E	1,336.33
CORTE-FUNDACION	6,955.70

REV.	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	FECHA	DISE.	DISE.	REV.	APROB.	PLANO No.	PLANOS DE REFERENCIA
0	EMITIDO PARA CONTROL DE VOLUMEN	05/10/2019	MRSV	MRSV	---	---		

CLIENTE



SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.

SUPERVISOR



GOLDER ASOCIADOS PERU S.A.

TITULO

RECRECIMIENTO DE LOS DIQUES R4 Y R5
DIQUE R4 - PLANTEAMIENTO 2

ARCHIVO

INDICADA

PLANO No.

REV.

R4-TOP-PL-P2-001

0