

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



T E S I S

**Evaluación geotécnica y estabilidad del terraplén en la codisposición de relave del
desmonte minero Esperanza, Huayllay, Pasco – 2025**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Jeyson Juliñho VILLOGAS RAMOS

Asesor:

Dr. Jose Fermin HINOJOSA DE LA SOTA

Cerro de Pasco – Perú – 2026

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



T E S I S

**Evaluación geotécnica y estabilidad del terraplén en la codisposición de relave del
desmonte minero Esperanza, Huayllay, Pasco – 2025**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI
PRESIDENTE

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 048-2026-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:

Presentado por:

Bach. Jeyson Juliñho, VILLOGAS RAMOS

Escuela de Formación Profesional:

Ingeniería Geológica

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo:

Evaluación geotécnica y estabilidad del terraplén en la codisposición de relave del desmonte minero Esperanza, Huayllay, Pasco – 2025

Asesor

Dr. Jose Fermin, HINOJOSA DE LA SOTA

Índice de Similitud

3 %

Calificativo:

APROBADO

Se adjunta el informe y el reporte de evaluación del software Turnitin Similarity.

Cerro de Pasco, 22 de julio del 2026



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154805046 ac8
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.07.2026 15:49:02 -05:00

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor, apoyo y sacrificio a lo largo de mi vida, quienes siempre me motivaron a seguir adelante y alcanzar mis metas.

A mi familia, por su comprensión y por estar conmigo en cada paso de este camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la oportunidad de culminar esta etapa importante de mi vida.

A mis padres y familia, por su apoyo incondicional, sus consejos y por motivarme siempre a seguir adelante en mi formación profesional.

A mi asesor de tesis, por su orientación, paciencia y conocimientos brindados durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a la universidad y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo

RESUMEN

El presente resumen aborda la investigación que tuvo como objetivo general evaluar el comportamiento geotécnico y la estabilidad estructural en la codisposición de relave del desmonte minero Esperanza, Huayllay - Pasco. La metodología fue de tipo aplicada, nivel descriptivo, con un enfoque cuantitativo, método deductivo y un diseño no experimental. La población y muestra correspondieron al relave y desmonte minero de la zona de estudio, recolectados mediante calicatas y analizados con técnicas de observación experimental y análisis documental. Se ejecutaron ensayos de laboratorio normalizados (Granulometría, Límites de Atterberg y Proctor Modificado) y de resistencia mecánica (Corte Directo y Triaxiales CD/CU). Los resultados revelaron que la mezcla de codisposición estabiliza el Índice de Plasticidad entre 8% y 10% y optimiza el ángulo de fricción interna hasta 44.5° , gracias a una compactación del 95% de la MDS (2.146 gr/cm^3). Mediante el uso de software geotécnico (Plaxis 2D y Slide V 6.0), se obtuvieron factores de seguridad de 1.5 y 1.6 en condiciones estáticas y 1.156 y 1.2 en pseudoestáticas (aceleración $0.125g$). Se concluye que la codisposición mejora significativamente las propiedades del relave aislado mediante la interacción mecánica con el desmonte, logrando una estructura técnicamente viable y segura. Los análisis de MEF y MEL convergieron con una diferencia mínima de 0.04, confirmando que el diseño cumple con la normativa nacional E 030, garantizando la integridad del depósito.

Palabras Clave: Codisposición, Relave, Geotécnica, Estabilidad

ABSTRACT

This abstract presents research aimed at evaluating the geotechnical behavior and structural stability of the co-disposal of tailings and waste rock at the Esperanza mine, Huayllay - Pasco. The methodology was applied in type, descriptive in level, with a quantitative approach, a deductive method, and a non-experimental design. The population and sample corresponded to the tailings and mine waste rock from the study area, collected through test pits and analyzed using experimental observation and documentary analysis techniques. Standardized laboratory tests were carried out (Grain Size Distribution, Atterberg Limits, and Modified Proctor), along with mechanical strength tests (Direct Shear and CD/CU Triaxial tests). The results revealed that the co-disposal mixture stabilizes the Plasticity Index between 8% and 10% and optimizes the internal friction angle up to 44.5° , thanks to a compaction level of 95% of the MDD (2.146 g/cm^3). Through the use of geotechnical software (Plaxis 2D and Slide V6.0), safety factors of 1.5 and 1.6 were obtained under static conditions, and 1.156 and 1.2 under pseudostatic conditions (acceleration of $0.125g$). It is concluded that co-disposal significantly improves the properties of the isolated tailings through mechanical interaction with the waste rock, achieving a technically viable and safe structure. The FEM and LEM analyses converged with a minimal difference of 0.04, confirming that the design complies with the national E.030 standard, thereby ensuring the integrity of the deposit.

Keywords: Co-disposal, Tailings, Geotechnics, Stability

INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos mineros en la unidad Esperanza, Pasco, enfrenta el desafío técnico de garantizar la estabilidad de terraplenes conformados mediante codisposición de relaves filtrados y desmontes, ya que la combinación de estos dificulta predecir su comportamiento conjunto ante esfuerzos de corte y asentamientos diferenciales en un entorno de topografía accidentada y condiciones geoclimáticas altoandinas extremas. La problemática radica en la evaluación geotécnica de la estabilidad del terraplén conformado por la codisposición de relave y desmonte minero en la unidad Esperanza, dado que resulta necesario prever posibles deformaciones o fallas estructurales ante la ocurrencia de sismos o precipitaciones intensas. Bajo esta premisa, la presente investigación se justifica técnicamente al buscar la optimización de los criterios de diseño y científicamente al aportar nuevos conocimientos sobre el comportamiento de mezclas codispuestas. El objetivo principal es evaluar el comportamiento geotécnico y la estabilidad estructural del terraplén, siendo un estudio de gran importancia para mitigar riesgos ambientales, asegurar la continuidad operativa y salvaguardar la integridad de las poblaciones circundantes mediante la determinación de factores de seguridad confiables.

La estructura de la tesis se organiza de manera sistemática para abordar el fenómeno desde sus bases teóricas hasta el modelado avanzado. El Capítulo 2 establece el planteamiento del problema, los objetivos y la delimitación espacial y conceptual del depósito. El Capítulo 3 desarrolla el marco teórico, incluyendo antecedentes y la formulación de hipótesis fundamentadas en la geotecnia minera. Posteriormente, el Capítulo 4 detalla el rigor metodológico, describiendo el diseño cuasi-experimental, las técnicas de muestreo y los protocolos de procesamiento estadístico. Finalmente, el Capítulo 5 constituye el núcleo de la investigación, donde se presentan los resultados del mapeo geológico, los ensayos de laboratorio (mecánica de suelos) y el análisis comparativo de estabilidad mediante los métodos numéricos de Plaxis 2D y Slide V.6.0, concluyendo con la discusión de los hallazgos frente a

la evidencia empírica recolectada.

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de investigación	2
1.2.1.	Delimitación espacial	3
1.2.2.	Delimitación temporal	3
1.2.3.	Delimitación conceptual.....	4
1.3.	Formulación del problema.....	4
1.3.1.	Problema general.....	4
1.3.2.	Problemas específicos	4
1.4.	Formulación de objetivos	4
1.4.1.	Objetivo general	4
1.4.2.	Objetivos específicos.....	5
1.5.	Justificación de la investigación	5
1.5.1.	Justificación técnica	5
1.5.2.	Justificación científica.....	5

1.5.3.	Justificación ambiental	6
1.5.4.	Justificación social	6
1.5.5.	Justificación práctica	6
1.6.	Limitaciones de la investigación	7

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	8
2.1.1.	Antecedentes internacionales	8
2.1.2.	Antecedentes nacionales	9
2.1.3.	Antecedente Local.....	11
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	11
2.3.	Definición de términos básicos.....	15
2.4.	Formulación de hipótesis.....	18
2.4.1.	Hipótesis general	18
2.4.2.	Hipótesis específicas	18
2.5.	Identificación de variables.....	19
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	19

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	21
3.2.	Nivel de investigación	21
3.3.	Métodos de investigación	22
3.4.	Diseño de investigación.....	22
3.5.	Población y muestra.....	22
3.5.1.	Población.....	22
3.5.2.	Muestra.....	23

3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	23
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	24
3.9.	Tratamiento estadístico.....	24
3.10.	Orientación ética, filosófica y epistémica	24

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	25
4.1.1.	Geología	25
4.1.2.	Ingeniería geológica del proyecto	35
4.1.3.	Peligros geológicos	36
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	37
4.2.1.	Mapeo geológico – geotécnico.....	37
4.2.2.	Excavaciones manuales.....	37
4.2.3.	Ensayos de densidad in situ.....	38
4.2.4.	Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.....	39
4.2.5.	Estadística.....	77
4.2.6.	Métodos Numéricos Con Software Plaxis 2d Y Equilibrio Límite Con Software Slide V.6.0.....	78
4.3.	Prueba de hipótesis	85
4.4.	Discusión de resultados	89

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Operacionalización de las variables.....	19
Tabla 2. Técnicas e instrumentos.....	23
Tabla 3. Conductividad Hidráulica	34
Tabla 4. Ubicación de calicatas.....	38
Tabla 5. Ensayos de densidad in situ	39
Tabla 6. Ensayos de granulometría, límites de atterberg y clasificación SUCS del sondaje..	40
Tabla 7. Análisis granulométrico por tamizado	41
Tabla 8. Cuadro de densidad de campo y contenido húmedo.....	56
Tabla 9. Cuadro del ensayo de densidad por el método cono de arena	57
Tabla 10. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra DM-01, M-1	57
Tabla 11. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra MR-01, M-1.....	58
Tabla 12. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra MR-02, M-1.....	59
Tabla 13. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra MR-03, M-1.....	59
Tabla 14. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra RF-01, M-1.....	60
Tabla 15. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra RF-01, M-3.....	61
Tabla 16. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a 90%MDS=2.033g/cm ³ y O.C.H.=6.2% de la muestra DM-01, M-1	62
Tabla 17. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a 95%MDS=2.146g/cm ³ y O.C.H.=6.2% de la muestra DM-02, M-1	63
Tabla 18. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca =2.10g/cm ³ y %W=10.7% de la muestra MR-02, M-1	65
Tabla 19. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca =1.85g/cm ³ y %W=12% de la muestra MR-02, M-2	66
Tabla 20. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca =2.09g/cm ³	

y %W=11.9% de la muestra MR-03, M-1	68
Tabla 21. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado al 75% del Proctor (densidad seca =1.456g/cm ³ y %W=16%) de la muestra RF-01, M-1	70
Tabla 22. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca =1.65g/cm ³ y %W=16% de la muestra RF-01, M-2	72
Tabla 23. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca =1.75g/cm ³ y %W=16% de la muestra RF-01, M-3	74
Tabla 24. Resumen de las propiedades de resistencia	76
Tabla 25. Unidades geotécnicas	79
Tabla 26. Parámetros de Resistencia.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Fotografía de contacto litológico entre arenisca roja y conglomerados	28
Figura 2. Fotografía de estructuras mineralizadas – Animon y Esperanza	32
Figura 3. Fotografía de discordancia angular al NE del depósito esperanza	33
Figura 4. Fotografía de escarpas de erosión 1	36
Figura 5. Fotografía de escarpas de erosión 2	37
Figura 6. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-01/CE-02	42
Figura 7. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-01/CE-02	43
Figura 8. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-03/CE-04/ CE-05	43
Figura 9. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-03/CE-04/ CE-05.....	44
Figura 10. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-06	44
Figura 11. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-06.....	45
Figura 12. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-07	45
Figura 13. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-07	46
Figura 14. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-08	46
Figura 15. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-08.....	47
Figura 16. Gráfico de curva granulométrica de DM-01, M1.....	47
Figura 17. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de DM-01	48
Figura 18. Gráfico de curva granulométrica de DM-02, M1.....	48
Figura 19. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de DM-02	49
Figura 20. Gráfico de curva granulométrica de MR-01.....	49
Figura 21. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de MR-01	50
Figura 22. Gráfico de curva granulométrica de MR-02, M2	50
Figura 23. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de MR-02, M2.....	51
Figura 24. Gráfico de curva granulométrica de MR-03,M1	51

Figura 25. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de MR-03,M1.....	52
Figura 26. Gráfico de curva granulométrica de RF-01,M1	52
Figura 27. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de RF-01,M1	53
Figura 28. Gráfico de curva granulométrica de RF-01,M2	53
Figura 29. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de RF-01,M2	54
Figura 30. Gráfico de curva granulométrica de RF-01, M3	54
Figura 31. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de RF-01, M3.....	55
Figura 32. Gráfico de curva densidad seca vs humedad.....	58
Figura 33. Gráfico de curva densidad seca vs humedad.....	58
Figura 34. Gráfico de curva densidad seca vs humedad.....	59
Figura 35. Gráfico de curva densidad seca vs humedad.....	60
Figura 36. Gráfico de curva densidad seca vs humedad.....	60
Figura 37. Gráfico de curva densidad seca vs humedad.....	61
Figura 38. Variograma de Distancia por la Semivarianza del ángulo de fricción interna efectivo del suelo (ϕ')	77
Figura 39. Tendencia del % de Contenido de finos por la Semivarianza del ángulo de fricción interna efectivo del suelo	78
Figura 40. Imagen de la sección A – Cota 4621 msnm	79
Figura 41. Imagen de la sección B – Cota 4621 msnm	79
Figura 42. Imagen del modelo constitutivo de Mohr Coulumb.....	80
Figura 43. Imagen de la pestaña de asignación de parámetros	80
Figura 44. Imagen del cálculo del software con el modelo Reducción de Parámetros	81
Figura 45. Imagen del resultado del análisis del método de finitos.....	81
Figura 46. Imagen del modelo Estático	82
Figura 47. Imagen del modelamiento Pseudoestático	82
Figura 48. Imagen de la ejecución del análisis método de equilibrio límite (MEL) en el	

software Slide V 6.0.....	83
Figura 49. Imagen de la asignación de materiales	84
Figura 50. Imagen del modelo resultado estático	84
Figura 51. Imagen del modelo Resultado Pseudoestático	85

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La actividad minera genera grandes volúmenes de residuos sólidos y semisólidos, principalmente relaves y desmontes, cuya disposición final constituye uno de los principales desafíos técnicos, ambientales y de seguridad en la industria (Cacciuttolo y Pérez, 2022). En la última década, la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros ha sido adoptada como una alternativa técnica que busca reducir los impactos ambientales y mejorar la estabilidad de los depósitos, al combinar materiales con diferentes características granulométricas y mecánicas en una sola estructura (Nguyen y Pabst, 2023).

En la unidad minera Esperanza, ubicada en el distrito de Huayllay, región Pasco, se viene utilizando el método de codisposición para la conformación de terraplenes destinados al almacenamiento de estos residuos. No obstante, el área de estudio se caracteriza por presentar condiciones geológicas complejas, asociadas a una topografía accidentada, presencia de depósitos fluvioglaciares, suelos heterogéneos y un régimen climático propio de zonas altoandinas, factores que pueden influir de manera

significativa en el comportamiento geotécnico de las estructuras construidas (Ríos y Villena, 2024).

En tal sentido, se suma que las propiedades físicas y mecánicas de los materiales codispuestos, tales como granulometría, cohesión, ángulo de fricción, grado de compactación y contenido de humedad, pueden presentar variaciones importantes dentro del depósito, generando incertidumbre respecto a su desempeño estructural. La ausencia de una caracterización geotécnica detallada y de análisis de estabilidad específicos para el terraplén existente limita la capacidad de identificar posibles zonas críticas, mecanismos de falla potenciales y niveles reales de seguridad.

Esta situación representa un problema, ya que una inadecuada evaluación del comportamiento geotécnico del terraplén podría derivar en deformaciones excesivas, deslizamientos parciales o fallas globales, comprometiendo la seguridad operativa de la unidad minera, afectando el medio ambiente y generando riesgos para las poblaciones cercanas, especialmente ante eventos sísmicos o periodos de intensa precipitación.

En consecuencia, se hace necesario realizar una evaluación geotécnica integral que permita determinar las propiedades mecánicas de los materiales codispuestos, analizar su influencia en la estabilidad del terraplén y establecer factores de seguridad confiables mediante métodos analíticos y numéricos. De esta manera, se podrá contar con información técnica que sustente decisiones de diseño, operación y mantenimiento, orientadas a garantizar la estabilidad a corto, mediano y largo plazo del terraplén en la codisposición de relaves y desmontes de la unidad minera Esperanza.

1.2. Delimitación de investigación

La presente investigación se delimitó en los ámbitos espacial, temporal y conceptual, con la finalidad de precisar el alcance del estudio y evitar interpretaciones ambiguas.

1.2.1. Delimitación espacial

La investigación se desarrolló en el área correspondiente al depósito de material codispuesto de relaves filtrados y desmontes mineros de la unidad minera Esperanza, ubicada en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco, Perú. El área de estudio abarcó aproximadamente 4.5 hectáreas y comprendió el sector donde se encontró conformado el terraplén principal, incluyendo sus taludes, corona y zona de cimentación. Este espacio constituyó el ámbito físico sobre el cual se ejecutaron las investigaciones de campo, muestreo, ensayos geotécnicos y análisis de estabilidad. De la misma forma, se consideró indicar las coordenadas de los linderos del proyecto, fueron.

- Lindero Norte: Desde (E: 345,346 / N: 8,779,700) hasta (E: 345,449 / N: 8,779,582).
- Lindero Este: Desde (E: 345,449 / N: 8,779,582) hasta (E: 345,534 / N: 8,779,568).
- Lindero Sur: Desde (E: 345,534 / N: 8,779,568) hasta (E: 345,333 / N: 8,779,544).
- Lindero Oeste: Desde (E: 345,333 / N: 8,779,544) hasta (E: 345,329 / N: 8,779,647) y de ahí cierra en (E: 345,346 / N: 8,779,700).

1.2.2. Delimitación temporal

El estudio se desarrolló durante el año 2025, periodo en el cual se realizó la recopilación de información, ejecución de trabajos de campo, ensayos de laboratorio, procesamiento de datos y modelamiento numérico. Asimismo, se consideraron como información complementaria los resultados de investigaciones geotécnicas previas efectuadas en el año 2019, las cuales sirvieron como línea base para la comparación y análisis del comportamiento geotécnico del terraplén.

1.2.3. Delimitación conceptual.

La investigación se circunscribió al análisis del comportamiento geotécnico y la estabilidad del terraplén conformado mediante la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros. Se consideraron aspectos relacionados con las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, tales como granulometría, límites de consistencia, densidad seca, contenido de humedad, cohesión, ángulo de fricción interna y permeabilidad. Asimismo, el estudio abordó el análisis de estabilidad de taludes mediante métodos empíricos, analíticos y numéricos, empleando software geotécnico especializado, sin incluir evaluaciones metalúrgicas, químicas ni económicas del proceso de disposición de residuos.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el comportamiento geotécnico y la estabilidad del terraplén en la codisposición de relave del desmonte minero Esperanza, Huayllay - Pasco?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las propiedades geomecánicas de los materiales utilizados en la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros?
- b. ¿Qué efecto generan la granulometría y la compactación de los relaves y desmontes en la estabilidad del terraplén?
- c. ¿Qué método de análisis de estabilidad es más adecuado para evaluar la seguridad de la estructura?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento geotécnico y la estabilidad del terraplén en la codisposición de relave del desmonte minero Esperanza, Huayllay - Pasco

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Describir las propiedades geomecánicas de los materiales de la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros.
- b. Analizar el efecto de la granulometría y compactación de los relaves y desmontes en la estabilidad del terraplén.
- c. Aplicar el método de análisis numérico para estimar los factores de seguridad frente a fallas por corte en la estructura la estabilidad de la estructura.

1.5. Justificación de la investigación

La presente investigación se justificó desde los ámbitos técnico, científico, ambiental, social y práctico, debido a la importancia que tuvo la estabilidad geotécnica de los terraplenes construidos mediante codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros en el desarrollo seguro y sostenible de las operaciones mineras.

1.5.1. Justificación técnica

La investigación abordó la estabilidad de terraplenes formados por la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros, un aspecto importante dentro de la ingeniería geotécnica para garantizar la seguridad de las instalaciones mineras. Su comportamiento dependió de variables como la granulometría, compactación, cohesión, ángulo de fricción interna y condiciones de drenaje, por lo que el estudio obtuvo parámetros geotécnicos confiables a través de ensayos de laboratorio y estudios de campo, determinando factores de seguridad mediante métodos analíticos y modelamiento numérico, lo que contribuyó a optimizar los criterios de diseño y evaluación de este tipo de estructuras.

1.5.2. Justificación científica

El estudio aportó conocimiento científico al campo de la geotecnia aplicada a la

minería, al generar información sobre el comportamiento mecánico de materiales codispuestos bajo condiciones propias de zonas altoandinas. Sus resultados permitieron contrastar modelos teóricos con datos reales, fortaleciendo la comprensión de los mecanismos que controlaron la estabilidad de terraplenes conformados con relaves filtrados y desmontes, sirviendo además como referencia para futuras investigaciones relacionadas con la estabilidad de depósitos mineros y tecnologías de disposición de residuos.

1.5.3. Justificación ambiental

La investigación evaluó la estabilidad del terraplén con el propósito de prevenir fallas estructurales que pudieran ocasionar la liberación de residuos mineros al ambiente, evitando así la contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas. A través de la identificación de condiciones críticas, el estudio favoreció una gestión ambientalmente responsable de los residuos mineros, promoviendo prácticas sostenibles dentro de la actividad minera.

1.5.4. Justificación social

La investigación contribuyó a fortalecer el conocimiento de la seguridad de las comunidades aledañas a la unidad minera, dado que la estabilidad del terraplén de residuos mineros analizado redujo la probabilidad de accidentes que habrían podido afectar la salud, el bienestar y las actividades productivas de la población cercana.

1.5.5. Justificación práctica

Los resultados obtenidos le permitieron a la empresa contar con una base técnica para la toma de decisiones respecto al diseño, operación y mantenimiento del terraplén, así como para la implementación de medidas correctivas o preventivas ante condiciones de inestabilidad identificadas, lo que le dio a la investigación una aplicación directa orientada a mejorar la seguridad operativa y la eficiencia en la gestión de los residuos

mineros.

1.6. Limitaciones de la investigación

Durante el desarrollo de la investigación, se presentaron diversas limitaciones que condicionaron el alcance de los resultados, entre ellas el acceso restringido a ciertas zonas del terraplén por razones de seguridad operativa, la disponibilidad limitada de datos históricos sobre el comportamiento geotécnico del depósito, posibles variaciones en las condiciones climáticas que afectaron la toma de muestras o lecturas instrumentales, así como restricciones en el uso de equipos especializados de monitoreo debido a factores logísticos o económicos propios de la operación minera. Siendo esta última la limitación que dio un muestreo representativo para los fines exploratorios, pero reducido para el análisis geoestadístico espacial.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Yang et al. (2025) tuvieron como objetivo revisar los factores geotécnicos que influyen en la estabilidad de estructuras de residuos mineros a nivel mundial. La metodología fue de tipo revisión sistemática de literatura científica. Los resultados identificaron que la granulometría, drenaje y métodos constructivos son variables críticas en la estabilidad. Se concluyó que la codisposición de relaves y desmontes incrementa la resistencia global de los depósitos. Se recomendó adoptar diseños integrados basados en desempeño.

Smith et al. (2021) tuvieron como objetivo evaluar la efectividad de la codisposición de relaves y desmonte para mejorar la estabilidad de depósitos mineros. La metodología fue cuantitativa y experimental, utilizando ensayos de laboratorio y análisis numérico. Los resultados evidenciaron un aumento del factor de seguridad respecto a depósitos tradicionales. Se concluyó que la mezcla controlada de materiales

mejora las propiedades mecánicas. Se recomendó estandarizar criterios de diseño para codisposición.

Popescu et al. (2023) tuvieron como objetivo analizar la estabilidad de presas de relaves mediante modelamiento numérico avanzado. La metodología incluyó simulaciones con elementos finitos y comparación con métodos límite de equilibrio. Los resultados mostraron diferencias significativas entre ambos enfoques. Se concluyó que el modelamiento numérico ofrece mayor precisión en escenarios complejos. Se recomendó complementar los métodos tradicionales con análisis numéricos.

Cacciuttolo y Marinovic (2022) tuvieron como objetivo analizar la gestión sostenible de relaves espesados en Chile y Perú. La metodología fue descriptiva y comparativa, basada en estudios de caso. Los resultados indicaron mejoras en estabilidad y aceptación socioambiental. Se concluyó que la disposición tecnificada reduce riesgos geotécnicos. Se recomendó promover tecnologías de relaves filtrados y codisposición.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Aguirre (2021) tuvo como objetivo evaluar la estabilidad geotécnica de depósitos de relaves filtrados en unidades mineras de la sierra central del Perú, considerando condiciones estáticas y pseudoestáticas. La metodología empleada fue cuantitativa, de diseño no experimental y alcance descriptivo–explicativo, aplicando ensayos de laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, corte directo y triaxial) y análisis de estabilidad mediante los métodos de Bishop y Janbu apoyados con software GeoStudio. Los resultados evidenciaron que la granulometría y el grado de compactación influyen significativamente en el factor de seguridad de los taludes, incrementándose la estabilidad cuando se controla el contenido de finos y la humedad. Se concluyó que la codisposición con relaves filtrados mejora el comportamiento

mecánico del depósito frente a relaves convencionales. Se recomendó implementar controles permanentes de compactación y drenaje interno en los terraplenes.

Reyes (2021) tuvo como objetivo analizar el comportamiento sísmico y la estabilidad de depósitos de relaves en abandono en la zona de Ticapampa, Áncash. La metodología fue cuantitativa, aplicada y de tipo correlacional, utilizando ensayos geotécnicos, análisis dinámico bidimensional y modelamiento numérico con PLAXIS. Los resultados mostraron que los depósitos con alta saturación presentan menores factores de seguridad ante eventos sísmicos. Se concluyó que la caracterización geomecánica es determinante para identificar mecanismos potenciales de falla. Se recomendó reforzar los sistemas de drenaje y realizar evaluaciones periódicas de estabilidad.

Cacciuttolo y Cano (2022) tuvieron como objetivo evaluar el impacto ambiental y geotécnico de la disposición de relaves en operaciones mineras de Perú. La metodología consistió en un estudio comparativo de casos, con análisis documental y modelamiento geotécnico. Los resultados indicaron que la disposición controlada y la codisposición reducen riesgos de falla y contaminación. Se concluyó que una adecuada evaluación geotécnica contribuye a la sostenibilidad de los depósitos. Se recomendó integrar criterios geotécnicos y ambientales en el diseño de terraplenes.

Macedo et al. (2022) tuvieron como objetivo analizar la respuesta dinámica y la estabilidad de presas de relaves bajo condiciones sísmicas propias del cinturón andino. La metodología fue cuantitativa y explicativa, aplicando análisis de esfuerzos efectivos y simulaciones numéricas. Los resultados demostraron que los parámetros de resistencia al corte varían significativamente bajo cargas dinámicas. Se concluyó que el análisis dinámico es indispensable para depósitos ubicados en zonas sísmicas. Se recomendó incorporar análisis sísmicos avanzados en la evaluación de estabilidad.

Román y Meléndez (2023) tuvieron como objetivo evaluar la susceptibilidad a fallas por flujo en depósitos de relaves mineros del sur del Perú. La metodología empleada fue experimental y numérica, considerando ensayos triaxiales no drenados y modelamiento computacional. Los resultados mostraron que materiales con alto contenido de finos y baja densidad presentan mayor riesgo de inestabilidad. Se concluyó que la densificación del material mejora el desempeño geotécnico. Se recomendó aplicar técnicas de compactación controlada durante la construcción de terraplenes.

2.1.3. Antecedente Local

Castro (2022) tuvo como objetivo de investigación, el analizar la estabilidad de taludes en la desmontera Excélsior para determinar su relación con el factor de seguridad. Mediante una metodología aplicada, descriptiva-explicativa y cuasi-experimental, se evaluó una muestra por conveniencia de 8 taludes críticos. Los resultados actuales arrojaron factores de seguridad deficientes (estático: 1.24–1.48; pseudoestático: 0.88–1.07). Se concluyó que los taludes vigentes son inestables, requiriéndose un nuevo diseño con bermas de 5 m e interbancos de 20 m para alcanzar factores óptimos y seguros.

2.2. Bases teóricas - científicas

Teoría de la estabilidad de taludes

La estabilidad de taludes es un principio fundamental de la ingeniería geotécnica que analiza el equilibrio entre las fuerzas resistentes y las fuerzas desestabilizadoras que actúan sobre una masa de suelo o material granular. Según Huang et al. (2022), la estabilidad se evalúa mediante el factor de seguridad, el cual expresa la relación entre la resistencia al corte disponible y la solicitada. En depósitos de relaves y terraplenes

mineros, este análisis resulta crítico debido a la heterogeneidad de los materiales y a las condiciones variables de carga.

Desde un enfoque moderno, Wang et al. (2026) señalan que la estabilidad de taludes debe evaluarse considerando condiciones estáticas y dinámicas, especialmente en regiones sísmicas como el contexto andino peruano. Estos autores sostienen que los métodos de análisis deben adaptarse a las características geomecánicas reales del material y a su historial de esfuerzos.

Teoría de la resistencia al corte de los suelos (Mohr–Coulomb)

La teoría de Mohr–Coulomb constituye el modelo clásico para describir la resistencia al corte de los suelos y materiales granulares. De acuerdo con Charles (2023), la resistencia al corte depende principalmente de dos parámetros: la cohesión y el ángulo de fricción interna, los cuales están influenciados por la granulometría, el contenido de humedad y el grado de compactación del material.

En el caso de relaves filtrados y desmontes mineros, Wang et al. (2026) indican que la variabilidad en el contenido de finos modifica significativamente estos parámetros, afectando directamente la estabilidad global del terraplén. Por ello, la caracterización geotécnica detallada es indispensable para aplicar adecuadamente esta teoría en análisis de estabilidad.

Teoría de la codisposición de relaves y desmontes

La codisposición de relaves y desmontes mineros es una estrategia de disposición que busca mejorar la estabilidad física y reducir los riesgos ambientales asociados a los depósitos convencionales. Según Smith et al. (2021), la mezcla controlada de materiales con distintas propiedades granulométricas permite obtener una estructura más densa, con mayor resistencia al corte y mejor comportamiento hidráulico.

Estudios recientes desarrollados por Cacciuttolo y Marinovic (2022) sostienen que la codisposición, especialmente cuando se emplean relaves filtrados, incrementa el factor de seguridad de los terraplenes y disminuye la susceptibilidad a fallas por flujo. Estos autores destacan que la codisposición constituye una alternativa técnicamente viable y ambientalmente sostenible en la gestión de residuos mineros.

Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Los métodos de análisis de estabilidad se clasifican principalmente en métodos de equilibrio límite y métodos numéricos. Huang et al. (2022) explican que los métodos de equilibrio límite, como Bishop, Janbu y Morgenstern-Price, permiten calcular factores de seguridad mediante el análisis de fuerzas y momentos actuantes en superficies potenciales de falla.

Por otro lado, Popescu et al. (2022) indican que los métodos numéricos basados en elementos finitos, como los implementados en los programas PLAXIS y FLAC, permiten simular el comportamiento real del suelo bajo condiciones complejas de carga, deformación y drenaje. Estos métodos resultan especialmente útiles en depósitos de relaves debido a su geometría irregular y heterogeneidad interna.

Influencia de la compactación y granulometría en la estabilidad

La compactación es un factor determinante en la estabilidad de terraplenes, ya que influye directamente en la densidad seca, la permeabilidad y la resistencia al corte del material. De acuerdo con Sivakugan (2021) un mayor grado de compactación incrementa la resistencia mecánica y reduce la deformabilidad del suelo.

Asimismo, Charles (2023) señalan que una granulometría bien gradada mejora la interconexión de partículas, aumentando el ángulo de fricción interna y el factor de seguridad del talud. En depósitos codispuestos, el control de estos parámetros es esencial para garantizar un comportamiento geotécnico adecuado a corto y largo plazo.

Análisis sísmico de depósitos mineros

El análisis sísmico es un componente indispensable en la evaluación de estabilidad de depósitos mineros ubicados en zonas de alta actividad tectónica. Macedo et al. (2022) afirman que los eventos sísmicos pueden reducir temporalmente la resistencia al corte de los materiales, generando incrementos en la presión de poros y disminuciones del factor de seguridad.

Comportamiento Esfuerzo-Deformación en terraplanes

Alva (2020) En su enfoque de la mecánica de suelos, sostiene que el comportamiento esfuerzo-deformación de un terraplén depende intrínsecamente de la trayectoria de esfuerzos y la relación de vacíos inicial. Para materiales granulares compactados, el modelo resalta que la deformación no es lineal y está gobernada por la fricción interparticular, donde el confinamiento lateral del terraplén determina su rigidez y capacidad para soportar cargas sin colapsar.

Por otro lado, Charles (2023) indica que el modelo hiperbólico para representar la relación no lineal entre el esfuerzo desviador y la deformación axial en suelos, permitiendo predecir los asentamientos y desplazamientos laterales en terraplanes mediante parámetros de resistencia y módulos de elasticidad variables, entendiendo cómo se acomodará la mezcla bajo su propio peso.

Teoría de la consolidación

Villalobos (2023) define la consolidación como el proceso de reducción gradual del volumen de un suelo saturado de baja permeabilidad debido a la expulsión del agua de los poros bajo una carga sostenida. Se establece que la velocidad del asentamiento en el terraplén está limitada por la resistencia viscosa del agua al fluir y al proceso de transferencia de esfuerzos donde el suelo gana resistencia a medida que el agua es drenada, evitando fallas por exceso de presión de poros.

Estabilidad química y lixiviación

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2024) indica que la interacción entre el agua, el oxígeno y los minerales sulfurosos presentes en el desmonte y el relave define la calidad del efluente, donde la baja permeabilidad de la mezcla puede actuar como una barrera que limita esta reacción química adversa.

Por su parte Ballesta (2025) menciona que la lixiviación en depósitos mineros como el proceso de extracción de constituyentes solubles de una fase sólida por la percolación de un solvente, influye en la estabilidad química, siendo un requisito previo para la estabilidad física, ya que la alteración mineralógica puede degradar la integridad estructural y comprometer la seguridad a largo plazo.

2.3. Definición de términos básicos

Codisposición de relaves y desmontes

Se define como el método de disposición conjunta de relaves mineros y material de desmonte en una misma estructura geotécnica, con la finalidad de mejorar la estabilidad física del depósito, optimizar el uso del espacio y reducir riesgos ambientales. Este método permite combinar materiales con distintas características granulométricas y mecánicas, obteniendo un comportamiento estructural más estable (Smith et al., 2021).

Relaves filtrados

Son residuos finos generados durante el procesamiento de minerales que han sido sometidos a procesos de deshidratación mecánica, reduciendo significativamente su contenido de humedad. Según Cacciuttolo y Marinovic (2022), los relaves filtrados presentan mayores ventajas geotécnicas y operativas, al incrementar la estabilidad y disminuir la susceptibilidad a fallas.

Desmonte minero

Es el material estéril extraído durante las operaciones mineras que no posee valor económico inmediato. De acuerdo con Chávez, 2022, el desmonte puede ser empleado como material estructural en depósitos codispuestos debido a su mayor tamaño de partículas y resistencia mecánica.

Terraplén

Se entiende como una estructura artificial conformada mediante la colocación y compactación controlada de materiales granulares, destinada a soportar cargas o contener materiales. En minería, los terraplenes cumplen la función de contención y almacenamiento de residuos sólidos y semisólidos (Chávez, 2022).

Estabilidad geotécnica

Hace referencia a la capacidad de una estructura de suelo o material granular para mantenerse en equilibrio sin presentar fallas o deformaciones excesivas bajo condiciones estáticas o dinámicas. Popescu et al. (2022) señalan que la estabilidad depende de las propiedades mecánicas del material, la geometría del talud y las condiciones hidráulicas.

Resistencia al corte

Es la capacidad de un material para resistir esfuerzos cortantes sin fallar, determinada principalmente por la cohesión y el ángulo de fricción interna. Charles (2023) indica que este parámetro es fundamental para el análisis de estabilidad de taludes y terraplenes.

Cohesión

Representa la componente de la resistencia al corte asociada a las fuerzas de atracción entre partículas del suelo o material fino. En relaves mineros, la cohesión se

ve influenciada por el contenido de finos y el grado de humedad del material Nguyen y Pabst (2024).

Ángulo de fricción interna

Es el parámetro que expresa la resistencia al deslizamiento entre partículas debido a la fricción interna del material. Nguyen y Pabst (2024) destacan que una granulometría bien gradada incrementa este ángulo, mejorando la estabilidad de los terraplenes.

Factor de seguridad

Es el índice que relaciona la resistencia disponible de un material con la resistencia requerida para mantener el equilibrio. Nguyen y Pabst (2024) indican que valores mayores a la unidad representan condiciones estables y seguras.

Granulometría

Se refiere a la distribución de tamaños de partículas que conforman un suelo o material granular. Según Nguyen y Pabst (2024), la granulometría influye directamente en la permeabilidad, la compactación y la resistencia mecánica del material.

Compactación

Es el proceso de densificación de un material mediante la aplicación de energía mecánica, con el propósito de reducir los vacíos y mejorar sus propiedades mecánicas. Li et al. (2024) sostienen que una compactación adecuada incrementa la estabilidad de los terraplenes.

Permeabilidad

Es la capacidad de un material para permitir el flujo de agua a través de sus poros. En depósitos de relaves, una permeabilidad controlada reduce la presión de poros y contribuye a la estabilidad global del depósito (Chávez, 2022).

Análisis de estabilidad

Comprende el conjunto de métodos analíticos y numéricos utilizados para evaluar la seguridad de una estructura geotécnica frente a posibles fallas. Popescu et al. (2022) señalan que estos análisis deben considerar condiciones estáticas, pseudoestáticas y dinámicas.

Análisis sísmico

Es la evaluación del comportamiento de una estructura geotécnica frente a cargas inducidas por movimientos sísmicos. Macedo et al. (2022) indican que este análisis es esencial en regiones de alta sismicidad para garantizar la seguridad de los depósitos mineros.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El comportamiento geotécnico y la estabilidad del terraplén se encuentran determinados significativamente por las propiedades de resistencia y las condiciones de confinamiento de la codisposición de relave y desmonte minero Esperanza, Huayllay - Pasco.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. La descripción geomecánica de los materiales de la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros permite definir los parámetros de resistencia al corte y permeabilidad requeridos para asegurar el soporte estructural del depósito.
- b. El análisis del efecto de la granulometría y el grado de compactación de los relaves y desmontes influyen directamente en la estabilidad del terraplén.
- c. La aplicación del método de análisis numérico proporciona una estimación de los factores de seguridad frente a fallas por corte en la estructura.

2.5. Identificación de variables

Variable independiente: Evaluación geotécnica y estabilidad del terraplén

Variable dependiente: Codisposición de relave y desmonte minero

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente Evaluación geotécnica y estabilidad del terraplén	Es la condición de equilibrio mecánico de la estructura de codisposición frente a fuerzas que tienden a provocar su deslizamiento, garantizando la seguridad mediante un factor de seguridad aceptable (Mesa et al., 2020).	Cuantificación de la estabilidad estructural evaluando la influencia de la permeabilidad y aplicando métodos de análisis numérico y empírico comparativos.	Influencia de la permeabilidad en la estabilidad	Factor de Seguridad (FS)
				Variación del FS en función de la granulometría de la mezcla
				Ensayos de corte directo y triaxial (CU, CD, UU)
				Coeficiente de permeabilidad (cm/s)
			Métodos de evaluación de estabilidad	Cálculo del Factor de Seguridad (Elementos Finitos)
				Cálculo del Factor de Seguridad con GeoStudio (Equilibrio Límite)
				Comparación con métodos empíricos

			Desplazamientos y deformaciones calculadas (mm)
Variable dependiente Codisposición de relave y desmonte minero	Es el conjunto de atributos físicos, hidrológicos y de resistencia que caracterizan al relave filtrado y al desmonte minero, los cuales determinan su comportamiento bajo carga y condiciones de saturación en la mezcla (Cacciuttolo y Pérez 2022).	Determinación de propiedades físicas, mecánicas, niveles de compactación y resistencia del material codispuesto mediante ensayos normalizados de laboratorio y campo.	Granulometría (%)
			Índice de plasticidad (%)
			Límites de Atterberg
			(Límite Líquido y Límite Plástico)
			Densidad seca máxima (g/cm ³)
			Humedad óptima de compactación (%)
			Energía de compactación (Proctor Modificado)
			Ángulo de fricción interna (grados)
			Cohesión del material (kPa)
		Propiedades físicas y mecánicas del material codispuesto	
		Compactación y resistencia	

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Naghi (2000) menciona que la investigación se clasifica como aplicada debido a que busca resolver problemas prácticos, concretos y específicos de la realidad utilizando los conocimientos teóricos existentes. Esto es debido a que la investigación utiliza datos experimentales (propiedades geomecánicas) y modelamiento numérico mediante software para resolver un problema práctico, el cual es garantizar la estabilidad física del terraplén de codisposición en la unidad Esperanza.

3.2. Nivel de investigación

Fue descriptivo, ya que evidenció por medio de análisis, las características geomecánica de las muestras y sus propiedades en el estado actual. Mientras que fue del lado explicativo, puesto que se encontró la explicación por medio de la evaluación de las condiciones que ocurren en el estado de estabilidad o potencial falla, determinado por el modelamiento en software. Estas explicaciones guardan relación con lo mencionado por Hernández et al. (2014) indica que el nivel descriptivo se centra en observar y reportar el análisis de las características de los fenómenos estudiados. Por

otro lado, la investigación también cumple el nivel explicativo, siendo este según Hernández et al. (2014) el cual se encarga de ver la causalidad entre eventos o fenómenos según su diseño.

3.3. Métodos de investigación

El estudio es deductivo porque parte de teorías geotécnicas ya validadas para aplicarlas al terraplén de codisposición en Esperanza, contrastando dichos postulados generales con datos particulares de campo y laboratorio. Según Hernández (2018) el método deductivo parte de teorías generales para derivar conclusiones particulares, avanzando de lo general a lo específico mediante comprobación empírica.

3.4. Diseño de investigación

Hernández et al. (2014) propone que el diseño no experimental porque no existe manipulación deliberada de las variables, sino que estas se observan y analizan tal como se presentan en su contexto real y natural, sin intervenir en las condiciones existentes. Al trabajar con materiales provenientes de una operación minera real, no es posible ni pertinente alterar dichas condiciones, sino únicamente recopilar información mediante ensayos de campo y laboratorio para, posteriormente, modelar y evaluar el comportamiento geotécnico del terraplén tal como se encuentra en la actualidad.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de la presente investigación estuvo constituida por la totalidad de 40500 m² de la estructura geotécnica que conforman el área del proyecto de codisposición de relave y desmonte minero Esperanza, ubicada en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco.

3.5.2. Muestra

La muestra evaluada del total que es 10500 m² de la estructura geotécnica que conforman el área del proyecto, estuvo conformada por un total de ocho calicatas y siete muestras distribuidas en la zona de estudio, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se empleó como técnica principal la observación experimental y el análisis documental técnico. Los instrumentos de recolección de datos consistirán en fichas de registro de laboratorio y protocolos de ensayos normalizados para medir las propiedades geomecánicas como la granulometría, límites de Atterberg y parámetros de resistencia. Asimismo, se utilizará un software especializado como instrumento de modelamiento numérico para simular el comportamiento del terraplén y obtener los valores del factor de seguridad.

Tabla 2. Técnicas e instrumentos

N°	Técnica	Instrumento
1	Observación directa de campo (mapeo geológico–geotécnico)	Ficha de mapeo geológico–geotécnico
2	Exploración geotécnica (excavaciones manuales – calicatas)	Ficha de registro de excavaciones manuales
3	Ensayo de densidad in situ	Ficha de registro de ensayo de densidad in situ
4	Ensayo de clasificación SUCS	Ficha de registro de clasificación SUCS
5	Ensayo de granulometría	Ficha de registro de ensayo de granulometría
6	Ensayo de límites de Atterberg	Ficha de registro de límites de Atterberg
7	Ensayo de densidad (laboratorio)	Ficha de registro de ensayo de densidad
8	Ensayo de resistencia triaxial	Ficha de registro de ensayo de resistencia triaxial

Fuente: Elaboración Propia

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

La selección de los instrumentos se basó en estándares internacionales, asegurando que los equipos de laboratorio cuenten con certificados de calibración vigentes para garantizar la precisión de los datos. La validación de los instrumentos de las fichas de datos se obtuvo por medio de los resultados de los equipos y las pruebas.

Por su parte, la confiabilidad del modelamiento numérico se fundamentó en el uso de algoritmos matemáticos validados, los cuales han sido contrastados globalmente para el análisis de estabilidad de estructuras mineras.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de la información se llevó a cabo mediante la organización sistemática de los resultados obtenidos en los ensayos; y con ello realizar el variograma en función a la distancia de la muestra y el Angulo de fricción; y este último con el contenido de finos.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el tratamiento estadístico se realizó una simulación por medio de computadora de métodos numéricos con el software Plaxis2d y de equilibrio límite con el Software Slide V.6.0.

3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica

Apaza (2016) menciona que la ética y la epistemología son pilares filosóficos esenciales que validan la investigación científica. Mientras la ética garantiza la integridad, honestidad y responsabilidad del científico en su conducta, la epistemología asegura la coherencia lógica y el rigor en los procesos y resultados. Juntas, actúan como observadores críticos que determinan la validez y calidad de la construcción del conocimiento científico. De esta forma, el estudio se realizó teniendo a consideración el crédito de los autores mencionados y referenciados, cuidando el trabajo de investigación.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Geología

Geología local

Los modelos geológicos y geotécnicos de la zona de Esperanza (plano geológico de superficie y perfiles) se elaboraron con las investigaciones realizadas por SRK de febrero a marzo del 2019, y con los estudios anteriores como el “Estudio de ingeniería de detalle para el recrecimiento del depósito de relaves Animón” de Golder en el 2009, donde se evaluaron perfiles de refracción sísmica P1- P1’ y P2-P2’, línea MASW S1-S1’ y una de resistividad eléctrica R1-R1’ y dos perforaciones diamantinas con recuperación de testigos SG-04 y SG-05. Actualmente, la ubicación de las investigaciones geotécnicas de estudios anteriores está cubiertas por el cuerpo del recrecimiento de la presa este del depósito de relaves Animón, dichos modelos geológicos fueron corroborados con la nueva campaña de investigación ejecutada por SRK, con la ejecución de excavaciones de calicatas y perforaciones diamantinas.

Geomorfología

Entre el flanco este de la cordillera Occidental y la zona agreste de bosque de piedra de Huayllay se muestra una franja de depresión de 18 km aproximadamente con orientación preferente de NO-SE. El relieve característico es una sucesión de colinas alargadas y redondeadas de perfiles redondeados en cuyas depresiones se concentran las lagunas de origen glaciar como: Lagunas Naticocha Norte, Naticocha Centro, Naticocha Sur, Shegue, Huaroncocha e Yanamachay. Por otro lado, en la Carta Geográfica Nacional del Instituto Geográfica Nacional (IGN) en el cuadrángulo de Ondores (23-k) la laguna Naticocha es una sola.

El depósito de relaves Animón y el depósito de desmonte Esperanza se encuentra ubicado en el extremo norte de la laguna Yanamachay. El contexto del proyecto se desarrolla dentro de una morfología característica de ambiente glacial, en el cual se desarrollan superficies llanas a onduladas y superficies de pendiente suave a moderadas, de tal forma que el depósito de material codispuesto de relaves y desmontes se configura íntegramente sobre una superficie sub horizontal conformada superficialmente por depósitos fluvioglaciares y lacustrinos que cubren el basamento rocoso.

Unidades lito estratigraficas

El proyecto del depósito de material codispuesto de relaves y desmontes en Esperanza, está ubicado en la margen derecha del depósito de relaves Animón y al norte de la laguna Yanamachay. El depósito Esperanza utilizara el area donde se encuentra actualmente el depósito de desmonte Esperanza de 20 a 22 m de espesor y utilizara estos materiales para formar la mezcla con los relaves provenientes de la planta de filtrado. El depósito de material codispuesto tendra como lecho de cimentación los depósitos fluvioglacial y lacustrino y la roca arenisca está de 7 a 10 m de profundidad.

En los siguientes párrafos se describirá cada una de las unidades litológicas registradas en el área del estudio y zonas aledañas desde la más antigua a más reciente:

Las “Capas Rojas” del Grupo Casapalca, están constituidas por margas, lutitas, areniscas de color rojizo y limonitas. En la base presenta niveles de conglomerados con clastos de areniscas rojas, calizas, esquistos subangulares e intrusivos, recorriéndolo hasta el tope se observa predominantemente calizas blanquecinas con intercalaciones de conglomerados y areniscas.

Esta formación es de ambiente continental, se atribuye desde Cretáceo Superior (Santoniano) hasta el Paleógeno Temprano y Eoceno Medio.

Marga roja: Esta unidad sedimentaria está conformada principalmente por una secuencia de marga roja, alternada ocasionalmente por marga gris y limolitas. Se extiende ampliamente en el área del depósito de relaves en donde constituye el basamento rocoso conformado mayormente por marga roja. La marga roja debe su componente principal arcilloso a su origen primario (lodolita calcárea) y en parte a la alteración hidrotermal los que generan minerales arcillosos. Esta particularidad influye en la reducción de la calidad de la roca, específicamente en el grado de resistencia y en la permeabilidad del material.

La marga roja se emplaza en estratos de rumbo general NO, buzamientos al E con variaciones al O (sector del dique oeste) por efecto de la gran estructura anticlinal, superficialmente se presenta meteorizado, de coloraciones rojizas muy característico, con resistencia baja y media ocasionalmente. La marga gris presenta mayor alteración y en consecuencia resistencia más baja. En general el macizo está afectado por plegamientos menores y fracturamiento moderado.

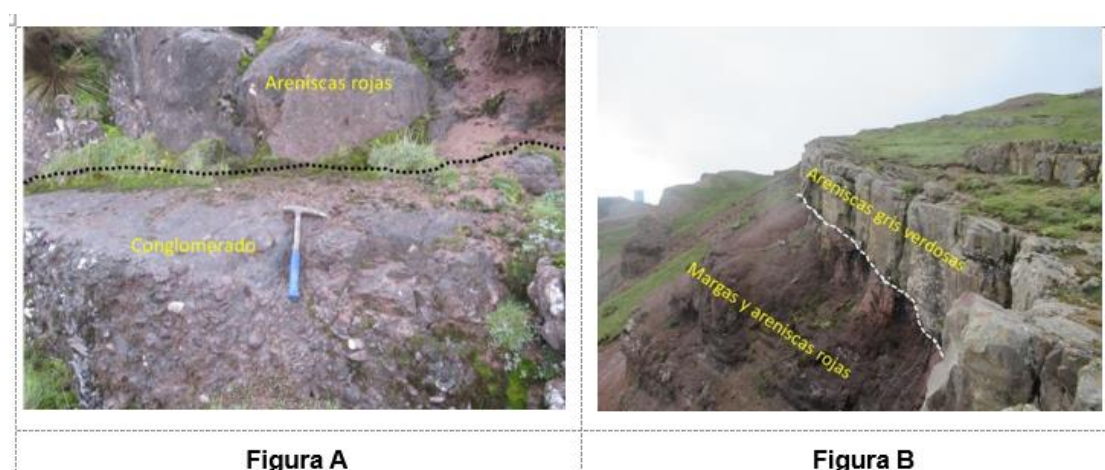
Margas, areniscas, conglomerados y caliza chertica: La secuencia de conglomerados (Ver Figura 1- A) se expone al Norte del depósito de desmonte

esperanza, mientras que la alternancia de margas y areniscas marrón rojizo, se encuentra expuesta al SE y al Norte de la desmontera esperanza, son rocas de resistencia media, moderadamente alterada, también se tiene a las areniscas de color gris (Ver Figura 1-B, de grano fino a medio y de resistencia media a alta, en las investigaciones se ha detectado la ocurrencia de areniscas dentro del área de emplazamiento de las relaveras.

El conglomerado está conformado por clastos de caliza y cuarcita con diámetro promedio de 10 cm, englobados en una matriz areno calcárea, se emplazan a manera de mantos gruesos que alcanzan los 20 m de potencia, orientados al N 320° a N 340° y buzamiento entre 20° y 30° al NE, son duros y presentan ocasionalmente cavidades (Ver Figura 1 - A).

También se tiene el afloramiento de calizas chérticas al NE en la parte superior de la carretera nacional que viene desde la ciudad de Huallay, son rocas duras a muy duras, moderadamente meteorizadas, con presencia de cherts y clastos de cuarcita.

Figura 1. Fotografía de contacto litológico entre arenisca roja y conglomerados



Fuente: Elaboración Propia

Depósitos del Cuaternario

Las unidades de suelos comprenden en general por la acción glacial, tipo depósitos fluvioglaciares, coluviales y lacustrinos. También, se tienen los depósitos

generados por la actividad minera denominados depósitos desmonte Esperanza, depósito de relaves Animón y el material de la presa de relaves:

Depósitos fluvioglaciares

Los depósitos de relaves Animón y desmontera Esperanza, según SRK (2019) están emplazados sobre depósitos fluvioglaciares, los mismos fueron verificados mediante perforaciones diamantinas ejecutadas. En el sondeo SH-11A se registró 9.0 m y el SH-13 alcanzó los 14.9 m de espesor, se caracterizan por ser gravas limosas con arena con cierta intercalación de arcilla limosa, medianamente densa y firme, húmeda, de color marrón claro a rojizo, presentan gravas subangulosas de $T_{\text{máx}}=2''$.

Sin embargo, a partir de los estudios anteriores como Golder (2009), en el dique este adyacente al depósito desmonte Esperanza se intercalan suelos tipo fluvioglaciario y suelo tipo lacustrino. En el sondeo SG-04 se reconoció 1.5 m de espesor (14.0 a 15.5 m) de fluvioglaciario (CG=grava arcillosa), seguido por suelo lacustrino (ML=limo arenoso) de 2.0 m de espesor (15.5 a 17.5 m) y en el sondeo SG-05 se reconoció 1.3 m de espesor de suelo lacustrino (CL=arcilla con arena) (7.7 a 11.0 m), seguido por suelo fluvioglaciario (GC) de 3.0 m de espesor (11.0 a 14.0 m).

Depósito lacustrinos

Los depósitos lacustrinos son sedimentos finos que se forman en el fondo de las lagunas. Los sedimentos finos registrados en el perímetro de la laguna Yanamachay y los registrados en las perforaciones SH-13 alcanzo espesores de 0.60 a 0.75 cm, estando intercaladas con el depósito fluvioglaciario.

También en estudios anteriores como el de Golder (2009), en las perforaciones SG-04, SG-05, SG-06 y SG-16, registraron en las dos primeras perforaciones los sedimentos finos intercaladas con sedimentos fluvioglaciares y en las dos últimas perforaciones se registró que las perforaciones se realizaron en sedimentos fino (CL).

Los espesores de los sedimentos lacustrinos varían, en el piezómetro PZ-02 tiene 8.0 m de espesor, en el sondeo SG-06 fue de 4.9 m de espesor y en el sondeo SG-16 está a 11.5 m de espesor. La superficie de la roca es irregular.

Depósitos del Antropoceno

Estos materiales lo constituyen depósito de relaves Animón, depósito de desmonte Esperanza y material de préstamo de la presa de relaves.

Depósito de relaves (RL): están constituidos por arcilla limo-arenosa, relave fino, plasticidad media, consistencia medianamente dura, húmedo a mojado y que actualmente vienen siendo depositados en el depósito de relaves Animón.

Depósito de desmonte Esperanza (DMT-1): están constituidos por grava arcillosa con arena, finos de plasticidad media, compacidad medianamente densa, húmeda, color marrón claro, con presencia de gravas y bolones subangulares de $t_{máx}=12''$ y $17''$. Dicho material es extraído de la mina subterránea y trasladados al depósito Esperanza.

Depósito de la presa (DQ): es el material del cuerpo de presa, conformado por grava arcillosa con arena, finos de plasticidad media, compacidad densa, húmedo, color gris rojizo con gravas y bolones subangulares de $T_{máx}= 7''$, con origen desmonte de mina.

Unidad Volcanica

La roca cuarzo monzonita se emplaza a manera de cuerpo regular (dique) con orientación NO-SE en la parte superior o cabecera del depósito de relaves Animon. En afloramiento se presenta generalmente fresca a ligeramente alterado por intemperismo y por acción hidrotermal, pues se encuentra cortado por estructuras vetas mineralizadas transversales (E-O). La roca es de textura porfirítica, con componentes de fenocristales

de plagioclasa de 1 cm, cuarzo redondeado y máficos, roca dura (resistencia alta) y fracturamiento moderado.

Geología estructural

El anticlinal de Huarón constituye la estructura geológica predominante en el sector de Animón, siendo responsable de controlar tanto la estratificación como la mineralización presente en la secuencia del Casapalca. Esta estructura se define por su carácter asimétrico, su doble hundimiento y su orientación N 25° O. La secuencia del Casapalca Inferior es la base sobre la que se asientan el depósito de relaves Animón y la desmontera Esperanza, se ubica en el flanco este-sureste de dicho anticlinal. En esta zona, las margas de tonalidad rojiza y grisácea presentan un rumbo predominante norte-sur, con buzamiento hacia el este, aunque muestran variaciones producto de plegamientos de carácter localizado..

Como consecuencia de este plegamiento, la disminución de las fuerzas compresivas genera zonas de distensión, favoreciendo el emplazamiento de diques longitudinales de dirección N-S, compuestos por cuarzo monzonita. Una vez emplazado el cuerpo intrusivo, se produce un fracturamiento pre-mineral tanto transversal como longitudinal, además de un desplazamiento de tipo hórstico en el sector central del distrito minero Animón.

Los depósitos minerales en Animón son de vetas agrupadas en dos sistemas de orientación convergente con dirección E-O pero uno con buzamiento al norte y el otro hacia el sur. Las estructuras relacionadas al proyecto de relaves son la veta Andalucía y la veta Málaga, al norte de la relavera se emplazan la veta Restauradora, veta Noreste, veta 190, veta 195 entre otras, en general son de orientación E-O y están actualmente en continuo trabajo de exploración, como se observa en la Figura 2

Figura 2. Fotografía de estructuras mineralizadas – Animon y Esperanza



Nota. Las proyecciones de vetas son referenciales (Hidroandes – Plano 06)

Fuente: Tomado de Google Earth Pro, 2023.

Relacionados a estas estructuras mineralizadas en el área de Animón-Huarón se emplazan dos fallas principales de orden regional que controlan las estructuras mineralizadas y dividen en cuatro sectores el ámbito del anticlinal en la mina Huarón, estas son denominadas falla Cometa Huaychao de orientación N-S y falla Llacsacocha de orientación N-S. La primera es paralela al eje del anticlinal Huarón, se extiende en dirección al sur por debajo del depósito de relaves y de la laguna Huaroncocha-Yanamachay; y hasta alcanzar las laderas al Norte del depósito de relaves Animon.

También se tiene discordancias angulares visibles en cada flanco del anticlinal, parece tener un efecto en el control estructural de la mineralización, dichas discordancias angulares se encuentran expuestas hacia la parte alta y NE del depósito de depósito Esperanza como se observa en la Figura 3.

Figura 3. *Fotografía de discordancia angular al NE del depósito esperanza*



Fuente: Tomado de SRK, 2019.

Hidrogeología

Según Hidroandes Consultores SAC (2019), el depósito de material codispuesto se encuentra dentro de la microcuenca Esperanza 1 y 2, éstas tienen un área de 0.27 y 0.10 km² y se ubican en la cabecera del depósito de relaves Animon y el depósito de material codispuesto proyectado. La forma de las microcuencas es regularmente redondeada, localizada en depósitos fluvioglaciares que consta de arcillas con gravas angulosas.

Hidroandes Consultores S.A.C. (2019) en el Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico para el nuevo depósito de material codispuesto – Unidad Animón, consideró los depósitos cuaternarios (fluvioglaciares) como la primera unidad hidrogeológica y las areniscas y margas rojas de la formación Casapalca como la segunda unidad hidrogeológica, cuyo índice de permeabilidad es como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Conductividad Hidráulica

Litología	Conductividad Hidráulica			
	Prom.	Media Geo	Max.	Min.
Fluvioglacial	1.6E-03	8.9E-04	4.4E-03	7.1E-05
Areniscas y Margas	1.3E-03	1.2E-03	2.0E-03	7.8E-04
Margas	2.7E-04	2.6E-04	3.6E-04	2.0E-04
Formación Casapalca Arenosas	4.3E-04	4.2E-04	6.2E-04	2.9E-04
Conglomerado	4.5E-05	2.4E-05	1.0E-04	2.5E-06
Margas rojas				

Fuente: Tomado de Hidroandes Consultores SAC, 2019.

Asimismo, en el informe de investigaciones geotécnicas Golder (2009) describe tres unidades geotécnicas como son: el desmonte de mina Esperanza, constituido por gravas limo arcillosas (GP- GM o GC), de partículas angulosas, de plasticidad media, húmeda, color beige, compacidad media, de permeabilidad media, las arcillas arenosas de origen lacustre, húmeda, de consistencia media, de plasticidad media, color marrón, de permeabilidad media y el basamento rocoso conformado por una marga fresca, ligeramente meteorizada, fracturada, de baja permeabilidad.

Según el monitoreo de Hidroandes (2019), la evolución de los niveles piezométricos no ha tenido gran variación entre las dos épocas (seca y húmeda) de medición de datos. Se tiene una fluctuación de 0.01 a 9.21 m, las que están sobre material fluvioglacial y margas. Se describe como subsuelos de baja permeabilidad lo cual hace difícil el flujo a profundidad.

En cuanto a la recarga, esta varía periódicamente puesto que en época de lluvia el agua del deshielo y de lluvia se infiltran en las rocas y fluye por medio de las fracturas. Mientras que en época seca la recarga es baja a nula. La recarga para el área del proyecto es de 35 mm/año, medidas calculadas por Hidroandes, 2019.

Para el caso de descargas, subterráneamente es muy somero y se dan por medio

de manantiales y cursos de agua que terminan descargando en la laguna Huaroncocha. La descarga en los bofedales se observa superficialmente humedecidas, estas se encuentran conectadas a la napa freática de suelos fluvioglaciares con presencia de turba orgánica. Esto evidencia un nivel freático somero.

A partir de las investigaciones geotécnicas ejecutadas por SRK (2023), así como la excavación de calicatas y perforaciones diamantinas, se observó que en la calicata CE-06 ubicada al sur de la desmontera Esperanza se encontró filtración de agua a la profundidad de 1.2 m.

4.1.2. Ingeniería geológica del proyecto

Actualmente el depósito Esperanza alberga material de origen antropogénico proveniente del material extraído de la mina subterránea, está constituido por grava arcillosa con arena, finos de plasticidad media, compacidad medianamente densa, húmeda, color marrón claro, con presencia de gravas y bolones subangulares de $t_{\text{máx}}=12''$ y $17''$, con espesores que varían de 1.0 a 20.0 m.

Por debajo de los depósitos antropogénicos y cuaternarios se tiene el basamento rocoso que está conformado por rocas del Casapalca Inferior, constituida por margas rojas y margas con secuencias de marga gris, cuya configuración fue establecida a partir de los ensayos MASW, donde las velocidades de las ondas de corte (V_s) son mayores a 350 m/s, y según la norma técnica peruana de diseño sísmo resistente (E-030 2016) se clasifica como el suelo tipo S2 a S1.

El basamento rocoso se expone en superficie al Norte y parte alta del depósito Esperanza con ciertos horizontes de conglomerados y areniscas rojas, y hacia el Este del depósito Esperanza, aflora las rocas margas intercaladas con areniscas de color marrón rojizo; las margas rojas, grises y areniscas son roca moderadamente dura, ligeramente meteorizadas, moderadamente fracturada y los conglomerados con clastos

de cuarcita, color marrón claro, ligeramente meteorizado, masivo.

Como parte del control de la escorrentia superficial provocada en las temporadas de lluvia, hacia el NE al pie del depósito existe un canal de coronación de concreto que deriva las aguas de superficiales hacia la laguna Yanamachay, para evitar la erosión de suelos, desestabilización de taludes y la socavación de estructuras.

4.1.3. Peligros geológicos

El proyecto de codisposicion de relave y desmonte Esperanza, está ubicado en la margen derecha del depósito de relaves Animón y en la orilla de la laguna Yanamachay. No se ha registrado evidencia de fenómenos de geodinámica externa relevante, pero si se tiene pequeñas escarpas de erosión, como se observa en la Figura 4, se encuentran ubicadas hacia el Norte y ladera alta del depósito Esperanza, estando expuestas paralelas a la vía nacional, siendo estas erosionadas por la alta ecorrentia superficial, producto de las precipitaciones pluviales, arrastrando hacia las partes bajas el material suelto.

Figura 4. Fotografía de escarpas de erosión 1



Nota. Tomado de SRK, 2019.

La zona Sur y ladera baja del depósito Esperanza y la relavera Animon se encuentran a una distancia equidistante de 15.0 a 80.0 m de longitud, estando cerca de la laguna Yanamachay, presentando un riesgo alto por el aumento del nivel del agua

(espejo de agua) de la laguna, ya que esta fluctúa dependiendo de las lluvias y los patrones climáticos, al mismo tiempo provocando el aumento del nivel del agua que podría alcanzar al talud de los depósitos de relaves Animón y depósito Esperanza, ocasionando la desestabilización de los taludes del cuerpo de la presa y estructuras existentes.

Figura 5. *Fotografía de escarpas de erosión 2*



Fuente: Tomado de SRK, 2019

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Mapeo geológico – geotécnico

La evaluación geológica del proyecto empezó con el levantamiento geológico detallado (1:1000) de la zona del proyecto, este permitió identificar y registrar los siguientes aspectos: rasgos geomorfológicos, principales tipos litológicos, elementos geoestructurales, evaluación de las condiciones hidrogeológica y evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales.

4.2.2. Excavaciones manuales

Se llevó a cabo una campaña de investigaciones geotécnicas en la zona Esperanza, en la cual se realizó ocho (08) calicatas, siete (07) muestreos en material de desmonte. Las campañas de investigación que se recopilaron se han ejecutado para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales donde se emplaza el

depósito de relaves Animón, los cuales se utilizarán para caracterizar los materiales conformados en el modelo geotécnico de la Codisposicion de relave + desmonte en zona de desmontera Esperanza.

En las calicatas excavadas se han ejecutado ensayos de densidad y humedad in situ mediante el método de cono con arena calibrada (ASTM D1556).

Tabla 4. *Ubicación de calicatas*

Zona	Calicata	Cota (m)	Prof. (m)	Este (m)	Norte (m)
Desmontera Esperanza	CE-01	4595	3.50	345,329	8,779,647
	CE-02	4593	3.50	345,333	8,779,544
	CE-03	4584	3.00	345,455	8,779,461
	CE-04	4588	3.50	345,523	8,779,568
	CE-05	4601	4.10	345,472	8,779,578
	CE-06	4585	1.40	345,403	8,779,470
	CE-07	4585	1.00	345,529	8,779,455
	CE-08	4585	1.20	345,534	8,779,568

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3. Ensayos de densidad in situ

En las diferentes zonas de Esperanza, se ejecutaron ensayos de densidad in situ con el método de cono y arena calibrada, siguiendo la norma ASTM D1556, las cuales se muestran en la Tabla 4. Además, se ha recopilado información de ensayos de densidad in situ realizados en zonas cercanas con condiciones de cimentación similares y ensayos realizados al dique de la relavera Animón debido a que se usó material de la desmontera Esperanza para su construcción.

Tabla 5. Ensayos de densidad in situ

Zona	Calicata	Prof (m)	Densidad Natural (gr/cm ³)	Humedad (%)	Densidad Seca Global (gr/cm ³)
Esperanza/ Dique	CE-01	1.00	1.570	9.84	1.750
	CE-01	1.70	1.680	10.57	2.030
	CE-02	0.80	1.800	9.56	1.780
	CE-02	1.70	1.630	10.60	1.750
	CE-05	2.00	1.680	10.26	1.750
Esperanza/ Cimentación	CE-06	0.80	1.840	24.81	1.580
	CE-07	0.40	1.960	17.64	1.680
	CE-08	0.50	1.430	59.07	0.900

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos

Con el objetivo de caracterizar el material de cimentación y el desmonte mina en las condiciones actuales, se ejecutaron los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422),
- Gravedad específica de sólidos (ASTM D-854)
- Corte directo (ASTM D-3080-72)
- Triaxial CU (ASTM D-4767)
- Consolidación unidimensional (ASTM D 2435-80)
- Permeabilidad a carga constante (ASTM D-5084)

Clasificación SUCS

Se han realizado catorce ensayos de granulometría por tamizado, límites de Atterberg y la clasificación SUCS de los materiales muestreados en las investigaciones. Además de la recopilación de la información histórica. Los ensayos fueron ejecutados según los procedimientos indicados en las normas ASTM D-422, ASTM D-4318 y ASTM D-2487

Tabla 6. *Ensayos de granulometría, límites de atterberg y clasificación SUCS del sondaje*

Zona	Sondaje	Muestra	Granulometría			Límites Atterberg			SUCS	Material
			G(%)	A(%)	F(%)	LL(%)	LP(%)	IP(%)		
Esperanza/ Dique	CE-01/CE-02		62.7	24.1	13.2	25	18	7	GC	Grava arcillosa con arena
			63.3	21.1	15.6	28	20	8	GC	Grava arcillosa con arena
	CE-03/CE-04/CE-05									
Esperanza/ Cimentación	CE-06	M-1	44.1	23.6	32.3	31	23	8	GM	Grava limosa con arena
	CE-07		58.4	27.0	14.6	34	27	7	GM	Grava limosa con arena
	CE-08		0.0	15.2	84.8	47	27	20	CL	Arcilla ligera arenosa
Esperanza/ Desmonte	DM-01		59.7	27.7	12.6	25	17	8	GC	Grava arcillosa con arena
	DM-02		61.2	26.3	12.5	25	17	8	GC	Grava arcillosa con arena
	RF-01		0.0	26.1	73.9	25	16	9	CL	Arcilla limosa
Relave Fino	RF-01	M-2	0.0	42.5	57.5	21	14	7	CL-ML	con arena
	RF-01	M-3	0.0	41.2	58.8	21	14	7	CL-ML	
Mezcla 2R-1P	MR-01	M-1	27.1	24.2	48.7	25	17	8	CL	Grava arcillosa con arena
Mezcla 3R-	MR-02	M-1	25.5	23.0	51.5	26	17	9	CL	Arcilla ligera

1P	arenosa								
Mezcla 3R- 1P	MR-02	M-2	26.9	21.6	51.5	26	16	10	CL
Mezcla 4R- 1P	MR-03	M-1	19.7	24.6	55.7	26	16	10	CL

Nota. L.L. es Límite Líquido, SUCS es Sistema Unificado de Clasificación de suelos, L.P. es Límite Plástico e I.P. es Índice Plástico.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Análisis granulométrico por tamizado

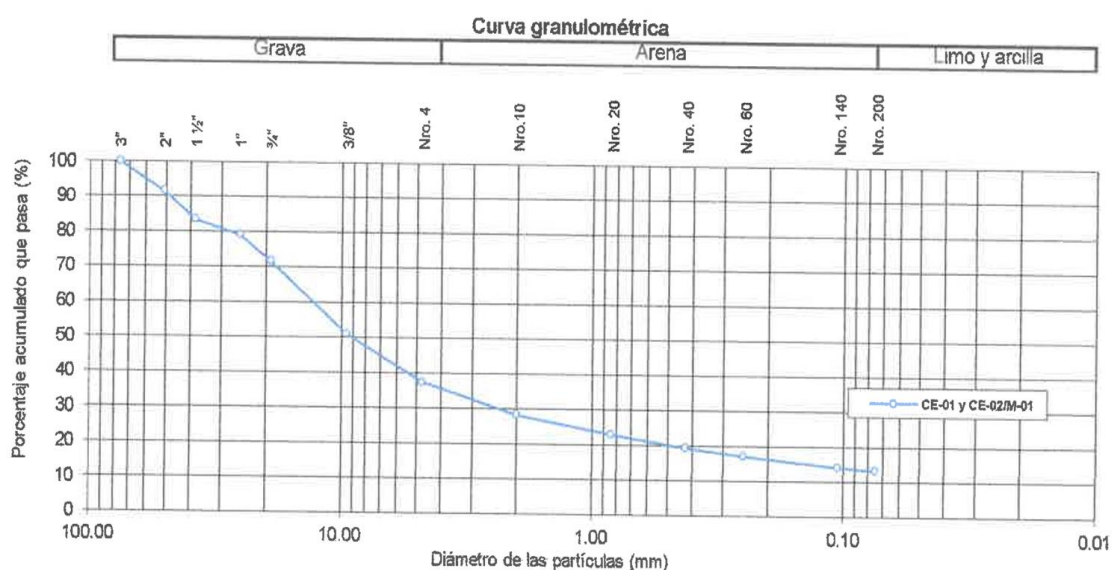
Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D6913)		
Nro. Malla	Abertura (mm)	% Acum. que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	91.6
1 ½"	38.100	83.4
1"	25.400	79.2
¾"	19.100	71.7
3/8"	9.520	51.0
N° 4	4.760	37.3
N° 10	2.000	28.3
N° 20	0.840	22.9
N° 40	0.425	19.4
N° 60	0.250	17.2
N° 140	0.106	14.1
N° 200	0.075	13.2

Fuente: Tomado del ASTM D6913, 2009.

El análisis de la curva granulométrica y la determinación de los límites de Atterberg se utilizaron con el propósito fundamental de clasificar e identificar las propiedades físicas y el comportamiento mecánico de los materiales que conforman la codisposición. A través de la granulometría, se cuantificó la distribución del tamaño de las partículas para evaluar el grado de empaquetamiento y permeabilidad potencial del depósito, mientras que los límites de Atterberg permitieron definir la cohesión y la susceptibilidad del suelo ante variaciones en el contenido de humedad. El

establecimiento de estas variables fue para alimentar los modelos numéricos de estabilidad y comprender la respuesta estructural del terraplén bajo cargas operacionales. Como base de este proceso de caracterización, a continuación se presentan las representaciones gráficas correspondientes al registro de las calicatas y muestras ejecutadas en campo.

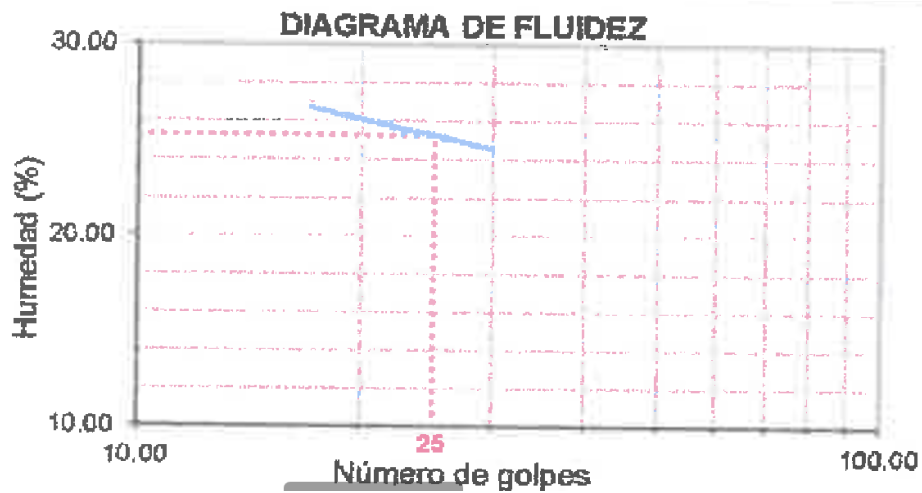
Figura 6. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-01/CE-02



Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio para el CE-01/CE-02 se dio que Grava tiene un 62.7%, Arena tiene un 24.1% y Finos tiene un 13.2%. Según se clasificación por SUCS es Grava arcillosa con arena.

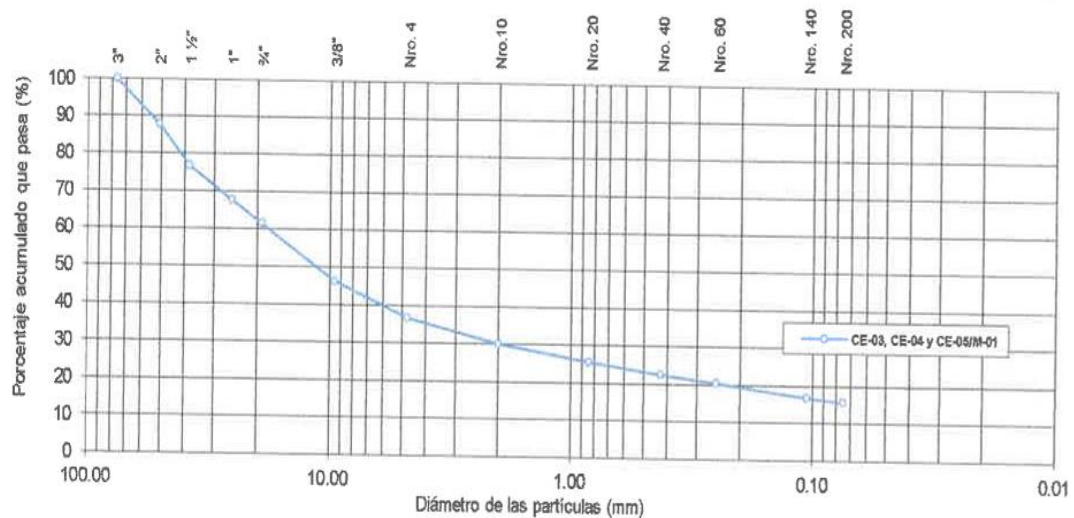
Figura 7. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-01/CE-02



Fuente: Elaboración propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 25%, límite plástico de 18% y índice plástico de 7%

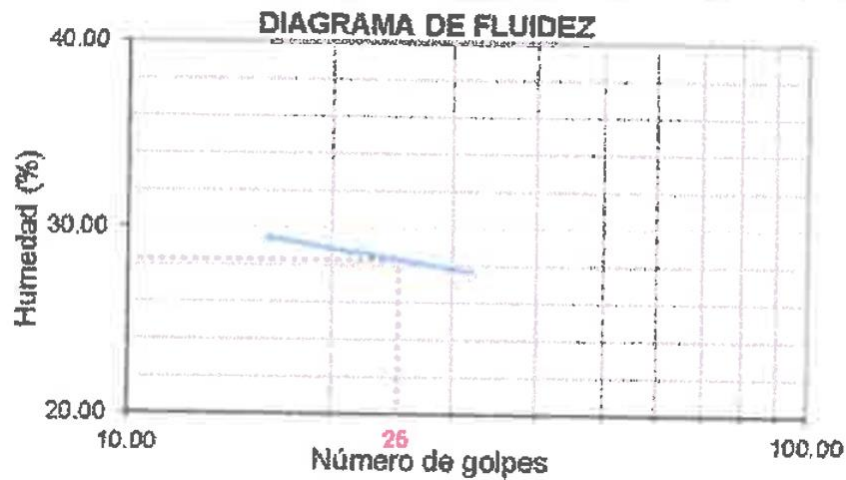
Figura 8. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-03/CE-04/ CE-05



Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio para el CE-03/CE-04/ CE-05 se dio que Grava tiene un 63.3%, Arena tiene un 21.1% y Finos tiene un 15.6%. Según se clasificación por SUCS es Grava arcillosa con arena.

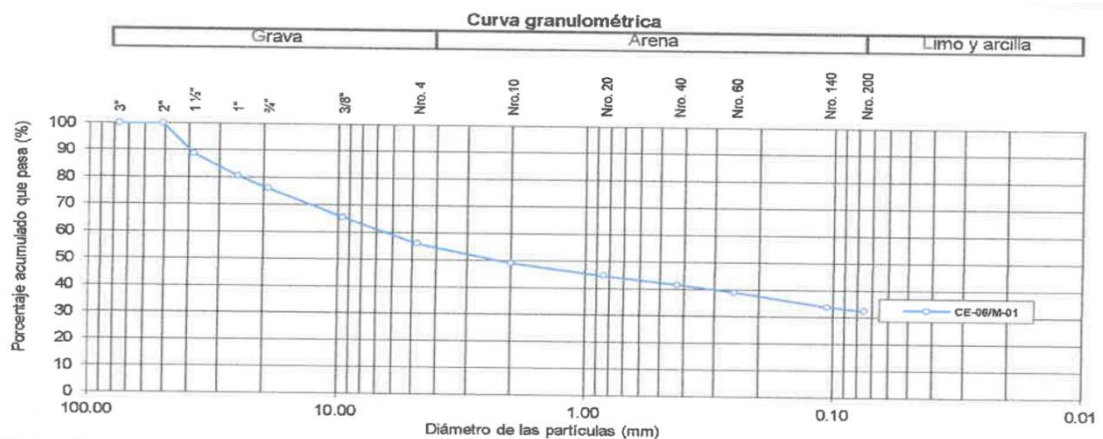
Figura 9. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-03/CE-04/ CE-05



Fuente: Elaboración propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 28%, límite plástico de 20% y índice plástico de 8%

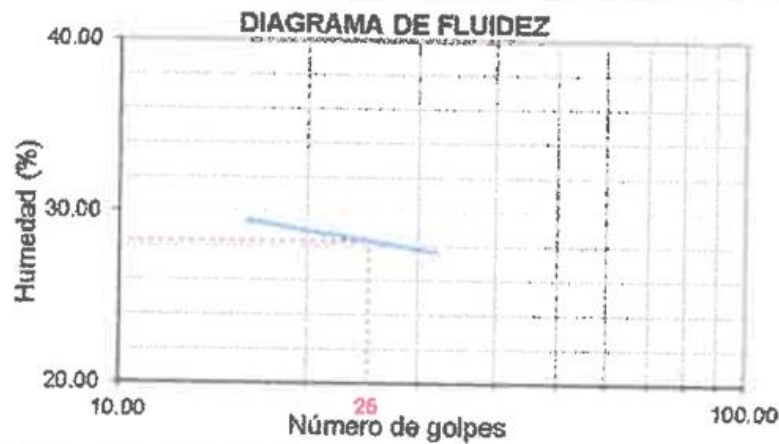
Figura 10. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-06



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio para el CE-06 se dio que Grava tiene un 44.1%, Arena tiene un 23.6% y Finos tiene un 32.3%. Según se clasificación por SUCS es Grava limosa con arena.

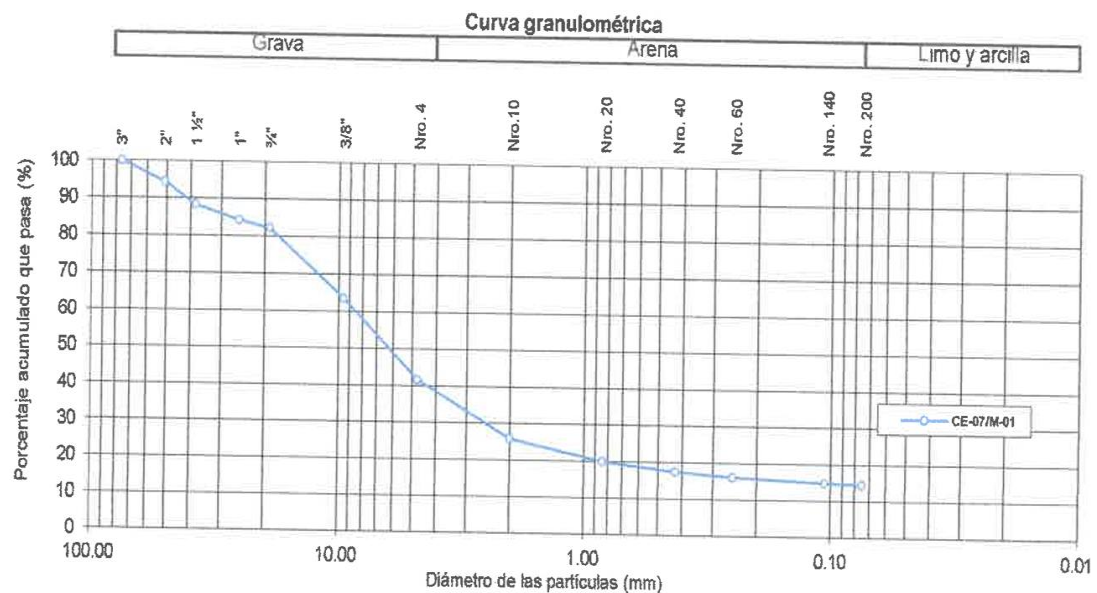
Figura 11. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-06



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 31%, límite plástico de 23% y índice plástico de 8%.

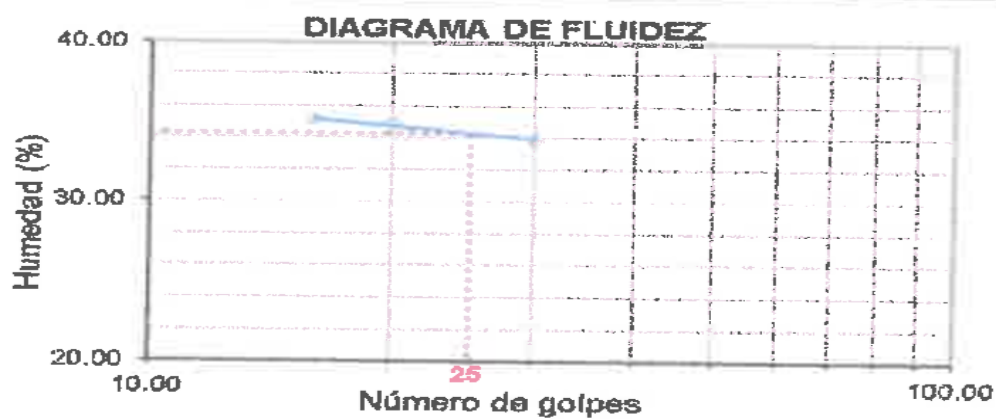
Figura 12. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-07



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio para el CE-07 se dio que Grava tiene un 58.4%, Arena tiene un 27% y Finos tiene un 14.6%. Según se clasificación por SUCS es Grava limosa con arena.

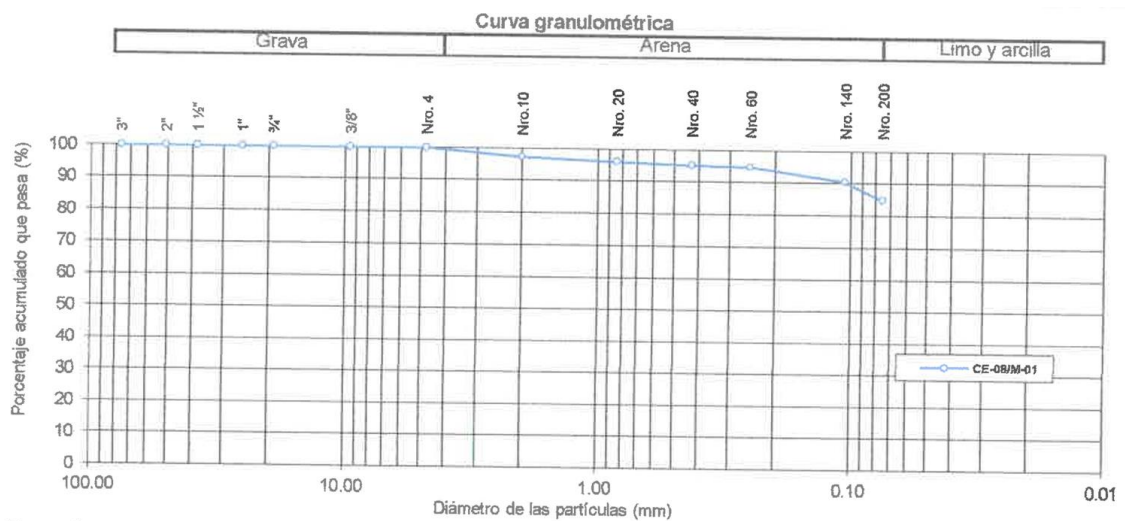
Figura 13. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-07



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 34%, límite plástico de 27% y índice plástico de 7%.

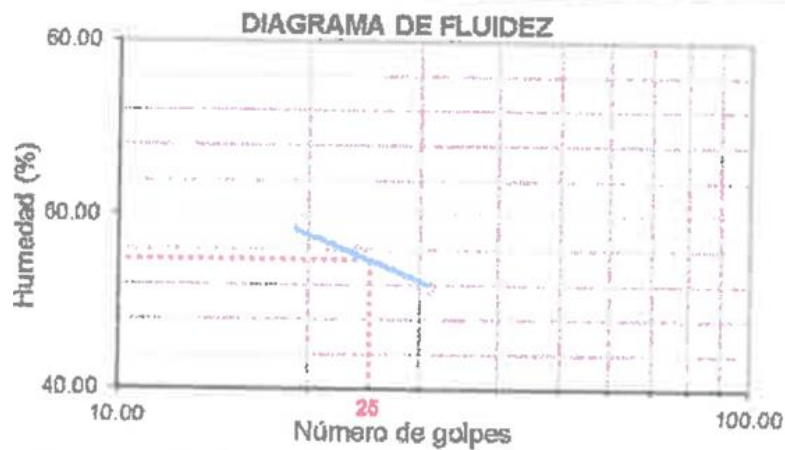
Figura 14. Gráfico de curva granulométrica del sondaje CE-08



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio para el CE-08 se dio que Grava tiene un 0%, Arena tiene un 15.2% y Finos tiene un 84.8%. Según se clasificación por SUCS es Arcilla ligera arenosa.

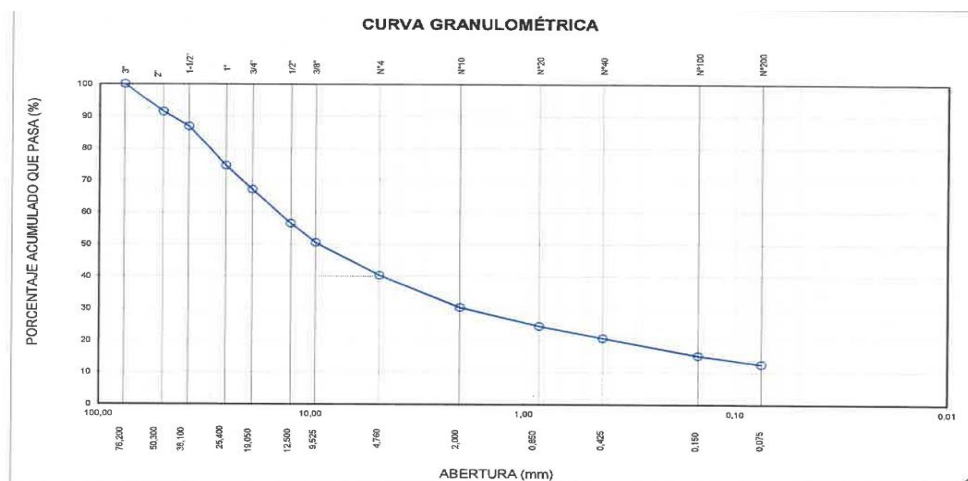
Figura 15. Gráfico de diagrama de límites de atterberg del sondaje CE-08



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 47%, límite plástico de 27% y índice plástico de 20%.

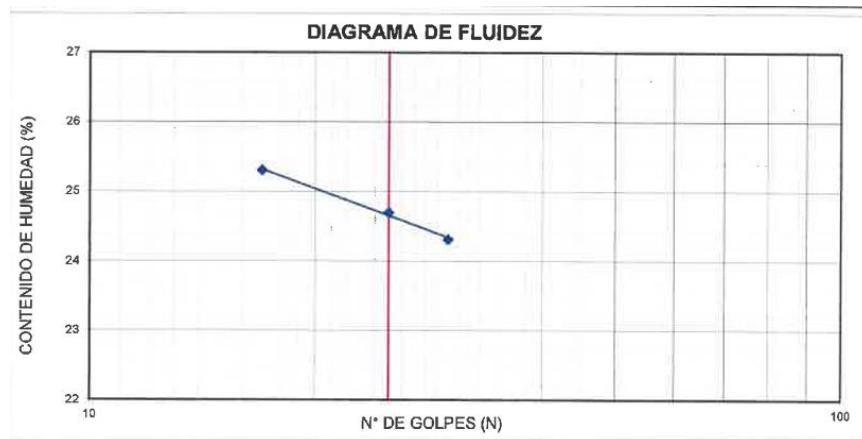
Figura 16. Gráfico de curva granulométrica de DM-01, M1



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio se dio que Grava tiene un 59.7%, Arena tiene un 27.7% y Finos tiene un 12.6%. Según se clasificación por SUCS es grava arcillosa con arena.

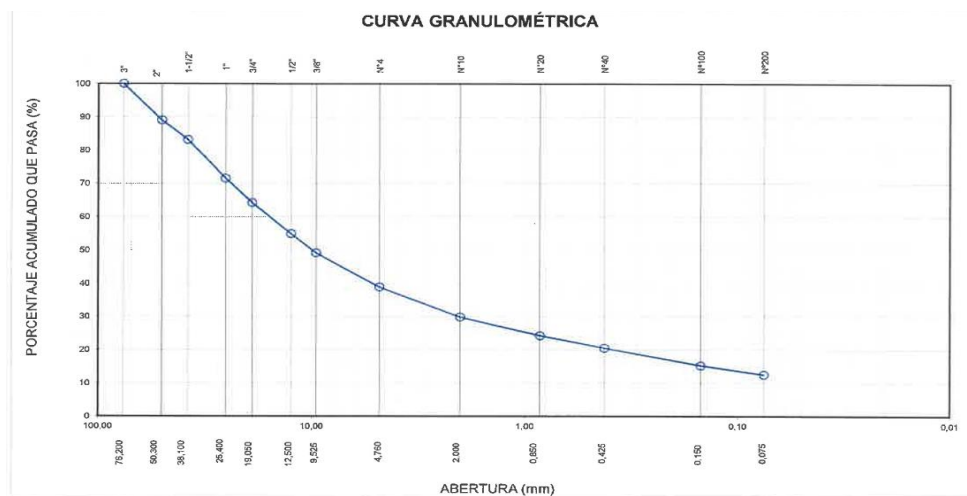
Figura 17. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de DM-01



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 25%, límite plástico de 17% y índice plástico de 8%.

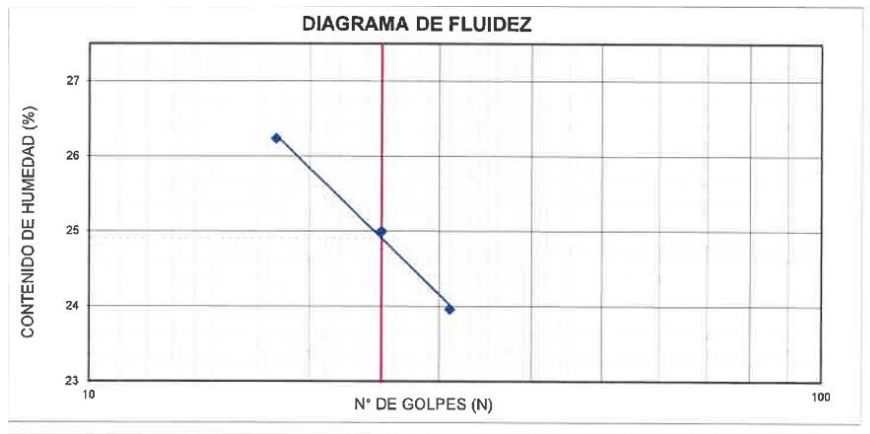
Figura 18. Gráfico de curva granulométrica de DM-02, M1



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio se dio que Grava tiene un 61.2%, Arena tiene un 26.3% y Finos tiene un 12.5%. Según se clasificación por SUCS es grava arcillosa con arena.

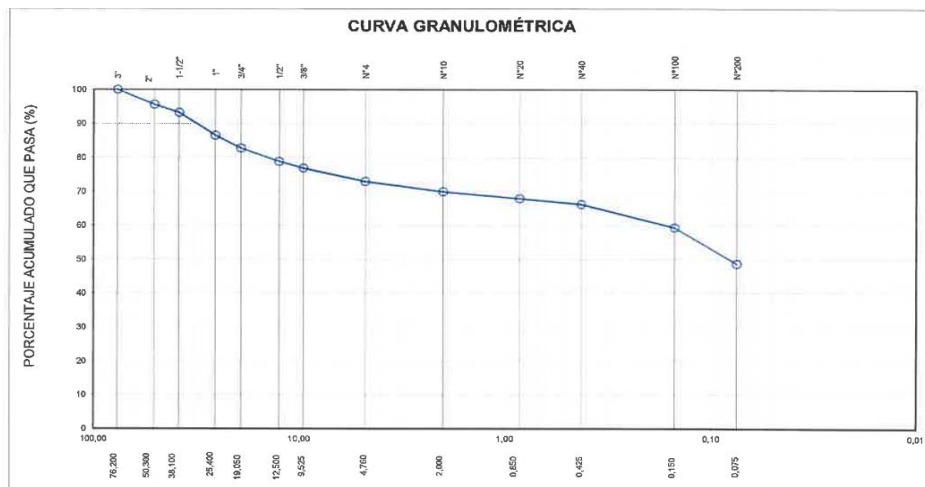
Figura 19. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de DM-02



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 25%, límite plástico de 17% y índice plástico de 8%.

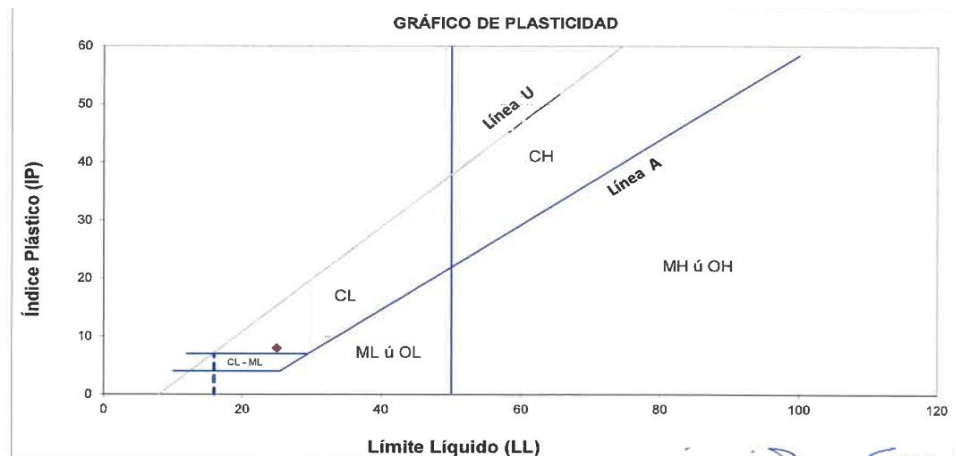
Figura 20. Gráfico de curva granulométrica de MR-01



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio se dio que Grava tiene un 27.1%, Arena tiene un 24.2% y Finos tiene un 48.7%. Según se clasificación por SUCS es grava arcillosa con arena.

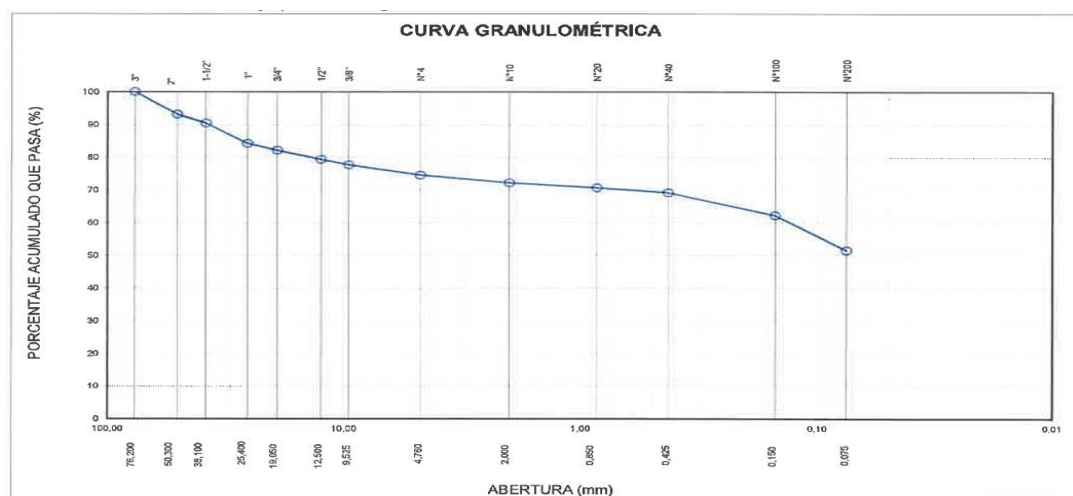
Figura 21. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de MR-01



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 25%, límite plástico de 17% y índice plástico de 8%.

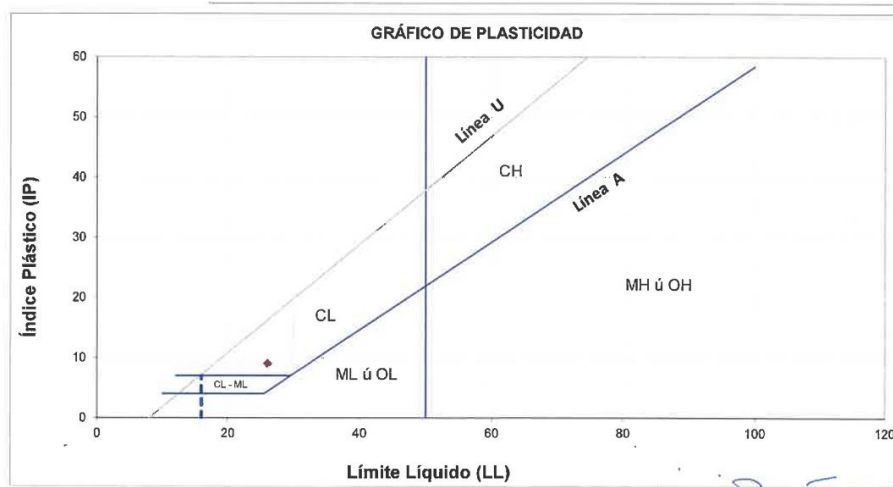
Figura 22. Gráfico de curva granulométrica de MR-02, M2



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio se dio que Grava tiene un 26.9%, Arena tiene un 21.6% y Finos tiene un 51.5%. Según se clasificación por SUCS es arcilla ligera gravosa.

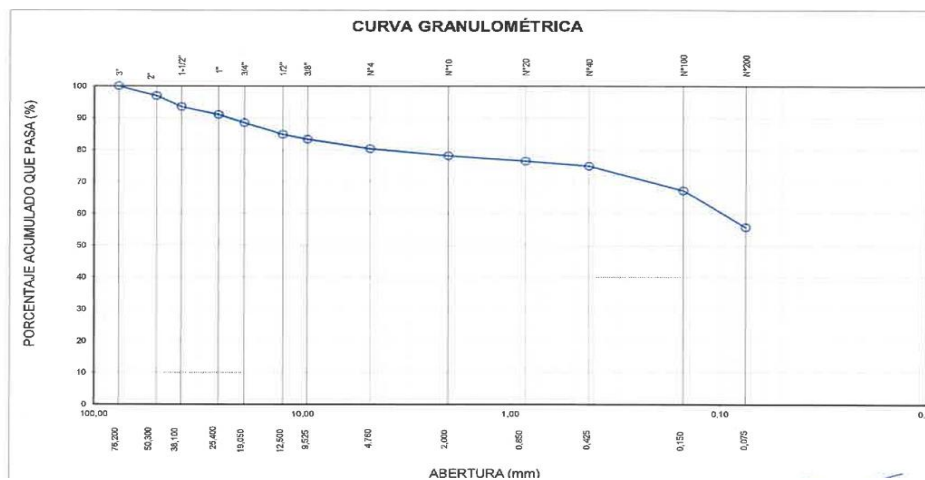
Figura 23. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de MR-02, M2



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 26%, límite plástico de 16% y índice plástico de 10%.

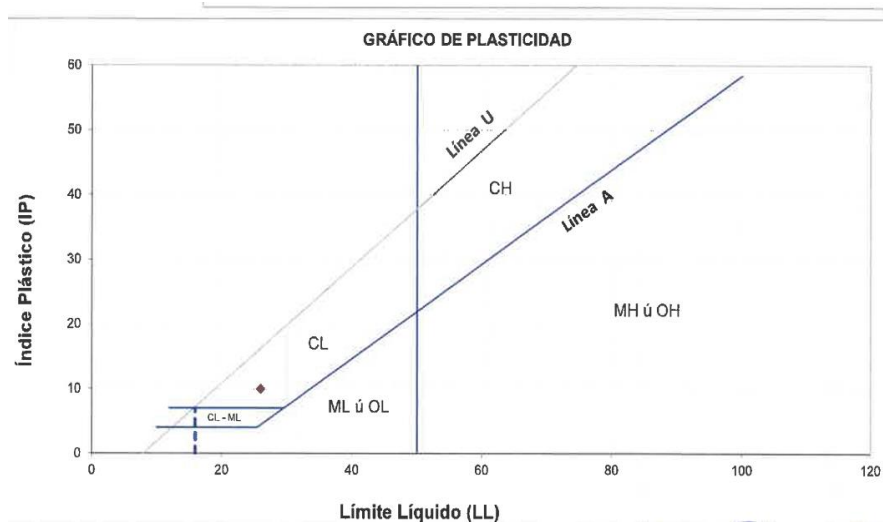
Figura 24. Gráfico de curva granulométrica de MR-03, M1



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio se dio que Grava tiene un 19.7%, Arena tiene un 24.6% y Finos tiene un 55.7%. Según se clasificación por SUCS es arcilla ligera arenosa.

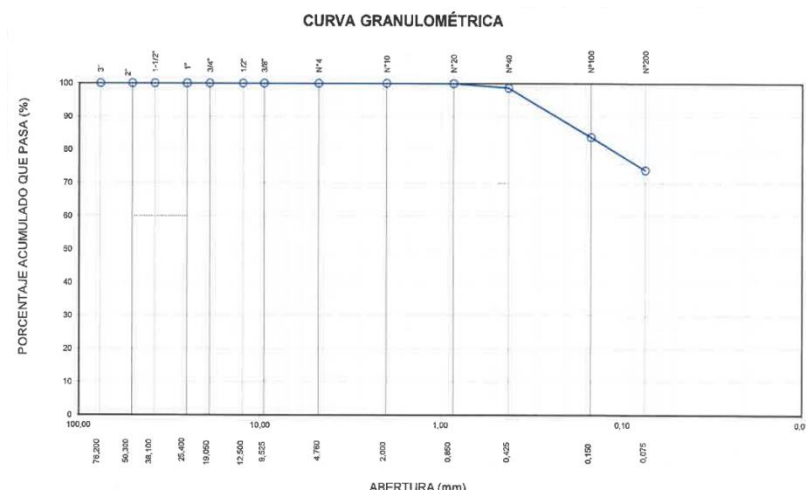
Figura 25. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de MR-03,M1



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 26%, límite plástico de 16% y índice plástico de 10%.

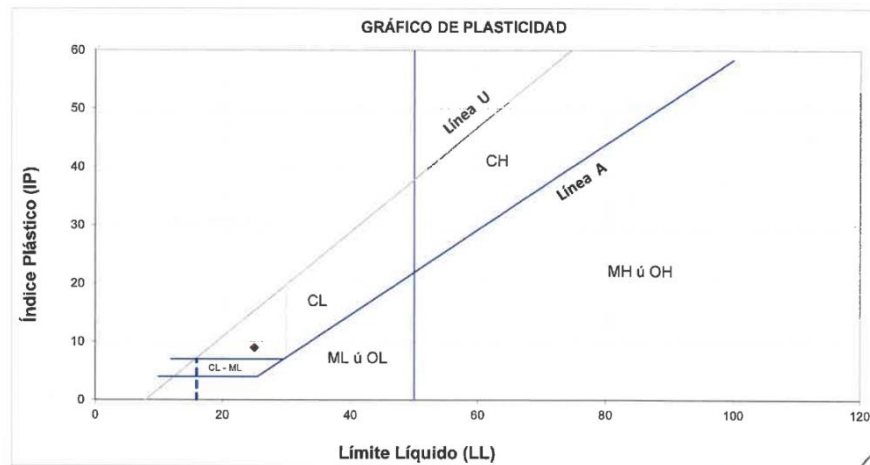
Figura 26. Gráfico de curva granulométrica de RF-01,M1



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio se dio que Grava tiene un 0%, Arena tiene un 26.1% y Finos tiene un 73.9%. Según se clasificación por SUCS es arcilla ligera arenosa.

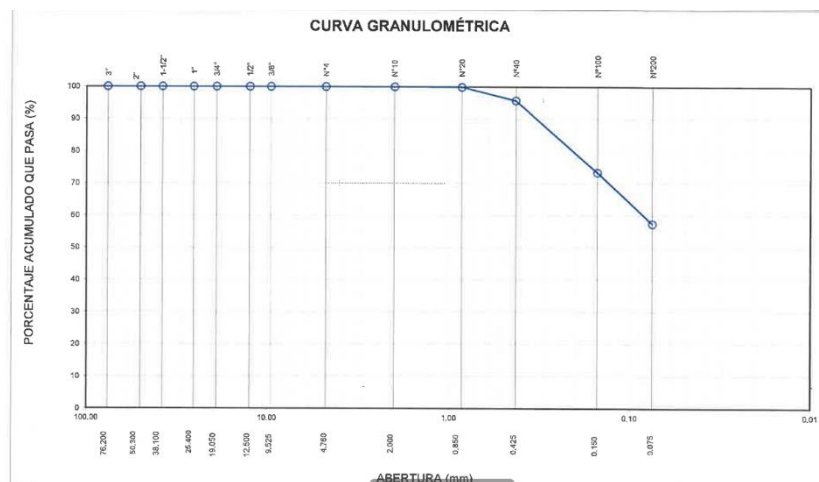
Figura 27. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de RF-01,M1



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 25%, límite plástico de 16% y índice plástico de 9%.

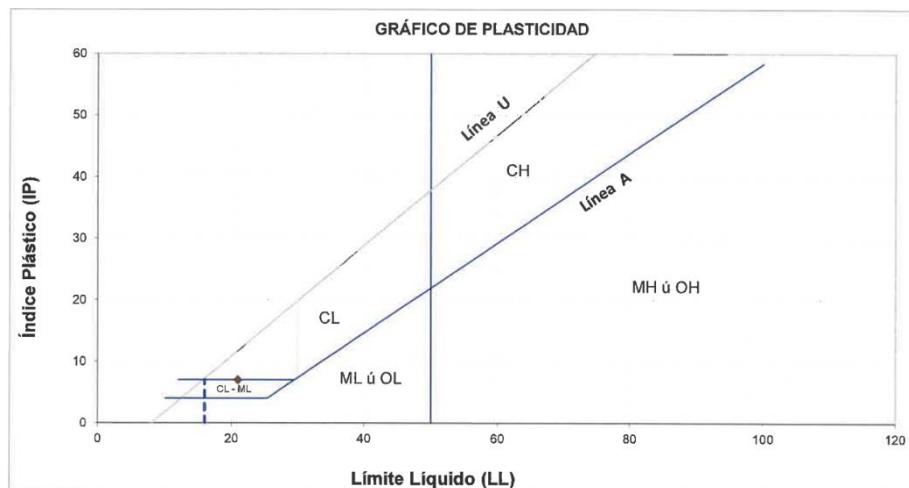
Figura 28. Gráfico de curva granulométrica de RF-01,M2



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio se dio que Grava tiene un 0%, Arena tiene un 42.5% y Finos tiene un 57.5%. Según se clasificación por SUCS es arcilla limosa arenosa.

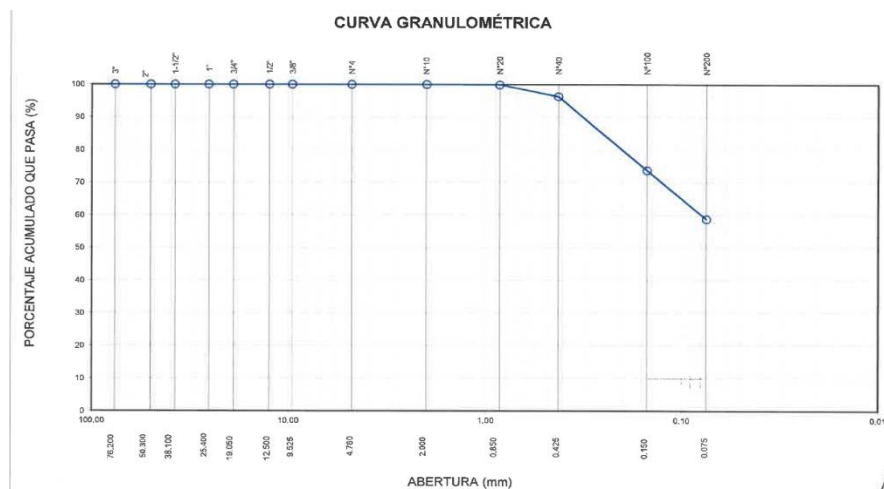
Figura 29. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de RF-01,M2



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 21%, límite plástico de 14% y índice plástico de 7%.

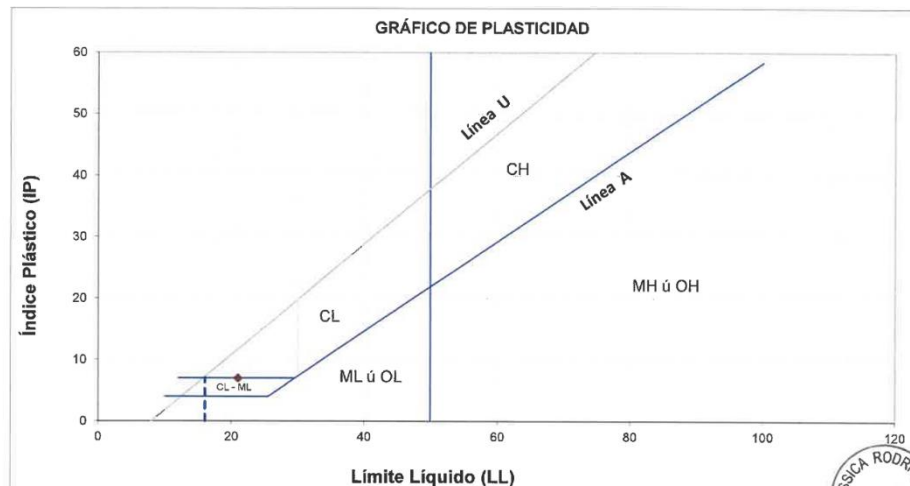
Figura 30. Gráfico de curva granulométrica de RF-01, M3



Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla del análisis de granulometría por tamizado como promedio se dio que Grava tiene un 0%, Arena tiene un 41.2% y Finos tiene un 58.8%. Según se clasificación por SUCS es arcilla limosa arenosa.

Figura 31. Gráfico de diagrama de límites de atterberg de RF-01, M3



Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de límites de atterberg tenemos como resultado dentro de sus límites de consistencia el límite líquido de 21%, límite plástico de 14% y índice plástico de 7%.

Ensayos de Densidad

Se realizaron ocho (8) ensayos de densidad In – situ. Determinar la densidad y el peso unitario del suelo en campo (in situ). Consiste en realizar un hueco, pesar el suelo extraído, medir su humedad y rellenar el agujero con arena calibrada para calcular el volumen y densidad seca, verificando así la compactación indicados en la norma ASTM D1556. El uso del ensayo fue el de verificar si la densificación alcanzada en el terreno satisfizo los requerimientos mínimos fijados.

Tabla 8. Cuadro de densidad de campo y contenido húmedo

Zona :	Esperanza	Esperanza	Esperanza	Esperanza	Esperanza
Sondaje :	CE-1	CE-1	CE-2	CE-2	CE-5
ENSAYO N°:	D-1	D-2	D-1	D-2	D-1
PROFUNDIDAD DE ENSAYO (m):	1.00	1.70	0.80	1.70	2.00
DENSIDAD DE CAMPO					
1 Densidad de la arena calibrada (gr/cm³)	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440
2 Peso inicial de arena calibrada (gr)	6000.00	32000.00	6000.00	6000.00	36000.00
3 Peso de la arena calibrada en el cono (gr)	1610.00	9412.00	1610.00	1632.00	9412.00
4 Peso de la arena calibrada sobrante (gr)	632.00	2418.00	310.00	277.00	5164.00
5 Peso de la arena calibrada en el orificio de prueba (gr) (2)-(3)-(4)	3758.00	20170.00	4080.00	4091.00	21424.00
6 Volumen del orificio de prueba (cm³) (5)/(1)	2609.72	14006.94	2833.33	2840.97	14877.78
7 Peso total de la muestra húmeda (gr)	5015.00	31379.00	5511.00	5507.00	28716.00
8 Peso material > 3/4" (grava) (gr)	2199.00	21379.00	1280.00	2228.00	10025.00
9 Peso material < 3/4" (gr) (7)-(8)	2816.00	10000.00	4231.00	3279.00	18691.00
10 Peso específico de grava (gr/cm³)	2.69	2.66	2.63	2.69	2.68
11 Volumen de grava (cm³) (8)/(10)	817.47	8037.22	486.69	828.25	3740.67
12 Volumen de material < 3/4" (cm³) (6)-(11)	1792.25	5969.72	2346.64	2012.72	11137.11
13 Densidad húmeda del material < 3/4" (gr/cm³) (9)/(12)	1.57	1.68	1.80	1.63	1.68
14 Densidad muestra seca (gr/cm³) (13)/(1+(21))	1.43	1.52	1.64	1.47	1.52
15 Densidad sin corregir seca (global)	1.75	2.03	1.78	1.75	1.75
CONTENIDO DE HUMEDAD					
16 Código del recipiente.	F16	F33	J46	J10	F55
17 Peso del recipiente+suelo húmedo (gr)	307.64	289.62	258.73	280.78	271.53
18 Peso del recipiente+suelo seco (gr)	282.27	264.22	238.18	256.06	248.61
19 Peso del agua (gr) (16)-(17)	25.37	25.40	20.55	24.72	22.92
20 Peso del recipiente (gr)	24.50	23.93	23.20	22.80	25.25
21 Peso del suelo seco (gr) (17)-(19)	257.77	240.29	214.98	233.26	223.36
22 Contenido de humedad 100x(18)/(20)	9.84%	10.57%	9.56%	10.60%	10.26%
Zona :	Esperanza	Esperanza	Esperanza	Esperanza	Esperanza
Sondaje :	CE-6	CE-7	CE-8		
ENSAYO N°:	D-1	D-1	D-1		
PROFUNDIDAD DE ENSAYO (m):	0.80	0.40	0.50		
DENSIDAD DE CAMPO					
1 Densidad de la arena calibrada (gr/cm³)	1.440	1.440	1.440		
2 Peso inicial de arena calibrada (gr)	6000.00	6000.00	6000.00		
3 Peso de la arena calibrada en el cono (gr)	1632.00	1632.00	1632.00		
4 Peso de la arena calibrada sobrante (gr)	376.00	516.00	598.00		
5 Peso de la arena calibrada en el orificio de prueba (gr) (2)-(3)-(4)	3992.00	3852.00	3770.00		
6 Volumen del orificio de prueba (cm³) (5)/(1)	2772.22	2675.00	2618.06		
7 Peso total de la muestra húmeda (gr)	5471.00	5277.00	3750.00		
8 Peso material > 3/4" (grava) (gr)	1373.00	192.00			
9 Peso material < 3/4" (gr) (7)-(8)	4098.00	5085.00	3750.00		
10 Peso específico de grava (gr/cm³)	2.52	2.35			
11 Volumen de grava (cm³) (8)/(10)	544.84	81.70	0.00		
12 Volumen de material < 3/4" (cm³) (6)-(11)	2227.38	2593.30	2618.06		
13 Densidad húmeda del material < 3/4" (gr/cm³) (9)/(12)	1.84	1.96	1.43		
14 Densidad muestra seca (gr/cm³) (13)/(1+(21))	1.47	1.67	0.90		
15 Densidad sin corregir seca (global)	1.58	1.68	0.90		
CONTENIDO DE HUMEDAD					
16 Código del recipiente.	F23	C21	J40		
17 Peso del recipiente+suelo húmedo (gr)	311.36	283.76	211.01		
18 Peso del recipiente+suelo seco (gr)	254.62	244.97	141.21		
19 Peso del agua (gr) (16)-(17)	56.74	38.79	69.80		
20 Peso del recipiente (gr)	25.90	25.01	23.04		
21 Peso del suelo seco (gr) (17)-(19)	228.72	219.96	118.17		
22 Contenido de humedad 100x(18)/(20)	24.81%	17.64%	59.07%		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. Cuadro del ensayo de densidad por el método cono de arena

Zona/Tajos	Sondaje	Muestra	Profundidad	Densidad Húmeda ($\frac{3}{4}$ gr/cm ³)	Contenido %	Gravedad Específica	Densidad seca ($\frac{3}{4}$ gr/cm ³)	Densidad seca global (gr/cm ³)
Esperanza	CE-1	D-1	1.00	1.57	9.84%	2.69	1.43	1.75
	CE-2	D-2	1.70	1.68	10.57%	2.66	1.52	2.03
	CE-3	D-1	0.80	1.80	9.56%	2.63	1.64	1.78
	CE-4	D-2	1.70	1.63	10.60%	2.69	1.47	1.75
	CE-5	D-1	2.00	1.68	10.26%	2.68	1.52	1.75
	CE-6	D-1	0.80	1.84	24.81%	2.52	1.47	1.58
	CE-7	D-1	0.40	1.96	17.64%	2.35	1.67	1.68
	CE-8	D-1	0.50	1.43	50.07%	0.00	0.90	0.90

Fuente: Elaboración Propia

Proctor modificado

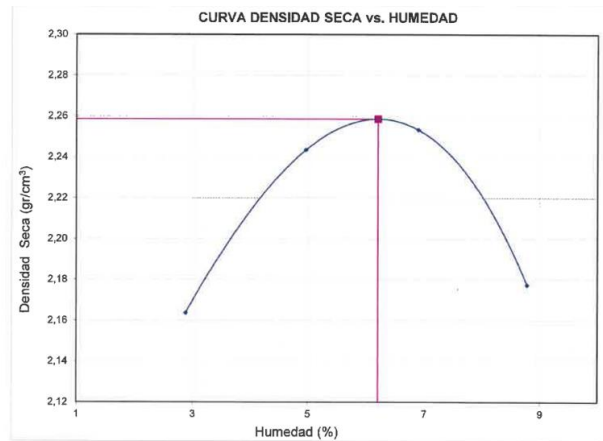
Se realizaron seis (6) ensayos Proctor modificado, este método describe el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad máxima seca de un suelo, simulando una energía de compactación alta. Los ensayos fueron ejecutados según los procedimientos indicados en las normas ASTM D-1557. Este ensayo se realizó para establecer los parámetros de control necesarios para compactar el material, reduciendo vacíos y minimizando asentamientos estructurales futuros en el terraplén.

Tabla 10. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra DM-01, M-1

Prueba N°	1	2	3	4
Densidad seca (gr/cm ³)	2.164	2.243	2.253	2.177
Humedad (%)	2.9	5.0	6.9	8.8

Fuente: Elaboración Propia

Figura 32. Gráfico de curva densidad seca vs humedad



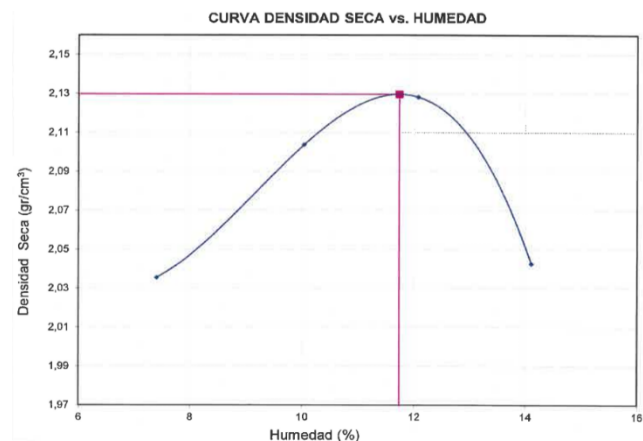
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra MR-01, M-1

Prueba N°	1	2	3	4
Densidad seca (gr/cm ³)	2.036	2.104	2.128	2.043
Humedad (%)	7.4	10.0	12.1	14.1

Fuente: Elaboración Propia

Figura 33. Gráfico de curva densidad seca vs humedad



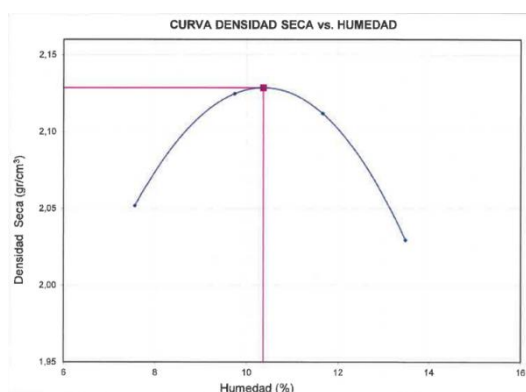
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra MR-02, M-1

Prueba N°	1	2	3	4
Densidad seca (gr/cm ³)	2.052	2.125	2.112	2.029
Humedad (%)	7.6	9.7	11.7	13.5

Fuente: Elaboración Propia

Figura 34. Gráfico de curva densidad seca vs humedad



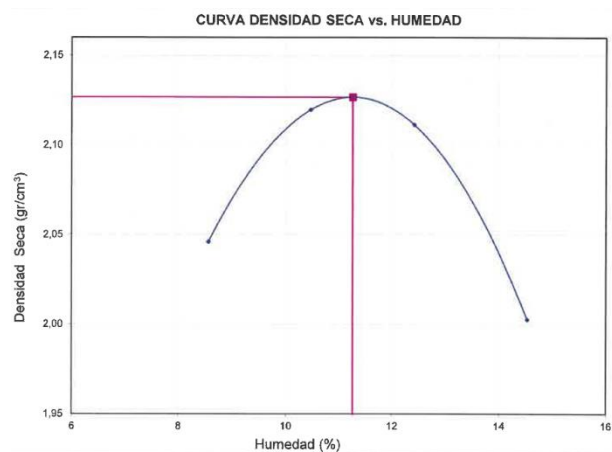
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra MR-03, M-1

Prueba N°	1	2	3	4
Densidad seca (gr/cm ³)	2.046	2.120	2.111	2.003
Humedad (%)	8.6	10.5	12.4	14.5

Fuente: Elaboración Propia

Figura 35. Gráfico de curva densidad seca vs humedad



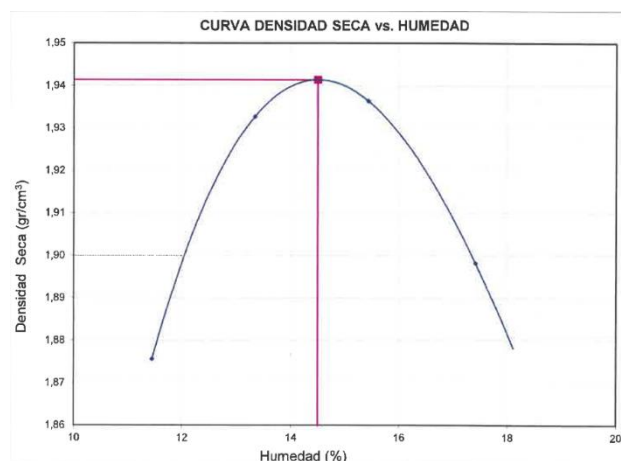
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra RF-01, M-1.

Prueba N°	1	2	3	4
Densidad seca (gr/cm ³)	1.876	1.933	1.936	1.898
Humedad (%)	11.5	13.3	15.4	17.4

Fuente: Elaboración Propia

Figura 36. Gráfico de curva densidad seca vs humedad



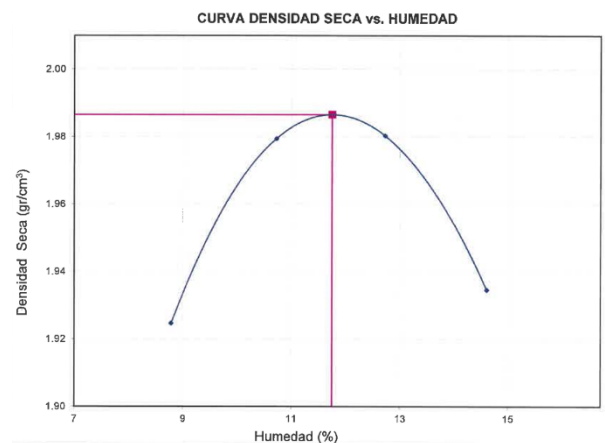
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15. Cuadro de Densidad seca y Humedad de la muestra RF-01, M-3

Prueba N°	1	2	3	4
Densidad seca (gr/cm ³)	1.925	1.979	1.980	1.935
Humedad (%)	8.3	10.2	12.2	14.1

Fuente: Elaboración Propia

Figura 37. Gráfico de curva densidad seca vs humedad



Fuente: Elaboración Propia

Ensayos de resistencia

Se realizaron dos (2) ensayos de corte directo siguiendo la norma ASTM D3080-72, este método describe el procedimiento para determinar la resistencia al corte consolidado drenado de un suelo. Y se realizó diez (10) ensayos de corte triaxial del tipo consolidado drenado (CD) y consolidado no drenado (CU), con medición de presión de poros, en condición saturadas, en muestras extraídas de las investigaciones. Los ensayos fueron ejecutados según los procedimientos indicados en las normas ASTM D-4767. Estos ensayos sirvieron para proporcionar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna, variables usadas para el software de modelamiento numérico y el cálculo del factor de seguridad.

Tabla 16. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a 90%MDS=2.033g/cm³ y O.C.H.=6.2% de la muestra DM-01, M-1

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad (σ_1 / σ_3)
0,00	0,00	0,00	700,00	700,00	700,00	0,00	0,00	1,00
0,05	114,30	-0,53	700,00	814,30	757,15	57,15	0,08	1,16
0,10	173,12	-1,06	700,00	873,12	786,56	86,56	0,11	1,25
0,20	241,37	-1,59	700,00	941,37	820,68	120,68	0,15	1,34
0,35	312,15	-2,65	700,00	1.012,15	856,08	156,08	0,18	1,45
0,50	365,60	-4,24	700,00	1.065,60	882,80	182,80	0,21	1,52
0,75	459,10	-7,95	700,00	1.159,10	929,55	229,55	0,25	1,66
1,00	540,28	-10,60	700,00	1.240,28	970,14	270,14	0,28	1,77
1,25	616,96	-13,78	700,00	1.316,96	1.008,48	308,48	0,31	1,88
1,50	689,70	-16,96	700,00	1.389,70	1.044,85	344,85	0,33	1,99
1,75	762,10	-19,61	700,00	1.462,10	1.081,05	381,05	0,35	2,09
2,00	828,75	-22,26	700,00	1.528,75	1.114,38	414,38	0,37	2,18
2,50	957,12	-27,03	700,00	1.657,12	1.178,56	478,56	0,41	2,37
3,00	1.070,26	-31,27	700,00	1.770,26	1.235,13	535,13	0,43	2,53
3,50	1.173,64	-35,51	700,00	1.873,64	1.286,82	586,82	0,46	2,68
4,00	1.267,42	-39,22	700,00	1.967,42	1.333,71	633,71	0,48	2,81
4,50	1.352,56	-41,87	700,00	2.052,56	1.376,28	676,28	0,49	2,93
5,00	1.427,81	-45,05	700,00	2.127,81	1.413,90	713,90	0,50	3,04
6,00	1.559,56	-49,29	700,00	2.259,56	1.479,78	779,78	0,53	3,23
7,00	1.662,11	-53,53	700,00	2.362,11	1.531,06	831,06	0,54	3,37
8,00	1.762,50	-57,24	700,00	2.462,50	1.581,25	881,25	0,56	3,52
9,00	1.841,83	-59,89	700,00	2.541,83	1.620,92	920,92	0,57	3,63
10,00	1.906,30	-61,48	700,00	2.606,30	1.653,15	953,15	0,58	3,72
11,00	1.966,84	-63,07	700,00	2.666,84	1.683,42	983,42	0,58	3,81
12,00	2.010,86	-64,66	700,00	2.710,86	1.705,43	1.005,43	0,59	3,87
13,00	2.035,19	-65,72	700,00	2.735,19	1.717,59	1.017,59	0,59	3,91
14,00	2.066,60	-66,78	700,00	2.766,60	1.733,30	1.033,30	0,60	3,95

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad (σ_1 / σ_3)
0,00	0,00	0,00	350,00	350,00	350,00	0,00	0,00	1,00
0,05	57,39	-1,06	350,00	407,39	378,69	28,69	0,08	1,16
0,10	71,90	-1,59	350,00	421,90	385,95	35,95	0,09	1,21
0,20	97,19	-2,65	350,00	447,19	398,59	48,59	0,12	1,28
0,35	133,69	-4,24	350,00	483,69	416,84	66,84	0,16	1,38
0,50	168,61	-6,36	350,00	518,61	434,31	84,31	0,19	1,48
0,75	219,84	-9,01	350,00	569,84	459,92	109,92	0,24	1,63
1,00	271,27	-11,66	350,00	621,27	485,64	135,64	0,28	1,78
1,25	314,08	-14,84	350,00	664,08	507,04	157,04	0,31	1,90
1,50	356,78	-17,49	350,00	706,78	528,39	178,39	0,34	2,02
1,75	431,17	-20,14	350,00	781,17	565,58	215,58	0,38	2,23
2,00	434,71	-22,26	350,00	784,71	567,35	217,35	0,38	2,24
2,50	496,02	-25,97	350,00	846,02	598,01	248,01	0,41	2,42
3,00	550,98	-29,15	350,00	900,98	625,49	275,49	0,44	2,57
3,50	593,86	-32,86	350,00	943,86	646,93	296,93	0,46	2,70
4,00	632,90	-35,51	350,00	982,90	666,45	316,45	0,47	2,81
4,50	675,51	-37,63	350,00	1.025,51	687,75	337,75	0,49	2,93
5,00	707,38	-40,28	350,00	1.057,38	703,69	353,69	0,50	3,02
6,00	764,12	-43,99	350,00	1.114,12	732,06	382,06	0,52	3,18
7,00	816,32	-46,64	350,00	1.166,32	758,16	408,16	0,54	3,33
8,00	854,73	-48,23	350,00	1.204,73	777,37	427,37	0,55	3,44
9,00	869,74	-50,35	350,00	1.219,74	784,87	434,87	0,55	3,48
10,00	922,79	-51,94	350,00	1.272,79	811,40	461,40	0,57	3,64
11,00	943,29	-54,06	350,00	1.293,29	821,65	471,65	0,57	3,70
12,00	961,87	-54,59	350,00	1.311,87	830,93	480,93	0,58	3,75
13,00	975,51	-55,12	350,00	1.325,51	837,75	487,75	0,58	3,79
14,00	985,44	-55,65	350,00	1.335,44	842,72	492,72	0,58	3,82

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$q / \bar{p}$	Oblicuidad (σ_1 / σ_3)
0,00	0,00	0,00	175,00	175,00	175,00	0,00	0,00	1,00
0,05	69,16	-1,59	175,00	244,16	209,58	34,58	0,16	1,40
0,10	81,22	-2,12	175,00	256,22	215,61	40,61	0,19	1,46
0,20	103,32	-3,71	175,00	278,32	226,66	51,66	0,23	1,59
0,35	129,40	-5,30	175,00	304,40	239,70	64,70	0,27	1,74
0,50	151,88	-6,89	175,00	326,88	250,94	75,94	0,30	1,87
0,75	123,66	-10,07	175,00	298,66	236,83	61,83	0,26	1,71
1,00	204,13	-12,19	175,00	379,13	277,06	102,06	0,37	2,17
1,25	226,19	-14,84	175,00	401,19	288,09	113,09	0,39	2,29
1,50	244,55	-16,96	175,00	419,55	297,27	122,27	0,41	2,40
1,75	259,61	-19,61	175,00	434,61	304,81	129,81	0,43	2,48
2,00	273,94	-21,20	175,00	448,94	311,97	136,97	0,44	2,57
2,50	297,09	-24,91	175,00	472,09	323,55	148,55	0,46	2,70
3,00	320,28	-28,09	175,00	495,28	335,14	160,14	0,48	2,83
3,50	338,62	-30,74	175,00	513,62	344,31	169,31	0,49	2,93
4,00	355,90	-32,86	175,00	530,90	352,95	177,95	0,50	3,03
4,50	371,51	-35,51	175,00	546,51	360,75	185,75	0,51	3,12
5,00	383,55	-37,10	175,00	558,55	366,77	191,77	0,52	3,19
6,00	408,02	-40,28	175,00	583,02	379,01	204,01	0,54	3,33
7,00	426,60	-43,46	175,00	601,60	388,30	213,30	0,55	3,44
8,00	440,45	-45,05	175,00	615,45	395,22	220,22	0,56	3,52
9,00	458,87	-46,64	175,00	633,87	404,44	229,44	0,57	3,62
10,00	473,80	-48,23	175,00	648,80	411,90	236,90	0,58	3,71
11,00	483,57	-49,82	175,00	658,57	416,78	241,78	0,58	3,76
12,00	492,97	-50,35	175,00	667,97	421,49	246,49	0,58	3,82
13,00	500,08	-51,41	175,00	675,08	425,04	250,04	0,59	3,86
14,00	502,94	-51,94	175,00	677,94	426,47	251,47	0,59	3,87

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de resistencia cortante estimados al 12% de deformación en promedio son:

$a' = 0$ Kpa, $c' = 0$ Kpa, $\alpha' = 30,4^\circ$, $\Phi' = 36^\circ$ con un grado de compactación medio

Tabla 17. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a 95%MDS=2.146g/cm³ y O.C.H.=6.2% de la muestra DM-02, M-1

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$q / \bar{p}$	Oblicuidad (σ_1 / σ_3)
0,00	0,00	0,00	700,00	700,00	700,00	0,00	0,00	1,00
0,05	134,95	-0,53	700,00	834,95	767,48	67,48	0,09	1,19
0,10	220,98	-1,06	700,00	920,98	810,49	110,49	0,14	1,32
0,20	303,39	-2,12	700,00	1.003,39	851,69	151,69	0,18	1,43
0,35	429,16	-2,65	700,00	1.129,16	914,58	214,58	0,23	1,61
0,50	559,70	-3,71	700,00	1.259,70	979,85	279,85	0,29	1,80
0,75	712,34	-5,83	700,00	1.412,34	1.056,17	356,17	0,34	2,02
1,00	861,81	-7,95	700,00	1.561,81	1.130,90	430,90	0,38	2,23
1,25	958,83	-9,54	700,00	1.658,83	1.179,41	479,41	0,41	2,37
1,50	1.056,77	-11,66	700,00	1.756,77	1.228,39	528,39	0,43	2,51
1,75	1.132,55	-12,72	700,00	1.832,55	1.266,28	566,28	0,45	2,62
2,00	1.212,86	-14,84	700,00	1.912,86	1.306,43	606,43	0,46	2,73
2,50	1.314,97	-17,49	700,00	2.014,97	1.357,48	657,48	0,48	2,88
3,00	1.415,82	-20,14	700,00	2.115,82	1.407,91	707,91	0,50	3,02
3,50	1.503,09	-23,32	700,00	2.203,09	1.451,54	751,54	0,52	3,15
4,00	1.567,46	-25,44	700,00	2.267,46	1.483,73	783,73	0,53	3,24
4,50	1.625,18	-27,03	700,00	2.325,18	1.512,59	812,59	0,54	3,32
5,00	1.680,47	-28,62	700,00	2.380,47	1.540,23	840,23	0,55	3,40
6,00	1.772,41	-31,27	700,00	2.472,41	1.586,21	886,21	0,56	3,53
7,00	1.864,55	-33,92	700,00	2.564,55	1.632,27	932,27	0,57	3,66
8,00	1.921,73	-35,51	700,00	2.621,73	1.660,86	960,86	0,58	3,75
9,00	1.993,90	-37,10	700,00	2.693,90	1.696,95	996,95	0,59	3,85
10,00	2.018,80	-38,69	700,00	2.718,80	1.709,40	1.009,40	0,59	3,88
11,00	2.028,58	-39,22	700,00	2.728,58	1.714,29	1.014,29	0,59	3,90
12,00	2.066,59	-40,28	700,00	2.766,59	1.733,30	1.033,30	0,60	3,95
13,00	2.083,90	-41,34	700,00	2.783,90	1.741,95	1.041,95	0,60	3,98
14,00	2.076,16	-41,34	700,00	2.776,16	1.738,08	1.038,08	0,60	3,97

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	$\bar{\sigma}_3$ kPa	$\bar{\sigma}_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	350,00	350,00	350,00	0,00	0,00	1,00
0,05	106,44	-0,53	350,00	456,44	403,22	53,22	0,13	1,30
0,10	148,01	-0,53	350,00	498,01	424,00	74,00	0,17	1,42
0,20	229,17	-0,53	350,00	579,17	464,58	114,58	0,25	1,65
0,35	323,53	-1,06	350,00	673,53	511,76	161,76	0,32	1,92
0,50	394,02	-1,59	350,00	744,02	547,01	197,01	0,36	2,13
0,75	498,37	-2,65	350,00	848,37	599,19	249,19	0,42	2,42
1,00	577,66	-3,71	350,00	927,66	638,83	288,83	0,45	2,65
1,25	634,49	-5,30	350,00	984,49	667,25	317,25	0,48	2,81
1,50	683,91	-6,89	350,00	1.033,91	691,95	341,95	0,49	2,95
1,75	726,76	-7,42	350,00	1.076,76	713,38	363,38	0,51	3,08
2,00	766,48	-9,01	350,00	1.116,48	733,24	383,24	0,52	3,19
2,50	831,68	-10,60	350,00	1.181,68	765,84	415,84	0,54	3,38
3,00	884,67	-12,72	350,00	1.234,67	792,33	442,33	0,56	3,53
3,50	928,33	-13,78	350,00	1.278,33	814,16	464,16	0,57	3,65
4,00	966,30	-15,37	350,00	1.316,30	833,15	483,15	0,58	3,76
4,50	999,11	-16,43	350,00	1.349,11	849,56	499,56	0,59	3,85
5,00	1.033,19	-17,49	350,00	1.383,19	866,59	516,59	0,60	3,95
6,00	1.082,51	-19,08	350,00	1.432,51	891,25	541,25	0,61	4,09
7,00	1.125,59	-20,14	350,00	1.475,59	912,79	562,79	0,62	4,22
8,00	1.166,77	-21,20	350,00	1.516,77	933,38	583,38	0,63	4,33
9,00	1.195,85	-22,26	350,00	1.545,85	947,92	597,92	0,63	4,42
10,00	1.221,46	-22,79	350,00	1.571,46	960,73	610,73	0,64	4,49
11,00	1.238,66	-23,32	350,00	1.588,66	969,33	619,33	0,64	4,54
12,00	1.255,62	-23,32	350,00	1.605,62	977,81	627,81	0,64	4,59
13,00	1.273,45	-23,85	350,00	1.623,45	986,73	636,73	0,65	4,64
14,00	1.274,89	-23,85	350,00	1.624,89	987,44	637,44	0,65	4,64

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	$\bar{\sigma}_3$ kPa	$\bar{\sigma}_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	175,00	175,00	175,00	0,00	0,00	1,00
0,05	91,31	-0,53	175,00	266,31	220,65	45,65	0,21	1,52
0,10	125,62	-1,59	175,00	300,62	237,81	62,81	0,26	1,72
0,20	180,51	-2,12	175,00	355,51	265,25	90,25	0,34	2,03
0,35	266,57	-3,18	175,00	441,57	308,29	133,29	0,43	2,52
0,50	298,49	-3,71	175,00	473,49	324,25	149,25	0,46	2,71
0,75	348,40	-4,77	175,00	523,40	349,20	174,20	0,50	2,99
1,00	390,73	-5,83	175,00	565,73	370,36	195,36	0,53	3,23
1,25	416,36	-6,89	175,00	591,36	383,18	208,18	0,54	3,38
1,50	442,35	-7,42	175,00	617,35	396,17	221,17	0,56	3,53
1,75	459,67	-7,95	175,00	634,67	404,84	229,84	0,57	3,63
2,00	477,59	-9,01	175,00	652,59	413,80	238,80	0,58	3,73
2,50	501,92	-9,01	175,00	676,92	425,96	250,96	0,59	3,87
3,00	521,92	-9,54	175,00	696,92	435,96	260,96	0,60	3,98
3,50	530,07	-9,54	175,00	705,07	440,04	265,04	0,60	4,03
4,00	534,91	-9,54	175,00	709,91	442,45	267,45	0,60	4,06
4,50	542,98	-9,54	175,00	717,98	446,49	271,49	0,61	4,10
5,00	548,55	-9,54	175,00	723,55	449,27	274,27	0,61	4,13
6,00	552,13	-7,95	175,00	727,13	451,07	276,07	0,61	4,16
7,00	557,16	-7,42	175,00	732,16	453,58	278,58	0,61	4,18
8,00	560,65	-6,36	175,00	735,65	455,33	280,33	0,62	4,20
9,00	562,46	-5,30	175,00	737,46	456,23	281,23	0,62	4,21
10,00	562,56	-3,71	175,00	737,56	456,28	281,28	0,62	4,21
11,00	556,62	-3,71	175,00	731,62	453,31	278,31	0,61	4,18
12,00	551,40	-2,12	175,00	726,40	450,70	275,70	0,61	4,15
13,00	552,62	-1,59	175,00	727,62	451,31	276,31	0,61	4,16
14,00	549,28	-0,53	175,00	724,28	449,64	274,64	0,61	4,14

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de resistencia cortante estimados al 12% de deformación en promedio son:

$a' = 23 \text{ Kpa}$, $c' = 29 \text{ Kpa}$, $\alpha' = 31.4^\circ$, $\Phi' = 37.6^\circ$ con un grado de compactación

alto y un consolidado drenado

Tabla 18. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca
 $= 2.10 \text{ g/cm}^3$ y $\%W = 10.7\%$ de la muestra MR-02, M-1

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm^3)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	700,00	700,00	700,00	0,00	0,00	1,00
0,05	144,28	-0,53	700,00	844,28	772,14	72,14	0,09	1,21
0,10	217,40	-1,06	700,00	917,40	808,70	108,70	0,13	1,31
0,20	326,27	-1,06	700,00	1.026,27	863,14	163,14	0,19	1,47
0,35	465,05	-1,59	700,00	1.165,05	932,53	232,53	0,25	1,66
0,50	578,61	-2,65	700,00	1.278,61	989,30	289,30	0,29	1,83
0,75	745,88	-4,24	700,00	1.445,88	1.072,94	372,94	0,35	2,07
1,00	881,05	-5,30	700,00	1.581,05	1.140,53	440,53	0,39	2,26
1,25	997,53	-6,89	700,00	1.697,53	1.198,76	498,76	0,42	2,43
1,50	1.071,09	-7,95	700,00	1.771,09	1.235,54	535,54	0,43	2,53
1,75	1.144,61	-9,01	700,00	1.844,61	1.272,31	572,31	0,45	2,64
2,00	1.206,65	-10,60	700,00	1.906,65	1.303,33	603,33	0,46	2,72
2,50	1.300,23	-12,19	700,00	2.000,23	1.350,11	650,11	0,48	2,86
3,00	1.372,48	-13,25	700,00	2.072,48	1.386,24	686,24	0,50	2,96
3,50	1.424,63	-14,31	700,00	2.124,63	1.412,32	712,32	0,50	3,04
4,00	1.475,93	-15,90	700,00	2.175,93	1.437,96	737,96	0,51	3,11
4,50	1.512,58	-16,43	700,00	2.212,58	1.456,29	756,29	0,52	3,16
5,00	1.540,20	-17,49	700,00	2.240,20	1.470,10	770,10	0,52	3,20
6,00	1.578,58	-18,02	700,00	2.278,58	1.489,29	789,29	0,53	3,26
7,00	1.612,49	-19,08	700,00	2.312,49	1.506,25	806,25	0,54	3,30
8,00	1.631,84	-19,61	700,00	2.331,84	1.515,92	815,92	0,54	3,33
9,00	1.643,71	-19,61	700,00	2.343,71	1.521,85	821,85	0,54	3,35
10,00	1.649,38	-19,61	700,00	2.349,38	1.524,69	824,69	0,54	3,36
11,00	1.650,88	-19,61	700,00	2.350,88	1.525,44	825,44	0,54	3,36
12,00	1.647,44	-20,14	700,00	2.347,44	1.523,72	823,72	0,54	3,35
13,00	1.642,34	-20,14	700,00	2.342,34	1.521,17	821,17	0,54	3,35
14,00	1.641,48	-20,14	700,00	2.341,48	1.520,74	820,74	0,54	3,34

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm^3)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	350,00	350,00	350,00	0,00	0,00	1,00
0,05	100,70	-0,53	350,00	450,70	400,35	50,35	0,13	1,29
0,10	152,32	-0,53	350,00	502,32	426,16	76,16	0,18	1,44
0,20	204,93	-1,59	350,00	554,93	452,46	102,46	0,23	1,59
0,35	264,25	-1,59	350,00	614,25	482,13	132,13	0,27	1,76
0,50	328,00	-2,12	350,00	678,00	514,00	164,00	0,32	1,94
0,75	408,16	-3,18	350,00	758,16	554,08	204,08	0,37	2,17
1,00	474,48	-4,24	350,00	824,48	587,24	237,24	0,40	2,36
1,25	532,13	-5,30	350,00	882,13	616,07	266,07	0,43	2,52
1,50	567,01	-6,36	350,00	917,01	633,50	283,50	0,45	2,62
1,75	606,56	-6,89	350,00	956,56	653,28	303,28	0,46	2,73
2,00	634,18	-7,42	350,00	984,18	667,09	317,09	0,48	2,81
2,50	676,80	-7,95	350,00	1.026,80	688,40	338,40	0,49	2,93
3,00	709,03	-8,48	350,00	1.059,03	704,52	354,52	0,50	3,03
3,50	733,58	-8,48	350,00	1.083,58	716,79	366,79	0,51	3,10
4,00	752,58	-9,54	350,00	1.102,58	726,29	376,29	0,52	3,15
4,50	765,05	-9,54	350,00	1.115,05	732,52	382,52	0,52	3,19
5,00	777,31	-9,54	350,00	1.127,31	738,65	388,65	0,53	3,22
6,00	790,34	-9,54	350,00	1.140,34	745,17	395,17	0,53	3,26
7,00	794,61	-9,54	350,00	1.144,61	747,31	397,31	0,53	3,27
8,00	800,25	-9,01	350,00	1.150,25	750,13	400,13	0,53	3,29
9,00	801,34	-8,48	350,00	1.151,34	750,67	400,67	0,53	3,29
10,00	802,37	-8,48	350,00	1.152,37	751,18	401,18	0,53	3,29
11,00	797,63	-7,95	350,00	1.147,63	748,82	398,82	0,53	3,28
12,00	795,31	-7,42	350,00	1.145,31	747,66	397,66	0,53	3,27
13,00	793,96	-7,42	350,00	1.143,96	746,98	396,98	0,53	3,27
14,00	789,12	-6,89	350,00	1.139,12	744,56	394,56	0,53	3,25

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad (σ_1 / σ_3)
0,00	0,00	0,00	175,00	175,00	175,00	0,00	0,00	1,00
0,05	71,35	-1,06	175,00	246,35	210,68	35,68	0,17	1,41
0,10	96,02	-1,59	175,00	271,02	223,01	48,01	0,22	1,55
0,20	123,68	-2,12	175,00	298,68	236,84	61,84	0,26	1,71
0,35	160,91	-2,65	175,00	335,91	255,46	80,46	0,31	1,92
0,50	196,20	-3,71	175,00	371,20	273,10	98,10	0,36	2,12
0,75	250,04	-4,24	175,00	425,04	300,02	125,02	0,42	2,43
1,00	291,04	-5,30	175,00	466,04	320,52	145,52	0,45	2,66
1,25	329,38	-6,36	175,00	504,38	339,69	164,69	0,48	2,88
1,50	359,81	-6,36	175,00	534,81	354,91	179,91	0,51	3,06
1,75	383,72	-6,89	175,00	558,72	366,86	191,86	0,52	3,19
2,00	403,78	-7,42	175,00	578,78	376,89	201,89	0,54	3,31
2,50	432,98	-7,42	175,00	607,98	391,49	216,49	0,55	3,47
3,00	451,35	-7,42	175,00	626,35	400,67	225,67	0,56	3,58
3,50	466,18	-6,89	175,00	641,18	408,09	233,09	0,57	3,66
4,00	474,28	-6,89	175,00	649,28	412,14	237,14	0,58	3,71
4,50	479,52	-6,36	175,00	654,52	414,76	239,76	0,58	3,74
5,00	480,11	-5,83	175,00	655,11	415,05	240,05	0,58	3,74
6,00	479,61	-5,30	175,00	654,61	414,81	239,81	0,58	3,74
7,00	473,85	-4,77	175,00	648,85	411,93	236,93	0,58	3,71
8,00	467,81	-3,18	175,00	642,81	408,91	233,91	0,57	3,67
9,00	463,86	-1,59	175,00	638,86	406,93	231,93	0,57	3,65
10,00	455,70	0,00	175,00	630,70	402,85	227,85	0,57	3,60
11,00	449,37	1,06	175,00	624,37	399,69	224,69	0,56	3,57
12,00	450,31	1,59	175,00	625,31	400,16	225,16	0,56	3,57
13,00	450,09	2,65	175,00	625,09	400,05	225,05	0,56	3,57
14,00	445,65	3,71	175,00	620,65	397,83	222,83	0,56	3,55

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de resistencia cortante estimados al 12% de deformación en promedio son:

$a' = 5$ Kpa, $c' = 6$ Kpa, $\alpha' = 29^\circ$, $\Phi' = 33.7^\circ$ con un grado de compactación alto y un consolidado drenado

Tabla 19. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca $=1.85\text{g/cm}^3$ y $\%W=12\%$ de la muestra MR-02, M-2

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	σ_3 kPa	σ_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad (σ_1/σ_3)	
0,00	0,00	700,00	700,00	700,00	0,00	0,00	1,00	
0,05	41,78	11,96	688,04	729,82	708,93	20,89	0,03	1,06
0,10	99,47	28,13	671,87	771,33	721,60	49,73	0,07	1,15
0,20	161,35	51,51	648,49	809,84	729,16	80,68	0,11	1,25
0,35	236,15	88,42	611,58	847,73	729,65	118,08	0,16	1,39
0,50	297,15	129,58	570,42	867,56	718,99	148,57	0,21	1,52
0,75	358,19	182,99	517,01	875,19	696,10	179,09	0,26	1,69
1,00	389,60	221,17	478,83	868,43	673,63	194,80	0,29	1,81
1,25	425,70	267,40	432,60	858,30	645,45	212,85	0,33	1,98
1,50	448,31	305,38	394,62	842,94	618,78	224,16	0,36	2,14
1,75	461,35	327,32	372,68	834,03	603,35	230,67	0,38	2,24
2,00	474,20	352,93	347,07	821,26	584,17	237,10	0,41	2,37
2,50	488,39	382,64	317,36	805,75	561,55	244,20	0,43	2,54
3,00	499,34	404,08	295,92	795,25	545,59	249,67	0,46	2,69
3,50	507,45	418,12	281,88	789,33	535,60	253,73	0,47	2,80
4,00	516,36	428,55	271,45	787,81	529,63	258,18	0,49	2,90
4,50	521,52	434,60	265,40	786,92	526,16	260,76	0,50	2,97
5,00	526,01	440,54	259,46	785,48	522,47	263,01	0,50	3,03
6,00	535,04	445,84	254,16	780,20	522,18	268,02	0,51	3,11
7,00	543,55	448,59	251,41	784,96	523,19	271,78	0,52	3,16
8,00	552,85	449,43	250,57	803,42	526,99	276,43	0,52	3,21
9,00	557,68	448,49	251,51	809,16	530,33	278,83	0,53	3,22
10,00	560,44	446,42	253,58	814,02	533,80	280,22	0,52	3,21
11,00	560,44	446,42	253,58	814,02	533,80	280,22	0,52	3,21
12,00	560,44	446,42	253,58	814,02	533,80	280,22	0,52	3,21
13,00	560,44	446,42	253,58	814,02	533,80	280,22	0,52	3,21
14,00	560,44	446,42	253,58	814,02	533,80	280,22	0,52	3,21
15,00	576,46	436,97	263,03	839,50	551,27	288,23	0,52	3,19
16,00	577,73	435,86	264,14	841,87	553,00	288,87	0,52	3,19
17,00	576,86	433,45	266,55	843,41	554,98	288,43	0,52	3,18
18,00	576,10	433,10	266,90	843,01	554,95	288,05	0,52	3,16
19,00	575,95	431,60	268,40	844,35	556,37	287,97	0,52	3,15
20,00	575,95	431,60	268,40	844,35	556,37	287,97	0,52	3,15

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_a kPa	s_i kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / p$	Oblicuidad (s_i/s_a)
0.00	0.00	0.00	350.00	350.00	350.00	0.00	0.00	1.00
0.05	54.32	5.77	344.23	398.55	371.39	27.16	0.07	1.16
0.10	72.01	11.20	338.80	410.81	374.81	36.00	0.10	1.21
0.20	89.14	22.82	327.18	416.32	371.75	44.57	0.12	1.27
0.35	112.11	36.44	313.56	425.67	369.62	56.05	0.15	1.36
0.50	130.50	49.13	300.87	431.37	366.12	65.25	0.18	1.43
0.75	158.97	69.53	280.47	439.44	359.95	79.49	0.22	1.57
1.00	177.56	84.66	265.34	442.91	354.13	88.78	0.25	1.67
1.25	189.28	97.87	252.13	441.41	346.77	94.64	0.27	1.75
1.50	207.34	114.62	235.38	442.72	339.05	103.67	0.31	1.88
1.75	218.33	128.93	221.07	439.40	330.23	109.16	0.33	1.99
2.00	225.79	138.35	211.65	437.44	324.54	112.90	0.35	2.07
2.50	237.71	156.03	193.97	431.68	312.82	118.86	0.38	2.23
3.00	245.21	169.25	180.75	425.96	303.35	122.60	0.40	2.36
3.50	250.60	178.03	171.97	422.57	297.27	125.30	0.42	2.46
4.00	255.93	186.97	163.03	418.96	291.00	127.96	0.44	2.57
4.50	258.97	190.96	159.04	418.01	288.53	129.48	0.45	2.63
5.00	261.56	194.61	155.39	416.95	286.17	130.78	0.46	2.68
6.00	269.46	198.25	151.75	421.20	286.47	134.73	0.47	2.78
7.00	274.60	200.83	149.17	423.77	286.47	137.30	0.48	2.84
8.00	278.76	202.61	147.39	426.15	286.77	139.38	0.49	2.89
9.00	282.74	202.67	147.33	430.08	288.71	141.37	0.49	2.92
10.00	286.07	202.34	147.66	433.73	290.70	143.04	0.49	2.94
11.00	286.07	202.34	147.66	433.73	290.70	143.04	0.49	2.94
12.00	286.07	202.34	147.66	433.73	290.70	143.04	0.49	2.94
13.00	286.07	202.34	147.66	433.73	290.70	143.04	0.49	2.94
14.00	286.07	202.34	147.66	433.73	290.70	143.04	0.49	2.94
15.00	302.90	197.31	152.69	455.59	304.14	151.45	0.50	2.98
16.00	305.82	195.94	154.06	459.87	306.96	152.91	0.50	2.99
17.00	307.90	195.62	154.38	462.28	308.33	153.95	0.50	2.99
18.00	310.06	195.07	154.93	465.00	309.96	155.03	0.50	3.00
19.00	309.22	193.34	156.66	465.88	311.27	154.61	0.50	2.97
20.00	309.22	193.34	156.66	465.88	311.27	154.61	0.50	2.97

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_a kPa	s_i kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / p$	Oblicuidad (s_i/s_a)
0.00	0.00	0.00	175.00	175.00	175.00	0.00	0.00	1.00
0.05	47.51	2.85	172.15	219.66	195.90	23.76	0.12	1.28
0.10	61.15	4.82	170.18	231.33	200.76	30.57	0.15	1.36
0.20	73.96	10.41	164.59	238.54	201.56	36.98	0.18	1.45
0.35	86.31	17.61	157.39	243.70	200.55	43.16	0.22	1.55
0.50	99.30	23.73	151.27	250.57	200.92	49.65	0.25	1.66
0.75	111.93	32.97	142.03	253.96	198.00	55.97	0.28	1.79
1.00	122.05	40.43	134.57	256.62	195.59	61.02	0.31	1.91
1.25	129.76	48.91	126.09	255.85	190.97	64.88	0.34	2.03
1.50	135.11	53.25	121.75	256.85	189.30	67.55	0.36	2.11
1.75	142.28	60.41	114.59	256.87	185.73	71.14	0.38	2.24
2.00	144.74	63.78	111.22	255.96	183.59	72.37	0.39	2.30
2.50	150.81	70.79	104.21	255.03	179.62	75.41	0.42	2.45
3.00	152.59	76.98	98.02	250.60	174.31	76.29	0.44	2.56
3.50	156.46	81.64	93.36	249.82	171.59	78.23	0.46	2.68
4.00	159.23	85.57	89.43	248.66	169.04	79.61	0.47	2.78
4.50	162.43	87.14	87.86	250.29	169.08	81.21	0.48	2.85
5.00	163.96	89.29	85.71	249.67	167.69	81.98	0.49	2.91
6.00	168.32	91.27	83.73	252.06	167.89	84.16	0.50	3.01
7.00	172.98	92.26	82.74	255.72	169.23	86.49	0.51	3.09
8.00	175.95	92.65	82.35	258.30	170.32	87.98	0.52	3.14
9.00	179.22	91.71	83.29	262.52	172.90	89.61	0.52	3.15
10.00	181.53	91.51	83.49	265.02	174.26	90.76	0.52	3.17
11.00	181.53	91.51	83.49	265.02	174.26	90.76	0.52	3.17
12.00	181.53	91.51	83.49	265.02	174.26	90.76	0.52	3.17
13.00	181.53	91.51	83.49	265.02	174.26	90.76	0.52	3.17
14.00	181.53	91.51	83.49	265.02	174.26	90.76	0.52	3.17
15.00	195.05	88.02	86.98	282.02	184.50	97.52	0.53	3.24
16.00	198.11	87.02	87.98	286.09	187.04	99.05	0.53	3.25
17.00	199.32	86.28	88.72	288.03	188.38	99.66	0.53	3.25
18.00	202.08	85.29	89.71	291.79	190.75	101.04	0.53	3.25
19.00	202.18	84.95	90.05	292.22	191.14	101.09	0.53	3.25
20.00	202.18	84.95	90.05	292.22	191.14	101.09	0.53	3.25

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de resistencia cortante estimados al 12% de deformación en promedio son:

$a' = 0$ Kpa, $c' = 0$ Kpa, $\alpha' = 27.3^\circ$, $\Phi' = 31.1^\circ$ con un grado de compactación medio y un consolidado no drenado

Tabla 20. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca
 $=2.09\text{g/cm}^3$ y $\%W=11.9\%$ de la muestra MR-03, M-1

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm^3)	$\bar{\sigma}_3$ kPa	$\bar{\sigma}_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	700,00	700,00	700,00	0,00	0,00	1,00
0,05	108,02	-0,53	700,00	808,02	754,01	54,01	0,07	1,15
0,10	160,03	-1,06	700,00	860,03	780,02	80,02	0,10	1,23
0,20	250,86	-1,59	700,00	950,86	825,43	125,43	0,15	1,36
0,35	368,60	-2,65	700,00	1.068,60	884,30	184,30	0,21	1,53
0,50	490,23	-4,24	700,00	1.190,23	945,11	245,11	0,26	1,70
0,75	674,33	-6,36	700,00	1.374,33	1.037,17	337,17	0,33	1,96
1,00	846,93	-8,48	700,00	1.546,93	1.123,47	423,47	0,38	2,21
1,25	1.002,14	-9,01	700,00	1.702,14	1.201,07	501,07	0,42	2,43
1,50	1.139,61	-11,66	700,00	1.839,61	1.269,80	569,80	0,45	2,63
1,75	1.260,00	-13,25	700,00	1.960,00	1.330,00	630,00	0,47	2,80
2,00	1.359,27	-14,84	700,00	2.059,27	1.379,63	679,63	0,49	2,94
2,50	1.518,93	-18,02	700,00	2.218,93	1.459,46	759,46	0,52	3,17
3,00	1.633,94	-20,14	700,00	2.333,94	1.516,97	816,97	0,54	3,33
3,50	1.688,29	-22,79	700,00	2.388,29	1.544,14	844,14	0,55	3,41
4,00	1.780,06	-23,85	700,00	2.480,06	1.590,03	890,03	0,56	3,54
4,50	1.820,22	-25,44	700,00	2.520,22	1.610,11	910,11	0,57	3,60
5,00	1.837,64	-27,03	700,00	2.537,64	1.618,82	918,82	0,57	3,63
6,00	1.853,69	-29,68	700,00	2.553,69	1.626,84	926,84	0,57	3,65
7,00	1.850,96	-30,74	700,00	2.550,96	1.625,48	925,48	0,57	3,64
8,00	1.833,10	-32,33	700,00	2.533,10	1.616,55	916,55	0,57	3,62
9,00	1.816,27	-32,86	700,00	2.516,27	1.608,14	908,14	0,56	3,59
10,00	1.799,92	-32,33	700,00	2.499,92	1.599,96	899,96	0,56	3,57
11,00	1.784,00	-31,80	700,00	2.484,00	1.592,00	892,00	0,56	3,55
12,00	1.777,07	-31,27	700,00	2.477,07	1.588,54	888,54	0,56	3,54
13,00	1.768,13	-30,74	700,00	2.468,13	1.584,06	884,06	0,56	3,53
14,00	1.758,31	-30,74	700,00	2.458,31	1.579,16	879,16	0,56	3,51

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm^3)	$\bar{\sigma}_3$ kPa	$\bar{\sigma}_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	350,00	350,00	350,00	0,00	0,00	1,00
0,05	94,58	-0,53	350,00	444,58	397,29	47,29	0,12	1,27
0,10	132,18	-1,06	350,00	482,18	416,09	66,09	0,16	1,38
0,20	193,21	-1,59	350,00	543,21	446,61	96,61	0,22	1,55
0,35	287,07	-2,12	350,00	637,07	493,54	143,54	0,29	1,82
0,50	375,96	-2,65	350,00	725,96	537,98	187,98	0,35	2,07
0,75	525,82	-4,24	350,00	875,82	612,91	262,91	0,43	2,50
1,00	657,61	-4,77	350,00	1.007,61	678,80	328,80	0,48	2,88
1,25	769,65	-5,83	350,00	1.119,65	734,83	384,83	0,52	3,20
1,50	853,81	-5,83	350,00	1.203,81	776,90	426,90	0,55	3,44
1,75	918,02	-6,36	350,00	1.268,02	809,01	459,01	0,57	3,62
2,00	960,50	-6,36	350,00	1.310,50	830,25	480,25	0,58	3,74
2,50	1.033,62	-6,36	350,00	1.383,62	866,81	516,81	0,60	3,95
3,00	1.070,04	-5,83	350,00	1.420,04	885,02	535,02	0,60	4,06
3,50	1.089,12	-5,30	350,00	1.439,12	894,56	544,56	0,61	4,11
4,00	1.091,01	-4,77	350,00	1.441,01	895,51	545,51	0,61	4,12
4,50	1.085,09	-3,18	350,00	1.435,09	892,55	542,55	0,61	4,10
5,00	1.070,93	-2,12	350,00	1.420,93	885,47	535,47	0,60	4,06
6,00	1.050,40	-0,53	350,00	1.400,40	875,20	525,20	0,60	4,00
7,00	1.022,96	0,53	350,00	1.372,96	861,48	511,48	0,59	3,92
8,00	998,79	2,65	350,00	1.348,79	849,40	499,40	0,59	3,85
9,00	975,30	3,71	350,00	1.325,30	837,65	487,65	0,58	3,79
10,00	957,61	5,30	350,00	1.307,61	828,81	478,81	0,58	3,74
11,00	935,25	6,89	350,00	1.285,25	817,62	467,62	0,57	3,67
12,00	918,27	7,95	350,00	1.268,27	809,14	459,14	0,57	3,62
13,00	901,35	9,01	350,00	1.251,35	800,67	450,67	0,56	3,58
14,00	887,76	10,07	350,00	1.237,76	793,88	443,88	0,56	3,54

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	$\bar{\sigma}_3$ kPa	$\bar{\sigma}_1$ kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q} / \bar{p}$	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$)
0,00	0,00	0,00	175,00	175,00	175,00	0,00	0,00	1,00
0,05	74,38	-0,53	175,00	249,38	212,19	37,19	0,18	1,43
0,10	94,39	-1,06	175,00	269,39	222,20	47,20	0,21	1,54
0,20	133,76	-1,59	175,00	308,76	241,88	66,88	0,28	1,76
0,35	186,48	-2,12	175,00	361,48	268,24	93,24	0,35	2,07
0,50	243,17	-2,65	175,00	418,17	296,59	121,59	0,41	2,39
0,75	322,38	-3,71	175,00	497,38	336,19	161,19	0,48	2,84
1,00	388,84	-3,71	175,00	563,84	369,42	194,42	0,53	3,22
1,25	449,14	-4,24	175,00	624,14	399,57	224,57	0,56	3,57
1,50	495,52	-4,77	175,00	670,52	422,76	247,76	0,59	3,83
1,75	532,27	-4,77	175,00	707,27	441,13	266,13	0,60	4,04
2,00	559,15	-4,77	175,00	734,15	454,57	279,57	0,62	4,20
2,50	597,41	-3,18	175,00	772,41	473,70	298,70	0,63	4,41
3,00	617,81	-2,12	175,00	792,81	483,90	308,90	0,64	4,53
3,50	620,72	-1,59	175,00	795,72	485,36	310,36	0,64	4,55
4,00	618,94	-1,06	175,00	793,94	484,47	309,47	0,64	4,54
4,50	606,22	0,53	175,00	781,22	478,11	303,11	0,63	4,46
5,00	594,13	1,06	175,00	769,13	472,07	297,07	0,63	4,40
6,00	577,86	3,18	175,00	752,86	463,93	288,93	0,62	4,30
7,00	558,30	5,83	175,00	733,30	454,15	279,15	0,61	4,19
8,00	540,76	7,95	175,00	715,76	445,38	270,38	0,61	4,09
9,00	522,86	10,60	175,00	697,86	436,43	261,43	0,60	3,99
10,00	509,12	12,19	175,00	684,12	429,56	254,56	0,59	3,91
11,00	491,93	14,84	175,00	666,93	420,96	245,96	0,58	3,81
12,00	480,80	16,43	175,00	655,80	415,40	240,40	0,58	3,75
13,00	463,57	17,49	175,00	638,57	406,78	231,78	0,57	3,65
14,00	459,21	18,55	175,00	634,21	404,61	229,61	0,57	3,62

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de resistencia cortante estimados al 12% de deformación en promedio son:

$a' = 12$ Kpa, $c' = 14$ Kpa, $\alpha' = 28.9^\circ$, $\Phi' = 33.5^\circ$ con un grado de compactación elevado y un consolidado drenado

Tabla 21. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado al 75% del Proctor (densidad seca =1.456g/cm³ y %W=16%) de la muestra RF-01, M-1

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	p kPa	q kPa	q / p	Oblicuidad (σ_1, σ_3)
0,00	0,00	0,00	700,00	700,00	700,00	0,00	0,00	1,00
0,05	40,42	0,10	700,00	740,42	720,21	20,21	0,03	1,06
0,10	60,84	0,20	700,00	760,84	730,42	30,42	0,04	1,09
0,20	93,15	0,50	700,00	793,15	746,57	46,57	0,06	1,13
0,35	124,22	0,90	700,00	824,22	762,11	62,11	0,08	1,18
0,50	153,18	1,30	700,00	853,18	776,59	76,59	0,10	1,22
0,75	196,18	2,00	700,00	896,18	798,09	98,09	0,12	1,28
1,00	237,72	2,60	700,00	937,72	818,86	118,86	0,15	1,34
1,25	280,49	3,40	700,00	980,49	840,24	140,24	0,17	1,40
1,50	319,61	4,10	700,00	1.019,61	859,80	159,80	0,19	1,46
1,75	351,96	4,70	700,00	1.051,96	875,98	175,98	0,20	1,50
2,00	397,31	5,40	700,00	1.097,31	898,66	198,66	0,22	1,57
2,50	445,02	6,50	700,00	1.145,02	922,51	222,51	0,24	1,64
3,00	507,28	7,70	700,00	1.207,28	953,64	253,64	0,27	1,72
3,50	569,08	8,70	700,00	1.269,08	984,54	284,54	0,29	1,81
4,00	621,99	9,60	700,00	1.321,99	1.010,99	310,99	0,31	1,89
4,50	672,12	10,50	700,00	1.372,12	1.036,06	336,06	0,32	1,96
5,00	724,54	11,50	700,00	1.424,54	1.062,27	362,27	0,34	2,04
6,00	819,37	12,90	700,00	1.519,37	1.109,68	409,68	0,37	2,17
7,00	901,14	14,30	700,00	1.601,14	1.150,57	450,57	0,39	2,29
8,00	970,91	13,80	700,00	1.670,91	1.185,46	485,46	0,41	2,39
9,00	1.030,79	12,90	700,00	1.730,79	1.215,39	515,39	0,42	2,47
10,00	1.086,24	12,10	700,00	1.786,24	1.243,12	543,12	0,44	2,55
11,00	1.125,70	12,10	700,00	1.825,70	1.262,85	562,85	0,45	2,61
12,00	1.154,70	11,50	700,00	1.854,70	1.277,35	577,35	0,45	2,65
13,00	1.186,69	11,10	700,00	1.886,69	1.293,35	593,35	0,46	2,70
14,00	1.212,86	10,90	700,00	1.912,86	1.306,43	606,43	0,46	2,73
15,00	1.232,95	10,50	700,00	1.932,95	1.316,47	616,47	0,47	2,76
16,00	1.245,40	10,30	700,00	1.945,40	1.322,70	622,70	0,47	2,78
17,00	1.271,53	10,10	700,00	1.971,53	1.335,76	635,76	0,48	2,82
18,00	1.281,49	9,90	700,00	1.981,49	1.340,74	640,74	0,48	2,83
19,00	1.289,60	9,80	700,00	1.989,60	1.344,80	644,80	0,48	2,84
20,00	1.281,30	9,70	700,00	1.981,30	1.340,65	640,65	0,48	2,83

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	p kPa	q kPa	q / p	Oblicuidad (σ_1, σ_3)
0,00	0,00	0,00	350,00	350,00	350,00	0,00	0,00	1,00
0,05	34,58	0,10	350,00	384,58	367,29	17,29	0,05	1,10
0,10	56,01	0,40	350,00	406,01	378,01	28,01	0,07	1,16
0,20	73,39	0,60	350,00	423,39	386,70	36,70	0,09	1,21
0,35	96,13	0,90	350,00	446,13	398,06	48,06	0,12	1,27
0,50	112,75	1,30	350,00	462,75	406,37	56,37	0,14	1,32
0,75	136,72	1,90	350,00	486,72	418,36	68,36	0,16	1,39
1,00	157,64	2,50	350,00	507,64	428,82	78,82	0,18	1,45
1,25	173,88	3,00	350,00	523,88	436,94	86,94	0,20	1,50
1,50	190,85	3,60	350,00	540,85	445,42	95,42	0,21	1,55
1,75	208,95	4,30	350,00	558,95	454,48	104,48	0,23	1,60
2,00	224,32	4,80	350,00	574,32	462,16	112,16	0,24	1,64
2,50	253,27	5,90	350,00	603,27	476,64	126,64	0,27	1,72
3,00	283,19	6,90	350,00	633,19	491,59	141,59	0,29	1,81
3,50	304,18	7,60	350,00	654,18	502,09	152,09	0,30	1,87
4,00	327,33	8,50	350,00	677,33	513,67	163,67	0,32	1,94
4,50	354,12	9,40	350,00	704,12	527,06	177,06	0,34	2,01
5,00	377,65	10,00	350,00	727,65	538,82	188,82	0,35	2,08
6,00	424,04	11,40	350,00	774,04	562,02	212,02	0,38	2,21
7,00	456,90	12,40	350,00	806,90	578,45	228,45	0,39	2,31
8,00	492,97	13,30	350,00	842,97	596,48	246,48	0,41	2,41
9,00	523,24	14,10	350,00	873,24	611,62	261,62	0,43	2,49
10,00	548,31	14,80	350,00	898,31	624,15	274,15	0,44	2,57
11,00	567,29	14,30	350,00	917,29	633,65	283,65	0,45	2,62
12,00	587,71	13,80	350,00	937,71	643,86	293,86	0,46	2,68
13,00	600,92	13,50	350,00	950,92	650,46	300,46	0,46	2,72
14,00	610,11	13,30	350,00	960,11	655,05	305,05	0,47	2,74
15,00	620,15	13,10	350,00	970,15	660,07	310,07	0,47	2,77
16,00	625,67	12,90	350,00	975,67	662,84	312,84	0,47	2,79
17,00	631,58	12,80	350,00	981,58	665,79	315,79	0,47	2,80
18,00	635,97	12,80	350,00	985,97	667,99	317,99	0,48	2,82
19,00	636,55	12,70	350,00	986,55	668,27	318,27	0,48	2,82
20,00	636,15	12,70	350,00	986,15	668,07	318,07	0,48	2,82

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	ΔV (cm ³)	σ_3 kPa	σ_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	q / p	Oblicuidad (σ_1 / σ_3)
0,00	0,00	0,00	175,00	175,00	175,00	0,00	0,00	1,00
0,05	27,59	0,00	175,00	202,59	188,79	13,79	0,07	1,16
0,10	32,31	0,10	175,00	207,31	191,15	16,15	0,08	1,18
0,20	41,67	0,30	175,00	216,67	195,83	20,83	0,11	1,24
0,35	50,15	0,70	175,00	225,15	200,07	25,07	0,13	1,29
0,50	56,94	1,00	175,00	231,94	203,47	28,47	0,14	1,33
0,75	68,83	1,40	175,00	243,83	209,41	34,41	0,16	1,39
1,00	81,77	2,30	175,00	256,77	215,88	40,88	0,19	1,47
1,25	90,92	3,00	175,00	265,92	220,46	45,46	0,21	1,52
1,50	102,02	3,70	175,00	277,02	226,01	51,01	0,23	1,58
1,75	110,52	4,30	175,00	285,52	230,26	55,26	0,24	1,63
2,00	115,64	4,90	175,00	290,64	232,82	57,82	0,25	1,66
2,50	133,67	5,90	175,00	308,67	241,83	66,83	0,28	1,76
3,00	150,15	7,00	175,00	325,15	250,08	75,08	0,30	1,86
3,50	161,76	8,00	175,00	336,76	255,88	80,88	0,32	1,92
4,00	177,11	8,90	175,00	352,11	263,55	88,55	0,34	2,01
4,50	191,10	9,80	175,00	366,10	270,55	95,55	0,35	2,09
5,00	204,13	10,50	175,00	379,13	277,07	102,07	0,37	2,17
6,00	229,44	11,90	175,00	404,44	289,72	114,72	0,40	2,31
7,00	249,68	13,20	175,00	424,68	299,84	124,84	0,42	2,43
8,00	269,50	14,10	175,00	444,50	309,75	134,75	0,44	2,54
9,00	286,74	14,80	175,00	461,74	318,37	143,37	0,45	2,64
10,00	298,65	14,30	175,00	473,65	324,32	149,32	0,46	2,71
11,00	311,39	13,70	175,00	486,39	330,70	155,70	0,47	2,78
12,00	319,06	13,30	175,00	494,06	334,53	159,53	0,48	2,82
13,00	327,44	13,00	175,00	502,44	338,72	163,72	0,48	2,87
14,00	335,06	12,80	175,00	510,06	342,53	167,53	0,49	2,91
15,00	339,76	12,60	175,00	514,76	344,88	169,88	0,49	2,94
16,00	343,31	12,40	175,00	518,31	346,66	171,66	0,50	2,96
17,00	346,46	12,30	175,00	521,46	348,23	173,23	0,50	2,98
18,00	349,37	12,30	175,00	524,37	349,68	174,68	0,50	3,00
19,00	349,85	12,30	175,00	524,85	349,93	174,93	0,50	3,00
20,00	347,65	12,20	175,00	522,65	348,83	173,83	0,50	2,99

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de resistencia cortante estimados al 12% de deformación en promedio son:

$a' = 9$ Kpa, $c' = 10$ Kpa, $\alpha' = 23.9^\circ$, $\Phi' = 26.3^\circ$ con un grado de compactación ligero y un consolidado drenado

Tabla 22. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca
 $=1.65\text{g/cm}^3$ y $\%W=16\%$ de la muestra RF-01, M-2

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_1 kPa	s_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q}/\bar{p}$	Oblicuidad (s_1/s_3)
0.00	0.00	0.00	350.00	350.00	350.00	0.00	0.00	1.00
0.05	54.35	3.03	346.97	401.32	374.14	27.17	0.07	1.16
0.10	75.40	5.57	344.43	419.82	382.13	37.70	0.10	1.22
0.20	98.65	11.82	338.18	436.83	387.51	49.32	0.13	1.29
0.35	126.94	20.95	329.05	455.98	392.51	63.47	0.16	1.39
0.50	140.22	32.81	317.19	457.41	387.30	70.11	0.18	1.44
0.75	160.85	52.36	297.64	458.49	378.06	80.43	0.21	1.54
1.00	175.79	69.57	280.43	456.22	368.33	87.90	0.24	1.63
1.25	187.46	90.94	259.06	446.53	352.79	93.73	0.27	1.72
1.50	194.34	103.84	246.16	440.50	343.33	97.17	0.28	1.79
1.75	203.87	123.33	226.67	430.55	328.61	101.94	0.31	1.90
2.00	209.79	136.03	213.97	423.75	318.86	104.89	0.33	1.98
2.50	216.07	163.41	186.59	402.66	294.63	108.04	0.37	2.16
3.00	226.21	185.50	164.50	390.70	277.60	113.10	0.41	2.38
3.50	234.22	204.26	145.74	379.95	262.85	117.11	0.45	2.61
4.00	238.72	216.55	133.45	372.17	252.81	119.36	0.47	2.79
4.50	243.93	223.79	126.21	370.14	248.17	121.96	0.49	2.93
5.00	248.29	228.99	121.01	369.30	245.16	124.14	0.51	3.05
6.00	255.81	235.76	114.24	370.06	242.15	127.91	0.53	3.24
7.00	267.92	237.58	112.42	380.33	246.38	133.96	0.54	3.38
8.00	274.17	238.87	111.13	385.31	248.22	137.09	0.55	3.47
9.00	282.47	237.96	112.04	394.50	253.27	141.23	0.56	3.52
10.00	289.10	235.75	114.25	403.34	258.79	144.55	0.56	3.53
11.00	296.27	234.26	115.74	412.01	263.87	148.13	0.56	3.56
12.00	301.72	231.69	118.31	420.03	269.17	150.86	0.56	3.55
13.00	305.63	229.03	120.97	426.60	273.79	152.82	0.56	3.53
14.00	306.79	228.38	121.62	428.41	275.02	153.40	0.56	3.52
15.00	306.79	228.38	121.62	428.41	275.02	153.40	0.56	3.52
16.00	306.79	228.38	121.62	428.41	275.02	153.40	0.56	3.52
17.00	306.79	228.38	121.62	428.41	275.02	153.40	0.56	3.52
18.00	306.79	228.38	121.62	428.41	275.02	153.40	0.56	3.52
19.00	306.79	228.38	121.62	428.41	275.02	153.40	0.56	3.52
20.00	327.29	217.69	132.31	459.60	295.95	163.64	0.55	3.47

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_3 kPa	s_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q}/\bar{p}$	Oblicuidad (s_1/s_3)
0.00	0.00	0.00	700.00	700.00	700.00	0.00	0.00	1.00
0.05	5.86	1.95	698.05	703.90	700.97	2.93	0.00	1.01
0.10	89.92	8.36	691.64	781.56	736.60	44.96	0.06	1.13
0.20	184.44	17.73	682.27	866.71	774.49	92.22	0.12	1.27
0.35	268.29	35.13	664.87	933.16	799.01	134.14	0.17	1.40
0.50	325.54	53.34	646.66	972.21	809.44	162.77	0.20	1.50
0.75	373.53	80.77	619.23	992.75	805.99	186.76	0.23	1.60
1.00	403.30	104.35	595.65	998.94	797.30	201.65	0.25	1.68
1.25	437.53	136.41	563.59	1,001.12	782.36	218.76	0.28	1.78
1.50	463.68	166.37	533.63	997.31	765.47	231.84	0.30	1.87
1.75	478.55	184.99	515.01	993.56	754.29	239.27	0.32	1.93
2.00	495.94	212.48	487.52	983.47	735.49	247.97	0.34	2.02
2.50	522.41	252.83	447.17	969.58	708.37	261.21	0.37	2.17
3.00	541.34	283.94	416.06	957.40	686.73	270.67	0.39	2.30
3.50	568.26	306.40	393.60	961.86	677.73	284.13	0.42	2.44
4.00	588.62	324.82	375.18	963.79	669.48	294.31	0.44	2.57
4.50	613.31	335.69	364.31	977.62	670.97	306.66	0.46	2.68
5.00	626.55	343.48	356.52	983.07	669.79	313.27	0.47	2.76
6.00	663.62	353.63	346.37	1,009.99	678.18	331.81	0.49	2.92
7.00	698.33	356.38	343.62	1,041.96	692.79	349.17	0.50	3.03
8.00	731.64	356.80	343.20	1,074.84	709.02	365.82	0.52	3.13
9.00	757.48	355.58	344.42	1,101.89	723.16	378.74	0.52	3.20
10.00	784.73	353.82	346.18	1,130.92	738.55	392.37	0.53	3.27
11.00	808.74	350.29	349.71	1,158.46	754.08	404.37	0.54	3.31
12.00	825.63	347.31	352.69	1,178.32	765.50	412.82	0.54	3.34
13.00	843.48	343.55	356.45	1,199.93	778.19	421.74	0.54	3.37
14.00	846.89	342.56	357.44	1,204.32	780.88	423.44	0.54	3.37
15.00	846.89	342.56	357.44	1,204.32	780.88	423.44	0.54	3.37
16.00	846.89	342.56	357.44	1,204.32	780.88	423.44	0.54	3.37
17.00	846.89	342.56	357.44	1,204.32	780.88	423.44	0.54	3.37
18.00	846.89	342.56	357.44	1,204.32	780.88	423.44	0.54	3.37
19.00	846.89	342.56	357.44	1,204.32	780.88	423.44	0.54	3.37
20.00	839.31	326.54	373.46	1,212.77	793.12	419.66	0.53	3.25

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_3 kPa	s_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q}/\bar{p}$	Oblicuidad (s_1/s_3)
0.00	0.00	0.00	175.00	175.00	175.00	0.00	0.00	1.00
0.05	22.60	2.56	172.44	195.04	183.74	11.30	0.06	1.13
0.10	31.23	4.38	170.62	201.86	186.24	15.62	0.08	1.18
0.20	42.23	9.34	165.66	207.90	186.78	21.12	0.11	1.25
0.35	51.53	18.18	156.82	208.35	182.59	25.77	0.14	1.33
0.50	62.13	25.27	149.73	211.86	180.79	31.07	0.17	1.41
0.75	64.67	38.63	136.37	201.04	168.71	32.34	0.19	1.47
1.00	72.65	48.90	126.10	198.75	162.42	36.33	0.22	1.58
1.25	76.02	57.31	117.69	193.71	155.70	38.01	0.24	1.65
1.50	81.09	67.87	107.13	188.22	147.68	40.54	0.27	1.76
1.75	82.26	74.69	100.31	182.57	141.44	41.13	0.29	1.82
2.00	82.63	83.81	91.19	173.82	132.51	41.31	0.31	1.91
2.50	85.54	95.37	79.63	165.17	122.40	42.77	0.35	2.07
3.00	91.10	102.91	72.09	163.19	117.64	45.55	0.39	2.26
3.50	93.66	109.32	65.68	159.33	112.51	46.83	0.42	2.43
4.00	95.76	114.19	60.81	156.57	108.69	47.88	0.44	2.57
4.50	98.38	118.96	56.04	154.42	105.23	49.19	0.47	2.76
5.00	100.20	120.64	54.36	154.56	104.46	50.10	0.48	2.84
6.00	107.35	122.90	52.10	159.44	105.77	53.67	0.51	3.06
7.00	110.70	125.56	49.44	160.14	104.79	55.35	0.53	3.24
8.00	111.03	125.23	49.77	160.80	105.29	55.52	0.53	3.23
9.00	119.64	124.78	50.22	169.86	110.04	59.82	0.54	3.38
10.00	123.46	124.61	50.39	173.85	112.12	61.73	0.55	3.45
11.00	125.11	123.36	51.64	176.75	114.19	62.55	0.55	3.42
12.00	129.89	122.79	52.21	182.09	117.15	64.94	0.55	3.49
13.00	133.56	121.76	53.24	186.80	120.02	66.78	0.56	3.51
14.00	136.13	120.38	54.62	190.75	122.68	68.07	0.55	3.49
15.00	136.13	120.38	54.62	190.75	122.68	68.07	0.55	3.49
16.00	136.13	120.38	54.62	190.75	122.68	68.07	0.55	3.49
17.00	136.13	120.38	54.62	190.75	122.68	68.07	0.55	3.49
19.00	136.13	120.38	54.62	190.75	122.68	68.07	0.55	3.49
20.00	150.50	113.75	61.25	211.75	136.50	75.25	0.55	3.46

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de resistencia cortante estimados al 12% de deformación en promedio son:

$a' = 5$ Kpa, $c' = 8$ Kpa, $\alpha' = 28.1^\circ$, $\Phi' = 32.3^\circ$ con un grado de compactación ligero y un consolidado no drenado

Tabla 23. Cuadro de ensayo de compresión triaxial Remoldeado a densidad seca
 $=1.75\text{g/cm}^3$ y $\%W=16\%$ de la muestra RF-01, M-3

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_1 kPa	s_2 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q}/\bar{p}$	Oblicuidad (s_1/s_2)
0.00	0.00	0.00	700.00	700.00	700.00	0.00	0.00	1.00
0.05	89.21	3.20	696.80	786.01	741.40	44.61	0.06	1.13
0.10	138.19	8.06	691.94	830.14	761.04	69.10	0.09	1.20
0.20	219.11	23.67	676.33	895.43	785.88	109.55	0.14	1.32
0.35	281.26	47.71	652.29	933.55	792.92	140.63	0.18	1.43
0.50	336.95	78.52	621.48	958.43	789.96	168.48	0.21	1.54
0.75	396.64	129.70	570.30	966.94	768.62	198.32	0.26	1.70
1.00	425.41	173.81	526.19	951.60	738.89	212.70	0.29	1.81
1.25	464.86	237.29	462.71	927.58	695.15	232.43	0.33	2.00
1.50	488.13	275.99	424.01	912.14	668.07	244.07	0.37	2.15
1.75	503.10	325.43	374.57	877.66	626.12	251.55	0.40	2.34
2.00	514.50	365.07	334.93	849.44	592.19	257.25	0.43	2.54
2.50	531.95	409.82	290.18	822.13	556.16	265.98	0.48	2.83
3.00	548.73	436.79	263.21	811.94	537.58	274.37	0.51	3.08
3.50	563.42	452.84	247.16	810.58	528.87	281.71	0.53	3.28
4.00	575.91	464.53	235.47	811.38	523.42	287.95	0.55	3.45
4.50	590.02	470.40	229.60	819.63	524.62	295.01	0.56	3.57
5.00	596.95	473.58	226.42	823.37	524.90	298.47	0.57	3.64
6.00	622.73	477.28	222.72	845.45	534.08	311.37	0.58	3.80
7.00	648.23	476.97	223.03	871.26	547.15	324.11	0.59	3.91
8.00	665.03	472.76	227.24	892.27	559.76	332.51	0.59	3.93
9.00	684.04	469.56	230.44	914.48	572.46	342.02	0.60	3.97
10.00	690.20	463.77	236.23	926.43	581.33	345.10	0.59	3.92
11.00	708.27	457.81	242.19	950.47	596.33	354.14	0.59	3.92
12.00	719.75	453.14	246.86	966.61	606.74	359.88	0.59	3.92
13.00	728.78	448.75	251.25	980.03	615.64	364.39	0.59	3.90
14.00	738.10	444.35	255.65	993.75	624.70	369.05	0.59	3.89
15.00	751.81	440.24	259.76	1,011.67	635.66	375.90	0.59	3.89
16.00	757.99	436.96	263.04	1,021.03	642.04	379.00	0.59	3.88
17.00	767.42	433.04	266.96	1,034.39	650.68	383.71	0.59	3.87
18.00	774.94	429.37	270.63	1,045.57	658.10	387.47	0.59	3.86
19.00	782.68	426.51	273.49	1,056.18	664.84	391.34	0.59	3.86
20.00	785.64	423.84	276.16	1,061.80	668.98	392.82	0.59	3.84

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_1 kPa	s_2 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q}/\bar{p}$	Oblicuidad (s_1/s_2)
0.00	0.00	0.00	350.00	350.00	350.00	0.00	0.00	1.00
0.05	47.75	7.01	342.99	390.75	366.87	23.88	0.07	1.14
0.10	96.92	21.42	328.58	425.50	377.04	48.46	0.13	1.29
0.20	124.08	34.57	315.43	439.51	377.47	62.04	0.16	1.39
0.35	168.93	62.46	287.54	456.47	372.01	84.47	0.23	1.59
0.50	193.44	84.42	265.58	459.02	362.30	96.72	0.27	1.73
0.75	224.54	117.05	232.95	457.49	345.22	112.27	0.33	1.96
1.00	236.32	142.41	207.59	443.91	325.75	118.16	0.36	2.14
1.25	248.29	159.32	190.68	438.98	314.83	124.15	0.39	2.30
1.50	261.70	180.28	169.72	431.42	300.57	130.85	0.44	2.54
1.75	263.95	189.58	160.42	424.37	292.39	131.97	0.45	2.65
2.00	274.73	201.81	148.19	422.91	285.55	137.36	0.48	2.85
2.50	284.48	218.17	131.83	416.32	274.07	142.24	0.52	3.16
3.00	297.04	227.16	122.84	419.89	271.36	148.52	0.55	3.42
3.50	304.15	234.96	115.04	419.19	267.11	152.08	0.57	3.64
4.00	311.05	238.39	111.61	422.66	267.14	155.53	0.58	3.79
4.50	315.50	242.48	107.52	423.02	265.27	157.75	0.59	3.93
5.00	321.50	244.21	105.79	427.29	266.54	160.75	0.60	4.04
6.00	330.33	245.88	104.12	434.45	269.28	165.16	0.61	4.17
7.00	343.09	245.07	104.93	448.02	276.47	171.55	0.62	4.27
8.00	344.65	243.71	106.29	450.94	278.61	172.33	0.62	4.24
9.00	344.36	242.49	107.51	451.86	279.69	172.18	0.62	4.20
10.00	345.75	240.63	109.37	455.12	282.25	172.88	0.61	4.16
11.00	353.22	234.92	115.08	468.30	291.69	176.61	0.61	4.07
12.00	359.05	231.57	118.43	477.48	297.95	179.53	0.60	4.03
13.00	367.58	228.71	121.29	488.87	305.08	183.79	0.60	4.03
14.00	378.58	224.25	125.75	504.33	315.04	189.29	0.60	4.01
15.00	385.07	222.40	127.60	512.67	320.14	192.53	0.60	4.02
16.00	392.15	219.01	130.99	523.14	327.07	196.07	0.60	3.99
17.00	396.56	213.64	136.36	532.92	334.64	198.28	0.59	3.91
18.00	398.89	210.19	139.81	538.70	339.26	199.45	0.59	3.85
19.00	405.93	207.81	142.19	548.12	345.16	202.97	0.59	3.85
20.00	411.15	205.13	144.87	556.02	350.44	205.57	0.59	3.84

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	μ kPa	s_2 kPa	s_1 kPa	$\bar{p}$ kPa	$\bar{q}$ kPa	$\bar{q}/\bar{p}$	Oblicuidad (s_1/s_2)
0.00	0.00	0.00	175.00	175.00	175.00	0.00	0.00	1.00
0.05	36.99	5.69	169.31	206.31	187.81	18.50	0.10	1.22
0.10	47.80	10.71	164.29	212.09	188.19	23.90	0.13	1.29
0.20	66.36	19.85	155.15	221.52	188.33	33.18	0.18	1.43
0.35	83.32	31.23	143.77	227.09	185.43	41.66	0.22	1.58
0.50	95.40	42.21	132.79	228.19	180.49	47.70	0.26	1.72
0.75	111.48	59.98	115.02	226.51	170.77	55.74	0.33	1.97
1.00	116.56	71.20	103.80	220.35	162.07	58.28	0.36	2.12
1.25	122.45	79.66	95.34	217.79	156.57	61.23	0.39	2.28
1.50	129.07	90.14	84.86	213.93	149.39	64.54	0.43	2.52
1.75	132.79	97.24	77.76	210.55	144.16	66.39	0.46	2.71
2.00	139.37	100.91	74.09	213.46	143.78	69.69	0.48	2.88
2.50	139.94	109.08	65.92	205.86	135.89	69.97	0.51	3.12
3.00	146.51	113.58	61.42	207.93	134.68	73.26	0.54	3.39
3.50	151.04	118.06	56.94	207.97	132.46	75.52	0.57	3.65
4.00	153.43	119.19	55.81	209.24	132.52	76.72	0.58	3.75
4.50	158.43	120.83	54.17	212.61	133.39	79.22	0.59	3.92
5.00	157.09	122.10	52.90	209.99	131.44	78.55	0.60	3.97
6.00	161.47	122.94	52.06	213.53	132.79	80.73	0.61	4.10
7.00	169.24	122.54	52.46	221.71	137.08	84.62	0.62	4.23
8.00	164.90	121.86	53.14	218.04	135.59	82.45	0.61	4.10
9.00	169.86	121.25	53.75	223.61	138.68	84.93	0.61	4.16
10.00	170.52	120.31	54.69	225.21	139.95	85.26	0.61	4.12
11.00	174.23	117.46	57.54	231.77	144.66	87.12	0.60	4.03
12.00	177.09	115.79	59.21	236.31	147.76	88.55	0.60	3.99
13.00	181.29	114.36	60.64	241.94	151.29	90.65	0.60	3.99
14.00	187.03	112.09	62.91	249.95	156.43	93.52	0.60	3.97
15.00	189.95	111.20	63.80	253.76	158.78	94.98	0.60	3.98
16.00	193.45	109.50	65.50	258.94	162.22	96.72	0.60	3.95
17.00	195.60	106.82	68.18	263.78	165.98	97.80	0.59	3.87
19.00	200.24	103.90	71.10	271.34	171.22	100.12	0.58	3.82
20.00	202.84	102.57	72.43	275.27	173.85	101.42	0.58	3.80

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de resistencia cortante estimados al 12% de deformación en promedio son:

$a' = 0$ Kpa, $c' = 0$ Kpa, $\alpha' = 18.7^\circ$, $\Phi' = 19.8^\circ$ con un grado de compactación bajo y un consolidado no drenado

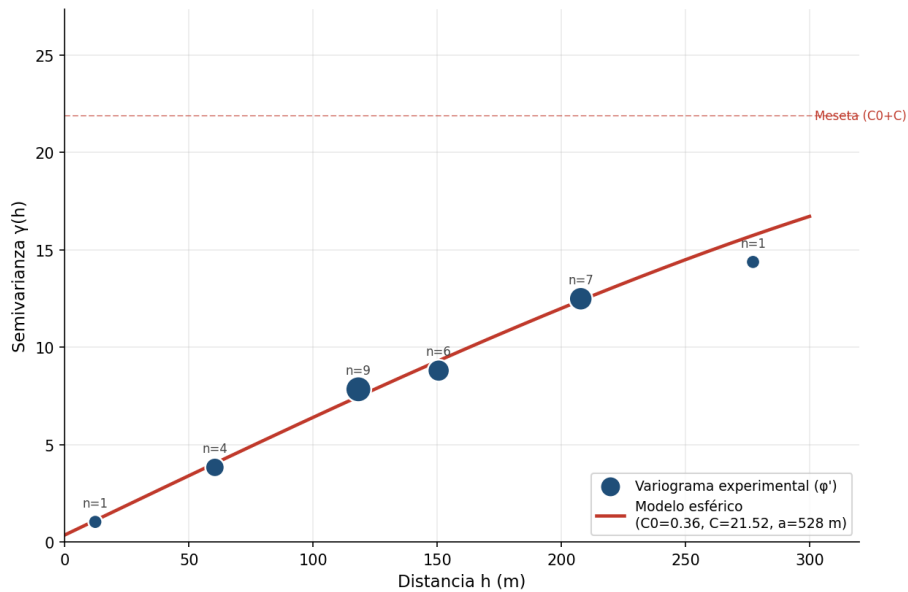
Tabla 24. Resumen de las propiedades de resistencia

Zona	Calicata	Muestra	Prof. (m)	SUCS	Ensayos	Propiedades de remoldeo		Condiciones Totales		Condiciones Efectivas	
						Yd (gr/cm ³)	w%	C (K Pa)	(°)	C' (K Pa)	φ (°)
Esperanza/ Dique	CE-01/CE-02	M-1	0.00-3.50	GC	Corte directo	1.80	9.50	-	-	1.46	31.3
Esperanza/ Cimentación	CE-07	M-1	0.30-1.00	GM	TX CU	1.70	14.50	77.7	20	11.2	44.5
Esperanza/ Cimentación	CE-08	M-1	0.20-1.20	CL	Corte directo	1.40	18.00	-	-	9.75	27.9
Desmonte	DM-01	M-1	-	GC	TXCD	2.033	6.20	-	-	0.0	36.0
Desmonte	DM-02	M-1	-	GC	TXCD	2.146	6.20	-	-	29.0	37.6
Relave fino	RF-01	M-1	-	CL	TXCD	1.456	16.0	-	-	10.0	26.3
Relave fino	RF-01	M-2	-	CL	TXCD	1.650	16.0	0	20.9	5.0	32.3
Relave fino	RF-01	M-3	-	CL-ML	TXCU	1.750	16.0	0	19.8	0.0	36.5
Mezcla (2R-1P)	MR-01	M-1	-	GC	TXCD	2.10	10.7	-	-	0.0	32.5
Mezcla (3R-1P)	MR-02	M-1	-	CL	TXCD	2.10	10.7	-	-	0.0	33.7
Mezcla (3R-1P)	MR-02	M-2	-	CL	TXCU	1.85	12.0	35	15.4	0.0	31.1
Mezcla (4R-1P)	MR-03	M-1	-	CL	TXCD	2.09	11.9	-	-	14.0	33.5

Fuente: Elaboración Propia

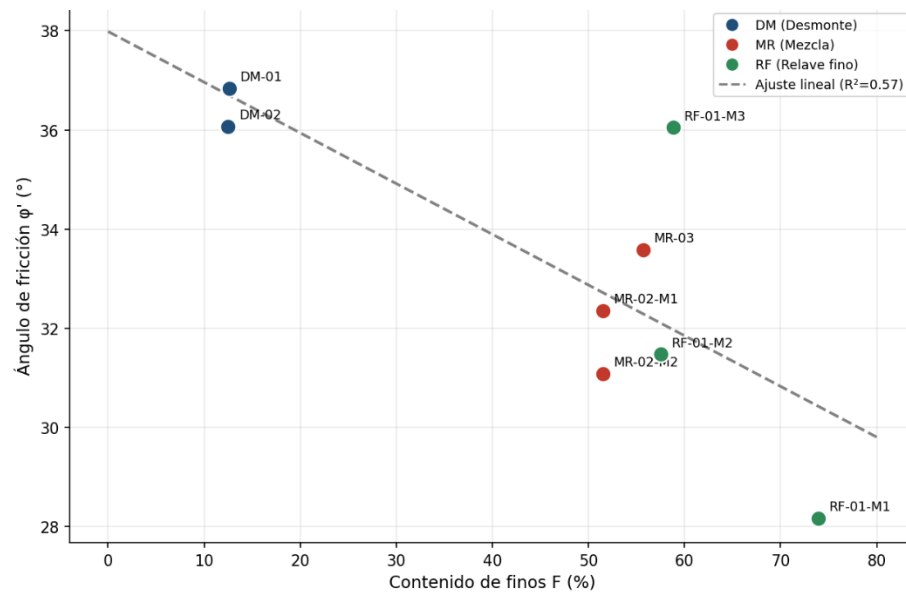
4.2.5. Estadística

Figura 38. Variograma de Distancia por la Semivarianza del ángulo de fricción interna efectivo del suelo (ϕ')



El variograma muestra una tendencia creciente de la semivarianza $\gamma(h)$ con el incremento de la distancia, pasando de valores cercanos a 1 en distancias cortas (11-60 m) hasta aproximadamente 12-14 en distancias mayores a 200 m, lo cual sugiere en principio la existencia de una estructura de autocorrelación espacial: calicatas más cercanas entre sí tienden a presentar valores de ϕ' más similares que calicatas alejadas. Al ajustar un modelo esférico a la nube experimental se obtuvieron los parámetros nugget $C_0 = 0.36$, meseta parcial $C = 21.52$ y alcance a 528 m.

Figura 39. Tendencia del % de Contenido de finos por la Semivarianza del ángulo de fricción interna efectivo del suelo



La tendencia muestra relación negativa a mayor porcentaje de finos, el ángulo de fricción tiende a disminuir. Esto es explicable ya que los materiales con mayor proporción de partículas gruesas desarrollan mayor fricción entre partículas, que los finos, puesto que estas favorecen el deslizamiento relativo.

4.2.6. Métodos Numéricos Con Software Plaxis 2d Y Equilibrio Límite Con Software Slide V.6.0

La evaluación de la estabilidad de los taludes en los depósitos de relaves ha determinado factores de seguridad: para condición estática mayor que 1.5 y para condiciones pseudoestáticas mayores a 1.0. Por lo cual, se concluye que los diseños son estables cumpliendo con los requisitos mínimos establecidos por el CDA y por consiguiente los que establece el Ministerio de Energía y Minas

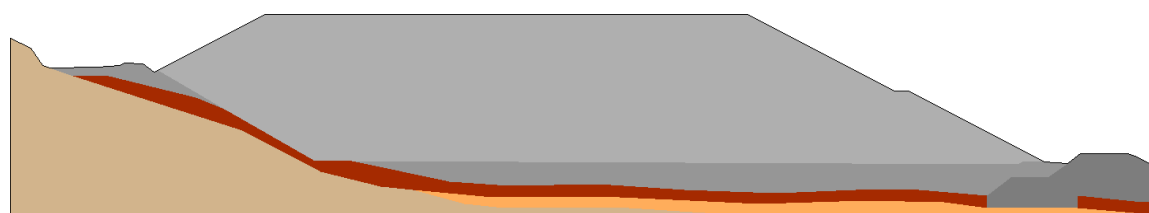
Tabla 25. Unidades geotécnicas

Unidad geotécnica	Color
Unidad 01: Roca de fundación	
Unidad 02: Depósito fluvioglacial	
Unidad 03: Arcilla	
Unidad 04: Material de dique	
Unidad 05: Desmonte compactado	
Unidad 06: Desmonte suelto	
Unidad 07: Material mezcla	
Unidad 08: Relave	

Fuente: Elaboración Propia

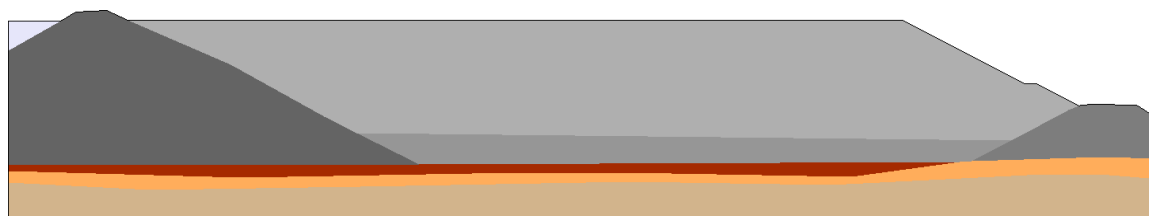
En las siguientes figuras se podrá observar las secciones de análisis.

Figura 40. Imagen de la sección A – Cota 4621 msnm



Fuente: Elaboración Propia

Figura 41. Imagen de la sección B – Cota 4621 msnm



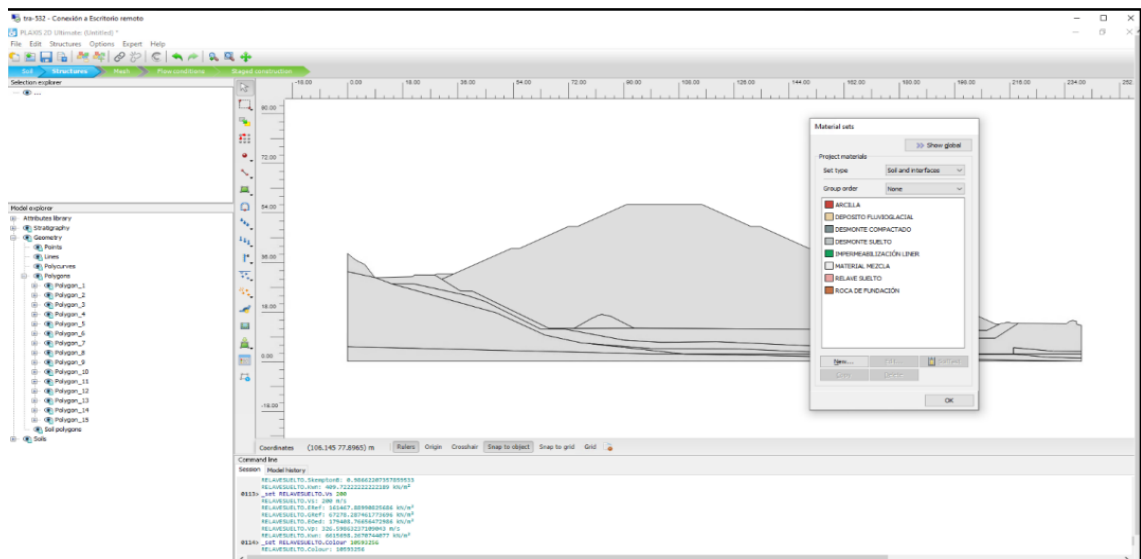
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26. Parámetros de Resistencia

Material	Y (Kn/m ³)	Resistencia drenada	
		Cohesión (kPa)	Phi (°)
Relave Suelto	16.5	10	28
Roca de fundación	22	223	25
Fluvioglacial	18	10	32
Arcilla	19	5	28
Desmonte compactado	20	5	42
Desmonte Suelto	18.5	0	34
Mezcla compactada	18	10	30
Impermeabilización	18	10	20

Fuente: Elaboración Propia

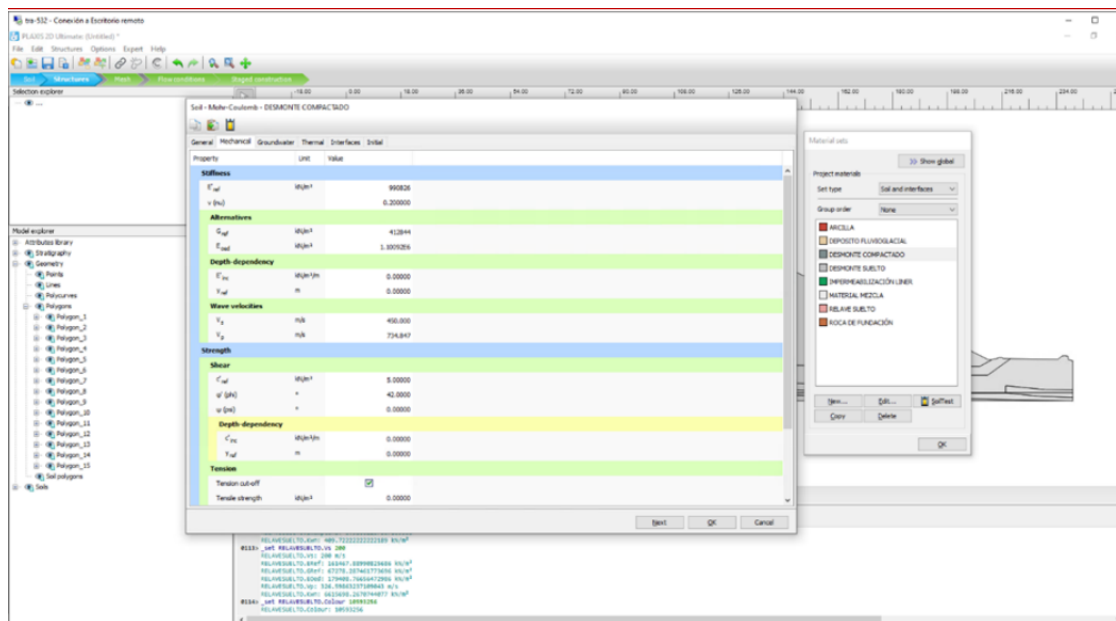
Figura 42. Imagen del modelo constitutivo de Mohr Coulumb



Fuente: Elaboración Propia

Se procede con la creación de los ocho materiales del talud de relave por el modelo constitutivo de Mohr Coulumb

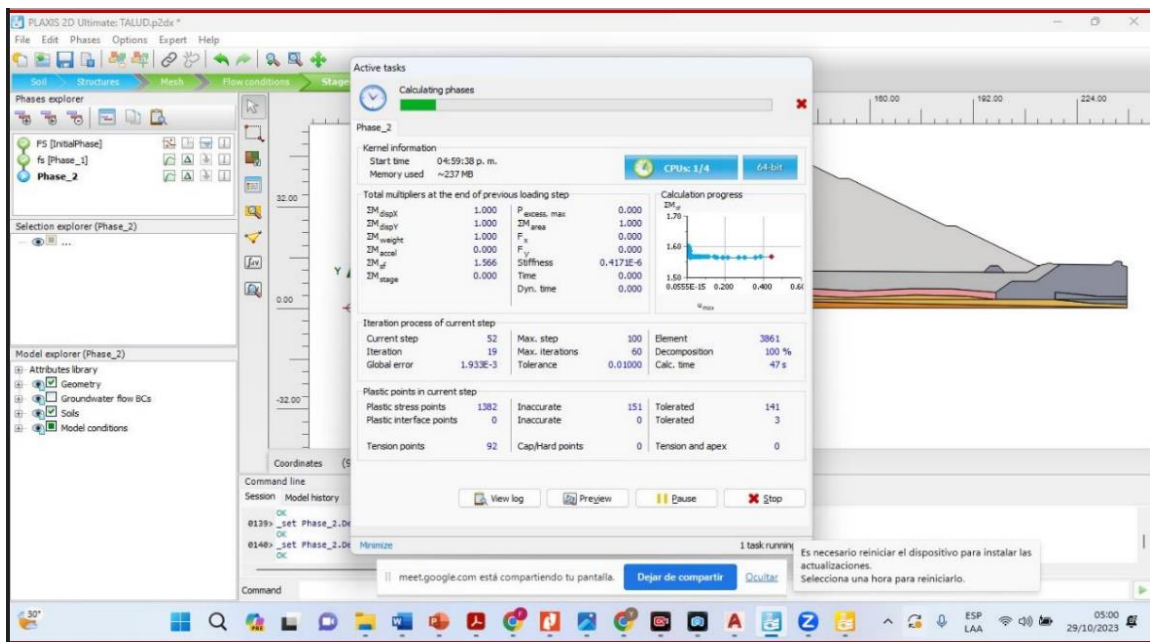
Figura 43. Imagen de la pestaña de asignación de parámetros



Fuente: Elaboración Propia

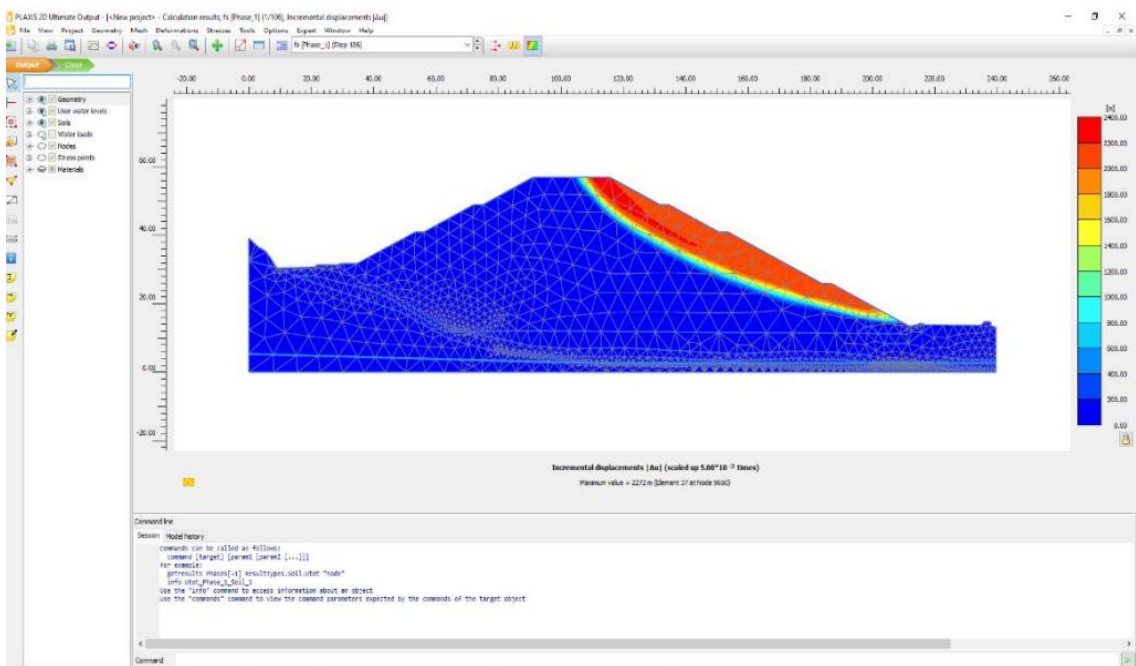
Pestaña de asignación de parámetros como, cohesión, ángulo de fricción, módulo de elasticidad, módulo de Young, Etc. del material codispuesto

Figura 44. Imagen del cálculo del software con el modelo Reducción de Parámetros



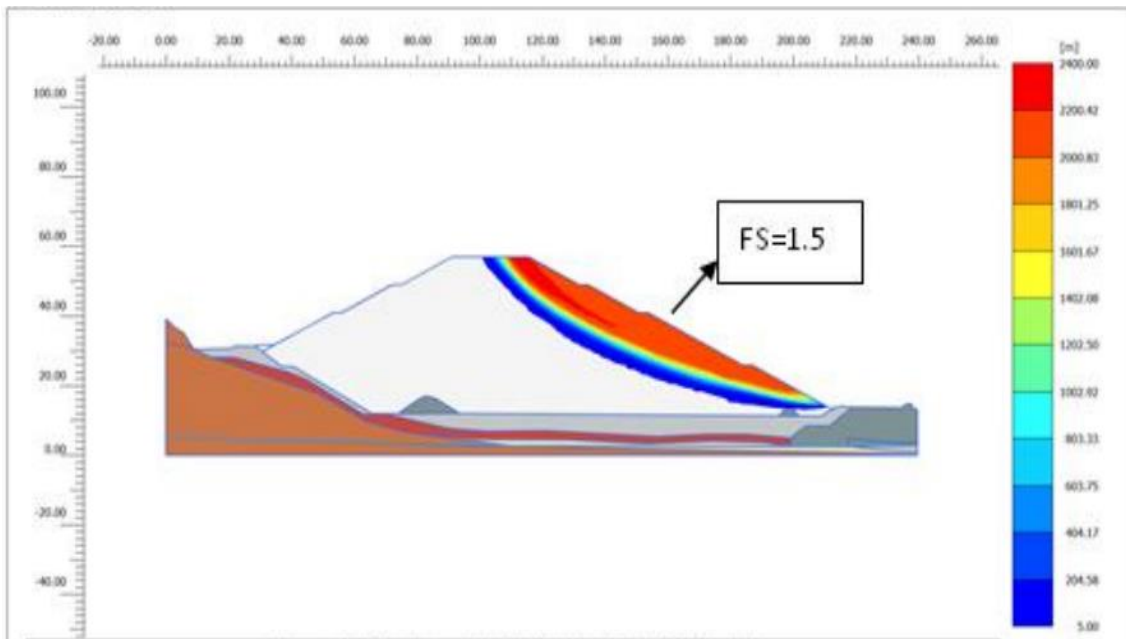
Fuente: Elaboración Propia

Figura 45. Imagen del resultado del análisis del método de finitos



Fuente: Elaboración Propia

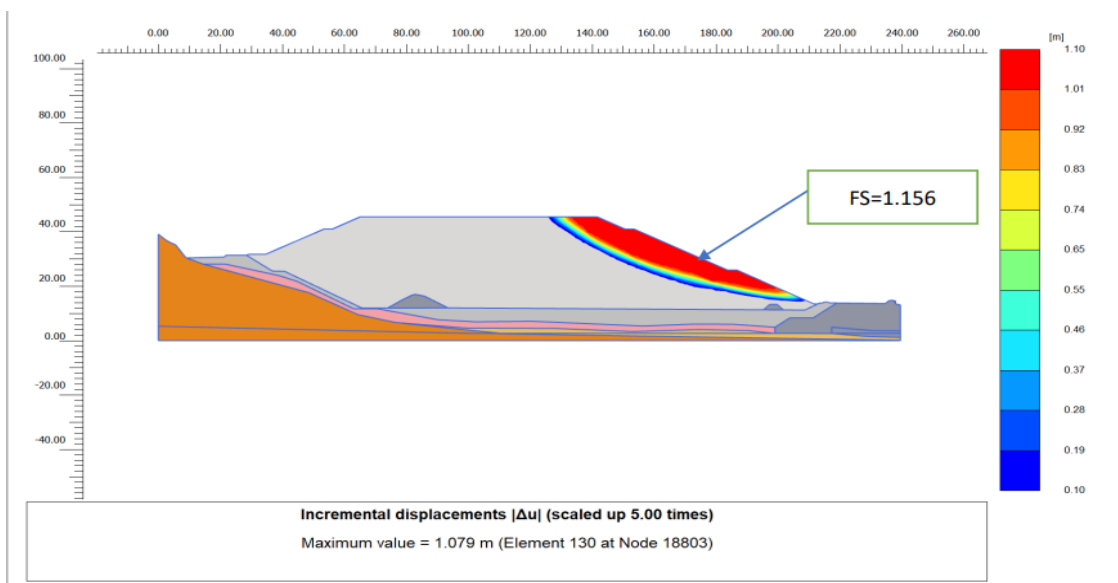
Figura 46. Imagen del modelo Estático



Fuente: Elaboración Propia

Para que un talud se considere estable y seguro, el resultado del factor de seguridad debe cumplir con los siguientes valores mínimos en caso de una situación Estática (permanente): $FS \geq 1.5$, la cual teniendo como resultado un factor de seguridad 1.5 en modelamiento estático con el programa software Plaxis 2D, se indicó que llega a ser estable.

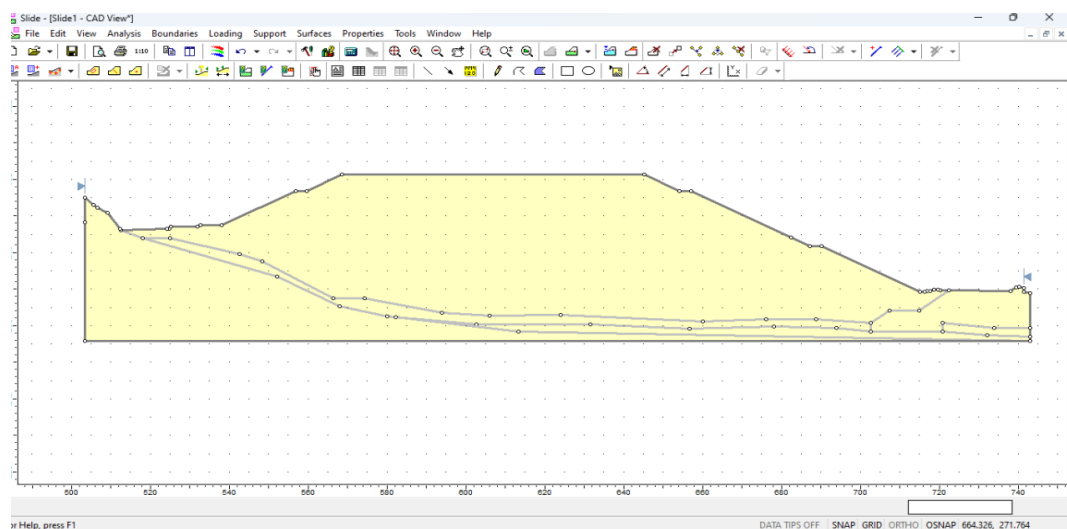
Figura 47. Imagen del modelamiento Pseudoestático



Fuente: Elaboración Propia

Según el estándar internacional y la Norma Técnica Para que un talud se considere estable y seguro, el resultado del factor de seguridad debe cumplir con los siguientes valores mínimos en caso de una situación Sísmica (accidental): $FS \geq 1.1$ o 1.2 en este caso Para el modelamiento Pseudoestático MEF se trabajó con una aceleración sísmica de 0.125 gals y Como resultado se obtuvo un $F.S=1.156$, llegando a la conclusión que es estable y seguro.

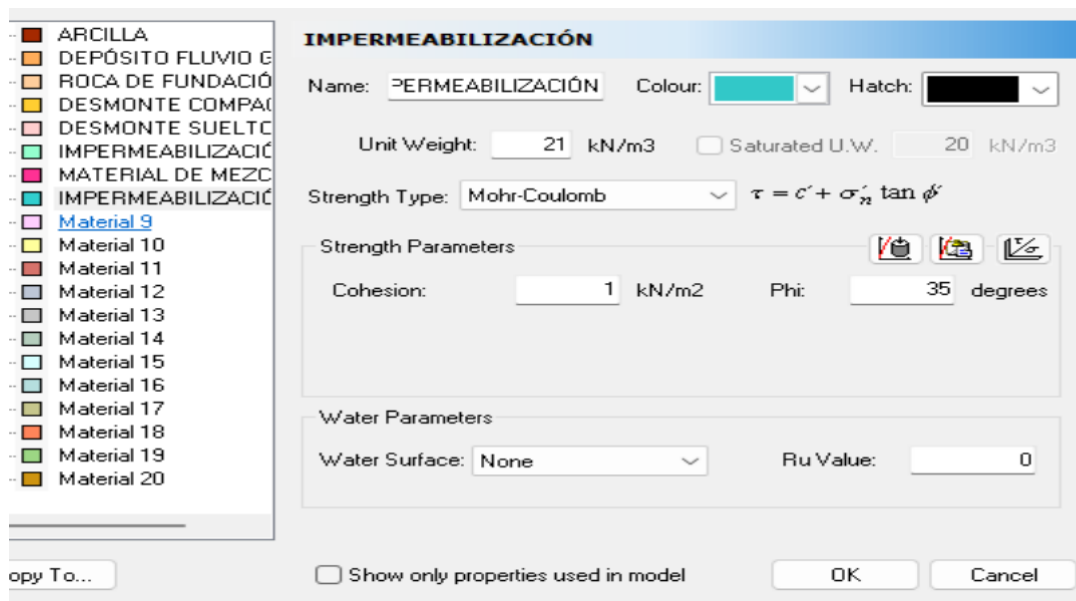
Figura 48. Imagen de la ejecución del análisis método de equilibrio límite (MEL) en el software Slide V 6.0



Fuente: Elaboración Propia

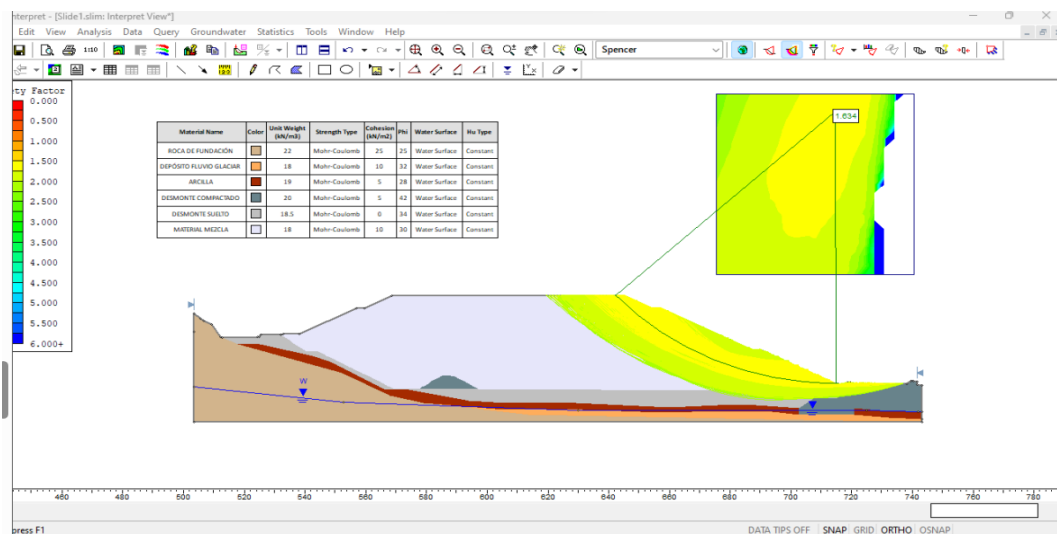
Se tiene la Geometría lista para la Asignación de parámetros de resistencia los respectivos materiales

Figura 49. Imagen de la asignación de materiales



Fuente: Elaboración Propia

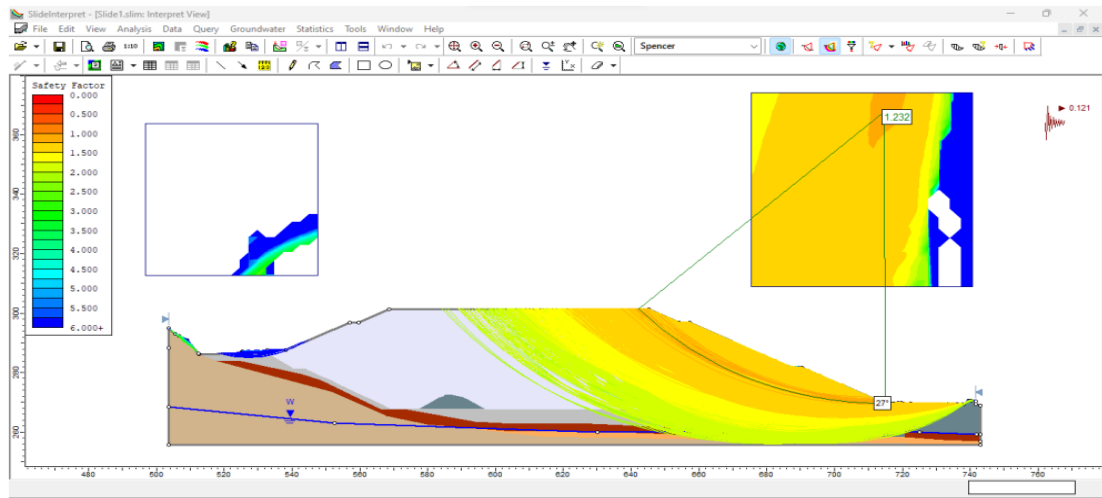
Figura 50. Imagen del modelo resultado estático



Fuente: Elaboración Propia

Según el estándar internacional y la Norma Técnica Para que un talud se considere estable y seguro, el resultado del factor de seguridad debe cumplir con los siguientes valores mínimos en caso de una situación Estática (permanente): $FS \geq 1.5$. Siendo este el resultado del modelo estático por el en el software Slide V 6.0, que tuvo un Factor de Seguridad de 1.6, por lo que se pudo decir que es estable.

Figura 51. Imagen del modelo Resultado Pseudoestático



Fuente: Elaboración Propia

Según el estándar internacional y la Norma Técnica Para que un talud se considere estable y seguro, el resultado del factor de seguridad debe cumplir con los siguientes valores mínimos en caso de una situación Sísmica (accidental): $FS \geq 1.1$ o 1.2. Siendo el resultado del modelo pseudoestático por el en el software Slide V 6.0 un Factor de Seguridad 1.2, llegando a la conclusión que es estable y seguro.

4.3. Prueba de hipótesis

La descripción geomecánica de los materiales de la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros permite definir los parámetros de resistencia al corte y permeabilidad requeridos para asegurar el soporte estructural del depósito.

La caracterización geotécnica de los materiales codispuestos revela que la variabilidad en la granulometría es el factor primario que condiciona su comportamiento. Mientras que los materiales como el desmonte (DM-01) presentan una predominancia de gravas (59.7%) y arenas, los relaves finos (RF-01) carecen totalmente de partículas gruesas, alcanzando hasta un 73.9% de finos. Esta distribución de tamaños de partícula define la clasificación SUCS, transitando desde gravas

arcillosas (GC) de alta competencia mecánica hasta arcillas ligeras o limosas (CL/CL-ML), lo que impacta directamente en la permeabilidad y la porosidad del depósito final.

En cuanto a la plasticidad, los Límites de Atterberg muestran una respuesta diferenciada según el contenido de finos y su mineralogía. Los materiales con mayor porcentaje de arcilla, como el sondaje CE-08, presentan un Límite Líquido elevado del 47% y un Índice de Plasticidad de 20%, lo que indica una mayor susceptibilidad a deformaciones bajo cambios de humedad. Por el contrario, las mezclas de codisposición (como la MR-01) logran estabilizar estos parámetros, manteniendo un IP controlado de aproximadamente 8%, lo que mejora la consistencia del material y reduce el riesgo de comportamiento plástico excesivo dentro de la estructura.

La respuesta mecánica, específicamente el Ángulo de fricción interna y la Cohesión, se ve optimizada mediante el grado de compactación alcanzado. Los ensayos de Proctor Modificado y densidad in-situ confirman que una adecuada relación entre la densidad seca y humedad óptima permite obtener estructuras más densas y resistentes. Por ejemplo, el material de desmonte logra densidades secas de hasta 2.033 gr/cm³, lo que se traduce en un ángulo de fricción superior (hasta 44.5° en gravas), proporcionando el esqueleto granular necesario para soportar las cargas, mientras que la cohesión es aportada por la matriz de finos del relave.

El análisis del efecto de la granulometría y el grado de compactación de los relaves y desmontes influyen directamente en la estabilidad del terraplén.

La influencia de la granulometría en la resistencia al corte es evidente al comparar los materiales granulares frente a los finos. Los resultados de los ensayos triaxiales (CD y CU) muestran que las muestras de desmonte (DM-02), con una matriz predominantemente gravosa, alcanzan ángulos de fricción interna de hasta 37.6°. En contraste, los relaves finos (RF-01) presentan una resistencia significativamente menor,

con valores que descienden hasta 19.8° en condiciones no drenadas. Esta variación demuestra que un esqueleto granular bien distribuido permite una mayor trabazón entre partículas, aumentando la capacidad del terraplén para resistir esfuerzos cortantes.

El grado de compactación, vinculado directamente a los parámetros del Proctor Modificado, actúa como un catalizador de la estabilidad mecánica. Al incrementar la densidad seca de la muestra DM-01 (compactación media, 2.033 gr/cm^3) a la muestra DM-02 (compactación alta, 2.146 gr/cm^3), la cohesión efectiva se eleva de 0 kPa a 29 kPa. Este aumento en la densidad reduce los vacíos y fortalece los contactos intergranulares, permitiendo que el material soporte mayores cargas antes de alcanzar la falla, lo cual es fundamental para la integridad de la estructura del terraplén.

La variación del factor de seguridad se ve directamente impactada por estas propiedades. En las mezclas de codisposición, como la MR-03, el uso de un grado de compactación elevado (2.09 gr/cm^3) logra estabilizar la resistencia de 33.5° y una cohesión de 14 kPa. Si estos niveles de compactación no se alcanzan, como se observa en los relaves con compactación ligera o baja, la resistencia cae drásticamente, lo que reduciría el margen de seguridad frente a posibles deslizamientos, especialmente en condiciones de saturación donde la presión de poros puede comprometer la estabilidad.

A su vez, la integración de una granulometría gruesa con un proceso de compactación riguroso garantiza terraplenes estables y duraderos. Los datos indican que la transición de una compactación baja a una alta en materiales similares puede mejorar el ángulo de fricción en más de 10° , impactando positivamente en el factor de seguridad tanto en condiciones estáticas como dinámicas. Por tanto, el control de la densidad seca y la selección de mezclas con granulometría compensada son las variables críticas para asegurar que la estructura cumpla con las exigencias de seguridad geotécnica a largo plazo.

La aplicación del método de análisis numérico proporciona una estimación de los factores de seguridad frente a fallas por corte en la estructura.

El uso de herramientas como Plaxis 2D para el Método de Elementos Finitos permite integrar modelos constitutivos complejos, como el de Mohr-Coulomb, aplicándolo a las ocho unidades geotécnicas del depósito, desde la roca de fundación hasta el material codispuesto. Esta metodología simula el comportamiento esfuerzo-deformación, permitiendo asignar parámetros específicos como el Módulo de Young y el coeficiente de Poisson para cada capa del terraplén.

En el modelamiento estático, los resultados obtenidos mediante el software demuestran que el análisis MEF arrojó un Factor de Seguridad de 1.5, validando que el diseño del talud en la cota 4621 msnm es intrínsecamente estable. Al contrastar esto con el Método de Equilibrio Límite ejecutado en Slide V 6.0, que reportó un FS de 1.6, se observa una convergencia que refuerza la confiabilidad del diseño. La capacidad del software para realizar la reducción de parámetros permite identificar con exactitud las zonas de plastificación y las posibles superficies de falla de manera mucho más detallada que un cálculo manual o empírico.

La evaluación de condiciones pseudoestáticas es donde el análisis numérico muestra su utilidad para la seguridad operativa. Al aplicar una aceleración sísmica de 0.125g (correspondiente a la Zona 2 según la normativa E-030), el software MEF determinó un F.S. de 1.156, mientras que el método MEL reportó un 1.2. Ambos valores superan el umbral crítico de 1.0 establecido por el Ministerio de Energía y Minas y el CDA, lo que garantiza que el depósito de relaves mantendrá su integridad estructural incluso durante eventos sísmicos moderados.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación corroboran las tesis de Yang et al. (2025) y Smith et al. (2021), quienes sostienen que la codisposición de relaves y desmontes incrementa la resistencia global de los depósitos al generar una estructura granular más competente. La transición observada desde arcillas ligeras (CL) hacia mezclas con Índice de Plasticidad controlado al 8% (como en la muestra MR-01) valida lo expuesto por Román y Meléndez (2023), quienes asocian la densificación y el control de finos con una reducción drástica del riesgo de inestabilidad. Asimismo, la optimización del ángulo de fricción interna hasta 44.5° mediante la compactación al 95% del Proctor Modificado guarda una estrecha relación con las conclusiones de Aguirre (2021), quien enfatiza que el control de la densidad seca y la humedad óptima son variables determinantes para elevar el factor de seguridad en contextos andinos de alta sismicidad. Finalmente, la convergencia entre la caracterización física de laboratorio y el desempeño mecánico del terraplén respalda la recomendación de Popescu et al. (2022) sobre la necesidad de integrar parámetros geotécnicos precisos en modelos numéricos para capturar la complejidad del comportamiento del material codispuesto, asegurando así la sostenibilidad y seguridad de la infraestructura minera propuesta.

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman la premisa de Yang et al. (2025) y Smith et al. (2021), quienes identifican la granulometría y los métodos constructivos como variables críticas para la estabilidad global de los depósitos. La marcada diferencia de resistencia hallada entre el desmonte 37.6° y el relave fino 19.8° valida la conclusión de Aguirre (2021) sobre la influencia significativa del esqueleto granular en el factor de seguridad. Asimismo, el incremento de la cohesión efectiva de 0 a 29 kPa al pasar de una compactación media a una alta concuerda con lo expuesto

por Román y Meléndez (2023), quienes sostienen que la densificación del material mejora drásticamente el desempeño geotécnico y reduce el riesgo de inestabilidad. Esta mejora mecánica en las mezclas de codisposición (como la MR-03 con 33.5°) respalda la postura de Cacciuttolo y Cano (2022), reafirmando que una disposición tecnificada y controlada no solo reduce los riesgos de falla, sino que optimiza la respuesta del depósito frente a condiciones de saturación, tal como advirtió Reyes (2021) respecto a los bajos factores de seguridad en materiales poco densos o altamente saturados.

La integración de herramientas de análisis numérico de última generación en esta investigación confirma las posturas de Popescu et al. (2022) y Reyes (2021), quienes sostienen que el modelamiento avanzado mediante el MEF ofrece una precisión superior en escenarios complejos al permitir identificar zonas de plastificación detalladas. La convergencia de resultados entre el software Plaxis 2D (FS = 1.50) y Slide V 6.0 (FS = 1.60) para la condición estática valida la robustez del diseño, alineándose con los hallazgos de Smith et al. (2021) sobre el incremento del factor de seguridad en sistemas de codisposición. Asimismo, la evaluación pseudoestática con una aceleración de 0.125g, que arrojó valores superiores al umbral crítico de 1.0 (1.156 por MEF y 1.2 por MEL), respalda las conclusiones de Aguirre (2021) y Macedo et al. (2022) sobre la importancia de simular la respuesta dinámica y los esfuerzos efectivos en depósitos ubicados en el cinturón andino. En última instancia, el uso del modelo constitutivo de Mohr-Coulomb para caracterizar las ocho unidades geotécnicas permite una gestión técnica alineada con la "disposición tecnificada" que proponen Cacciuttolo y Marinovic (2022), garantizando que la estructura no solo cumpla con la normativa del Ministerio de Energía y Minas, sino que sea resiliente ante eventos sísmicos moderados.

CONCLUSIONES

Describir las propiedades geomecánicas de los materiales de la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros.

Se concluye que la caracterización física y mecánica de los materiales para la codisposición revela un material, clasificada principalmente bajo el sistema SUCS, como gravas arcillosas y limosas , y arcillas de baja plasticidad en las muestras estudiadas. Los ensayos de Granulometría y Límites de Atterberg muestran que las mezclas de codisposición mantienen un Índice de Plasticidad entre 8% y 10%, lo que favorece su manejabilidad. En términos de compactación, los ensayos Proctor Modificado y de densidad in situ indican un desempeño óptimo en las muestras de desmonte (DM-01) con densidades secas de hasta 2.033 gr/cm³, mientras que las mezclas presentan una densidad seca y humedad óptima que garantiza la estabilidad volumétrica del depósito tras su colocación.

Analizar el efecto de la granulometría y compactación de los relaves y desmontes en la estabilidad del terraplén.

Se concluye que, desde la perspectiva de la estabilidad estructural, los parámetros de resistencia obtenidos mediante ensayos de corte directo y triaxiales demuestran que la codisposición mejora las propiedades del relave aislado. Se observa que el ángulo de fricción interna en condiciones efectivas oscila entre 26.3° y 44.5°, mientras que la cohesión alcanza valores de hasta 29.0 kPa en zonas de desmonte, aportando la resistencia necesaria para garantizar la integridad de la infraestructura. La interacción entre el desmonte y el relave en las mezclas analizadas asegura un comportamiento mecánico competente.

Aplicar el método de análisis numérico para estimar los factores de seguridad frente a fallas por corte en la estructura la estabilidad de la estructura.

A partir de la integración de métodos de MEF y MEL, se concluye que la estructura de codisposición presenta una convergencia entre los dos resultados de ambos métodos,

presentando diferencias mínimas de apenas 0.1 en los factores de seguridad, obteniéndose en la condición estática valores de 1.5 (MEF) y 1.6 (MEL), los cuales superan el requerimiento de 1.5. Asimismo, bajo condiciones pseudoestáticas con una aceleración de 0.125g, los factores de seguridad de 1.156 (MEF) y 1.2 (MEL) cumplen con la normativa nacional y los estándares internacionales del CDA, garantizando un modo de falla circular estable. Estos resultados confirman que el diseño propuesto es técnicamente viable y seguro para el confinamiento de relaves y desmonte.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un programa de control de calidad en campo que verifique de forma permanente la humedad óptima y la densidad seca durante la colocación de las mezclas, asegurando que se alcance al menos el 95% de la Máxima Densidad Seca del Proctor Modificado. Dado que la manejabilidad depende de mantener el Índice de Plasticidad entre 8% y 10%, es imperativo supervisar la dosificación exacta de desmonte y relave en las mezclas para evitar variaciones que puedan comprometer la estabilidad volumétrica y la facilidad de compactación del terraplén.

Es recomendable realizar ensayos de control de corte directo o triaxial periódicos durante la fase operativa para validar que la interacción mecánica entre el desmonte y el relave se mantenga dentro de los rangos de ángulo de fricción (hasta 44.5°) y cohesión (hasta 29.0 kPa) obtenidos en el laboratorio. Se debe priorizar la colocación del material de desmonte con mayor competencia mecánica en las zonas del dique o pie de talud, utilizando la cohesión aportada por la matriz de finos del relave como factor de sello para minimizar la permeabilidad sin sacrificar la resistencia estructural de la infraestructura.

Se recomienda establecer un sistema de monitoreo geotécnico basado en la instrumentación para contrastar los resultados de los modelos MEF y MEL con el comportamiento real de la estructura. Debido a que el factor de seguridad pseudoestático se encuentra próximo a los límites permitidos ante sismos de diseño según la norma E 030, es crucial garantizar un sistema de drenaje eficiente que prevenga el aumento de la presión de poros, asegurando así que las condiciones de falla circular estable proyectadas se mantengan vigentes durante toda la vida útil del depósito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, R. (2017). *Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N° 5 de la concesión de beneficio Belén de Minera Titán del Perú SRL* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2538>
- Alva, J. (2020). *Dinámica de Suelos*. EDUNI. <https://www.jorgealvahurtado.com/files/LIBRO%20DIN%C3%81MICA%20DE%20SUELOS%20ALVA%20VERSI%C3%93N%20IMPRESA%202020.pdf>
- Apaza, L. (2016). Ética y epistemología en la investigación científica. tendencias y perspectivas. *Quipukamayoc*, 24 (46). <https://doi.org/10.15381/quipu.v24i46.13208>
- Ballesta, R. (2025). *Introducción a la contaminación de suelos* (2ª ed.). Mundi Prensa
- Cacciuttolo, C., & Cano, D. (2022). Environmental impact assessment of mine tailings spill considering metallurgical processes of gold and copper mining: case studies in the Andean countries of Chile and Peru. *Water*, 14(19), 3057. <https://doi.org/10.3390/w14193057>
- Cacciuttolo, C., & Marinovic, A. (2022). Sustainable management of thickened tailings in Chile and Peru: a review of practical experience and socio-environmental acceptance. *Sustainability*, 14(17), 10901. <https://doi.org/10.3390/su141710901>
- Cacciuttolo, C., & Pérez, G. (2022). Practical experience of filtered tailings technology in Chile and Peru: An environmentally friendly solution. *Minerals*, 12(7), 889. <https://doi.org/10.3390/min12070889>
- Castro, L. (2022). *Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop en depósitos de desmonte Minero Excelsior, Cerro de Pasco – 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. http://45.177.23.200/bitstream/undac/3280/1/T026_70568092_T.pdf

- Chávez, M. (2022) Análisis dinámico de estabilidad de un depósito de relaves [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/c12ab056-6f77-455d-a17e-02adba9e6590>
- Charles, C (2023). *Fundamentos de Suelos y Rocas*. UANL Ediciones
- Golder Associates Perú S.A. (2009): Ingeniería de detalle para el recrecimiento del depósito de relaves Animón. Informe Versión 4.
- Popescu, F., Radu, S., Andras, A., Brinas, I., Marita, M., Radu, M., & Brinas, C. (2023). Stability assessment of the dam of a tailings pond using computer modeling—case study: Coroiști, Romania. *Applied Sciences*, 14(1), 268. <https://doi.org/10.3390/app14010268>
- Hernández (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Mc Graw Hill.
- Hernández, R., Fernandez, C.&Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). Mc Graw Hill.
- Hidroandes Consultores S.A.C. (agosto, 2019): Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico para el nuevo depósito de desmontes de esperanza 1 - Unidad Animón
- Huang et al. (2022). *Slope Stochastic Dynamics*. Springer.
- Macedo, J., Torres, P., Vergaray, L., Paihua, S., & Arnold, C. (2022). Dynamic effective stress analysis of a centreline tailings dam under subduction earthquakes. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 175(2), 224-246. <https://doi.org/10.1680/jgeen.21.00017a>
- Mesa, M., Álvarez, J., & Chávez, J. (2020). Evaluación del factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros altos ante carga sísmica. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 103, 1–17. <https://doi.org/10.18867/ris.103.489>
- Naghi, M. (2000). Metodología de la investigación (2ª ed.). Limusa.

- Nguyen, N., & Pabst, T. (2024). Acceleration of consolidation of tailings in a pit using waste rocks co-disposal. *Geotechnical and Geological Engineering*, 42(3), 1593–1609. <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02633-z>
- Nguyen, N., & Pabst, T. (2023). Consolidation behavior of various types of slurry tailings co-disposed with waste rock inclusions: a numerical study. *Environmental Earth Sciences*, 82(65), 1593–1609. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10750-4>
- Organización para la cooperación y el Desarrollo Económico (2024) Manual sobre debida diligencia ambiental en las cadenas de suministro de minerales. OCDE
- Reyes, R. (2021). Comportamiento sísmico geotécnico de estabilidad bidimensional de los depósitos de relave en abandono en Ticapampa-Río Santa.
- Ríos, G & Villena G. (2024). *Análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite y propuesta de modificaciones para la optimización del comportamiento estático y dinámico de la Presa de Relaves La Esperanza en Vitoc, Junín* [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/entities/publication/dd761341-5dde-5d05-81b0-599dcfc44ebc>
- Román, B., & Meléndez, S. (2021). Geotechnical Investigation on the Flow Failure Susceptibility of Bauxite Tailings. *Tailings*. 7th International Conference on Tailings Management. https://www.researchgate.net/publication/356632775_Geotechnical_Investigation_on_the_Flow_Failure_Susceptibility_of_Bauxite_Tailings
- Sivakugan, N. (2021). Soil Mechanics and Foundation Engineering: Fundamentals and Applications. McGraw Hill.
- Smith, R., et al. (2020). *Co-disposal of Tailings and Waste Rock for Improved Stability*. Mining

Science and Technology.

Villalobos, F. (2023). Ensayos geotécnicos in situ en profundidad. Ediciones UCSC

Wang, P., Li, H., Liu, M., Du, Qunle. (2026). Slope Stability Analysis Using Continuously Evolving Equivalent Strength for Nonlinear Failure Criteria. Computers and Geotechnics. 198, 108299. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2026.108299>

Yang, J., Dong, M., Zhang, S., Bian, W., Song, H. (2025). Analyzing the stability of surface mine waste dump based on particle size scale distribution. Journal of Mountain Science. 22, 3038-3052. <https://doi.org/10.1007/s11629-024-9219-2>

Anexo 1 Instrumento de recolección de datos

Zona	Sondaje	Muestra	Granulometría			Límites Atterberg			SUCS	Material
			G(%)	A(%)	F(%)	LL(%)	LP(%)	IP(%)		

Prueba N°	1	2	3	4	5	6

[illegible]

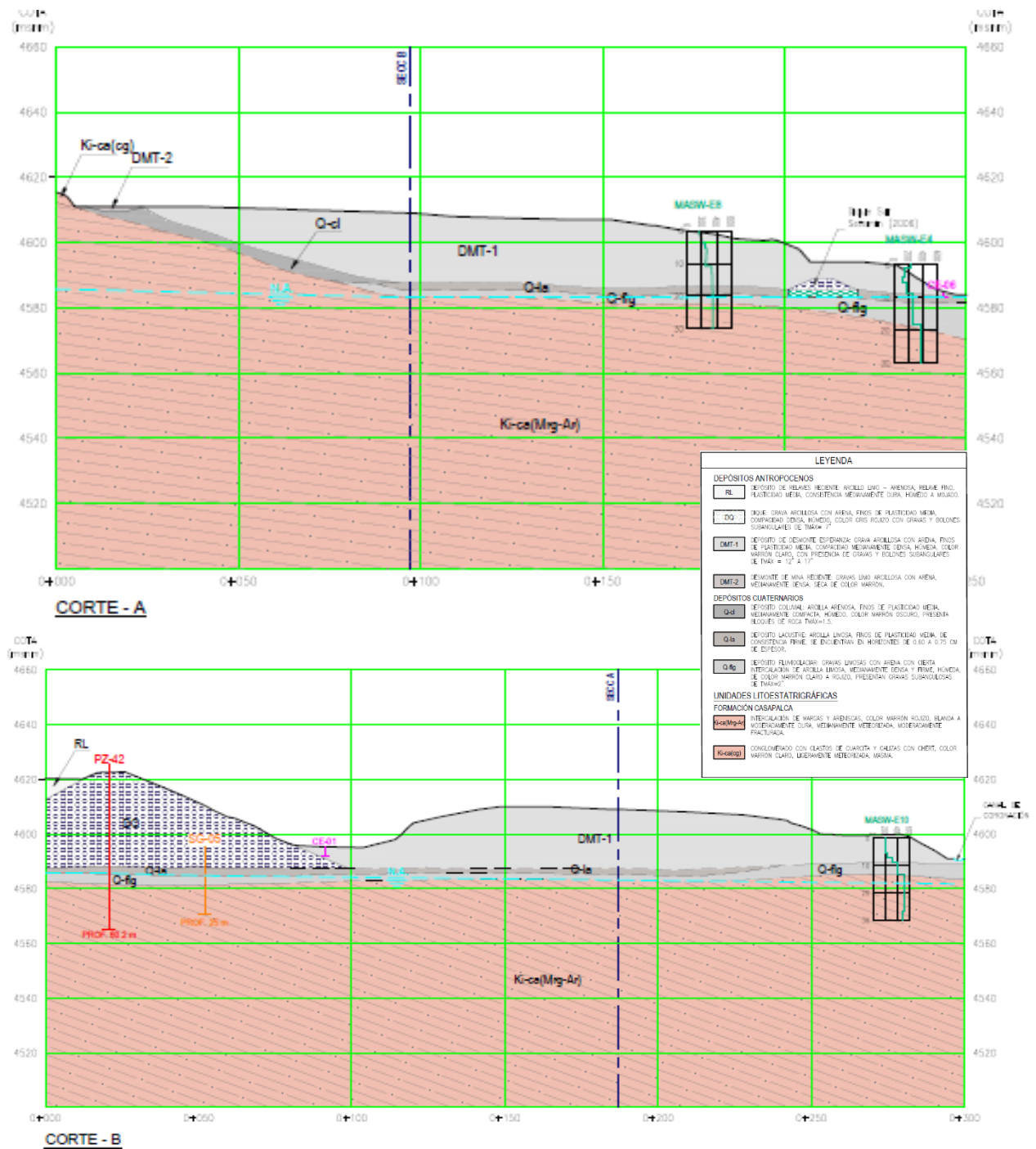
Anexo 2 Matriz de consistencia

Planteamiento del Problema	Hipótesis	Objetivo(s)	Variable(s)	Dimensiones	Indicadores
Problema General: ¿Cuál es el comportamiento geotécnico y la estabilidad de los terraplenes en la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros en una unidad minera en Huayllay- Cerro de Pasco?	Hipótesis General: El comportamiento geotécnico y la estabilidad del terraplén se encuentran determinados significativamente por las propiedades de resistencia y las condiciones de confinamiento de la codisposición de relave y desmonte minero Esperanza, Huayllay - Pasco..	Objetivo General: Evaluar el comportamiento geotécnico y la estabilidad de los terraplenes en la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros en una unidad minera en Huayllay- Cerro de Pasco.	Variable Independiente: Propiedades geomecánicas de los materiales utilizados en la codisposición. Variable Dependiente: Estabilidad de los terraplenes.	Propiedades geomecánicas -	Indicadores geotécnicos: Indicadores geotécnicos: - Índice de plasticidad - Límites de Atterberg - Ángulo de fricción interna - Cohesión - Factor de seguridad
Problema Específico1: ¿Cuáles son las propiedades geomecánicas de los materiales utilizados en la codisposición?	Hipótesis Específica 1: La caracterización geotécnica de los materiales de la codisposición permite definir los parámetros de resistencia al corte y permeabilidad requeridos para asegurar el soporte estructural del depósito.	Objetivo Específico1: Caracterizar geotécnicamente los materiales utilizados en la codisposición de relaves filtrados y desmontes mineros.	Dimensiones: Propiedades físicas y mecánicas del material codispuesto	Parámetros de caracterización: Granulometría - Densidad seca y humedad óptima - Resistencia a la compresión	
Problema Específico2: ¿Cómo influye la granulometría y compactación de los relaves y desmontes en la estabilidad de los terraplenes?	Hipótesis Específica 2: La distribución granulométrica y el grado de compactación de la mezcla de codisposición influyen directamente en la reducción del potencial de inestabilidad del terraplén.	Objetivo Específico2: Analizar el efecto de la granulometría y compactación en la estabilidad de los terraplenes en la codisposición.	Dimensiones: Compactación y cohesión - Influencia de la permeabilidad en la estabilidad	Indicadores de estabilidad: Ensayos de compactación (Proctor modificado) - Ensayos de corte directo y triaxial - Variación del factor de seguridad en función de la granulometría	

Problema Específico3: ¿Qué método de análisis de estabilidad es más adecuado para evaluar la seguridad de la estructura?	Hipótesis Específica 3: La aplicación del método de análisis numérico proporciona una estimación precisa y confiable de los factores de seguridad frente a fallas por corte en la estructura.	Objetivo Específico3: Aplicar el método de análisis numérico para determinar la estabilidad de la estructura de los terraplenes.	Dimensiones: Métodos de evaluación de estabilidad - Comparación entre modelos empíricos y numéricos	Parámetros de validación: Cálculo del factor de seguridad con PLAXIS y GeoStudio - Comparación con análisis empírico (Bishop, Janbu)	
--	---	--	--	---	--

[illegible]

Anexo 4 Plano de sección



										UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION										INGENIERIA										INGENIERIA GEOLOGICA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FECHA <table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></</td></tr></table>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	</
			</																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

Anexo 5 Ensayos complementarios

Ensayos de consolidación

Zona	Calicata / sondaje	Muestra	Prof. (m)	SUCS	Propiedades de remoldeo		P _c (kPa)	Parámetros Consolidación			
					V _d (gr/cm ³)	ω (%)		C _c	C _s	e ₀	e _{min}
Esperanza/ Cimentación	CE-08	M-1	0.20- 1.20	CL	1.40	18.0	93.2	0.334	0.060	0.90	0.43
Desmonte	DM-01	M-1	-	GC	1.97	6.1	-	0.110	0.010	0.379	0.208
Mezcla (3R:1P)	MR-02	M-1	-	CL	2.14	15.6	-	0.050	0.020	0.376	0.206
Relave fino	RF-01	M-1	-	CL	1.46	16.0	-	0.210	0.020	1.051	0.434
Relave fino	RF-01	M-2	-	CL-ML	1.65	16.0	-	0.080	0.010	0.746	0.536
Relave fino	RF-01	M-3	-	CL-ML	1.75	16.0	-	0.130	0.020	0.612	0.398

Ensayo de permeabilidad a carga constante

Zona	Calicata	Prof. (m)	SUCS	Tipo de ensayo	Permeabilidad (cm/s)
Esperanza/ Cimentación	CE-07	0.30 - 1.00	GM	Pared Flexible	8.1E-5
Desmonte	DM-01	-	GC	Pared flexible	6.8E-7
Mezcla (3R:1P)	MR-02	-	CL	Pared Flexible	1.9E-7
Relave fino	RF-01	-	CL	Pared flexible	2.5E-7
Relave fino	RF-01	-	CL-ML	Pared Flexible	5.7E-8
Relave fino	RF-01	-	CL-ML	Pared flexible	4.3E-8

Gravedad específica

Zona	Calicata / sondaje	Muestra	Prof. (m)	SUCS	G _s
Esperanza/ Dique	CE-01/ CE-02	M-1	0.00-3.50	GC	2.78
Esperanza/ Cimentación	CE-08	M-1	0.20-1.20	CL	2.53
Desmonte	DM-01	M-1	-	GC	2.77
Mezcla (2R:1P)	MR-01	M-1	-	GC	2.89
Mezcla (3R:1P)	MR-02	M-1	-	CL	2.90
Mezcla (4R:1P)	MR-03	M-1	-	CL	2.91
Relave fino	RF-01	M-1	-	CL	2.99

Anexo 6 Evidencia Fotográfica



Foto N°01

: Calicata CE-01

En la imagen de la izquierda se visualiza los estratos presentes en la calicata CE-01 (prof. 3.50m) y a la derecha el material extraído de esta.



Foto N°02: Ensayos de densidad con cono de arena en la calicata CE-01

En la imagen izquierda se observa la densidad D-1 (prof. 1.00 m) y a la derecha la densidad D-2 (prof. 1.70 m)



Foto N°03: Calicata CE-02

En la imagen de la izquierda se visualiza los estratos presentes en la calicata CE-02 (prof. 3.50m) y a la derecha el material extraído de esta.



Foto N°04: Ensayos de densidad con cono de arena en la calicata CE-02

En la imagen izquierda se observa la densidad D-1 (prof. 0.80 m) y a la derecha la densidad D-2 (prof. 1.70 m)



Foto N°05: Calicata CE-03

En la imagen se visualiza la ubicación de la calicata CE-03 (prof. 3.00 m), y el material extraído de la calicata.



Foto N°06: Calicata CE-03

En la imagen se visualiza el interior de la calicata CE-03. Con presencia de nivel freático (prof. 1.10m)



Foto N°07: Calicata CE-04

En la imagen se visualiza la ubicación de la calicata CE-04 (prof. 3.50 m), y a la derecha el material extraído de esta.



Foto N°08: Calicata CE-04

En la imagen se visualiza los estratos presentes en la calicata CE-04.



Foto N°09: Calicata CE-05

En la imagen de la izquierda se visualiza los estratos presentes en la calicata CE-05 (prof. 4.10m) y a la derecha el material extraído de esta.



Foto N°10: Ensayos de densidad con cono de arena en la calicata CE-05

En la imagen se observa la densidad D-1 (prof. 2.00 m)



Foto N°11: Calicata CE-06

En la imagen de la izquierda se visualiza el interior de la calicata CE-06 (prof. 1.40m) con presencia de nivel freático (prof. 1.20m) y a la derecha una vista panorámica con el material extraído de la calicata.



Foto N°12: Ensayos de densidad con cono de arena en la calicata CE-06

En las imágenes se observa la densidad D-1 (prof. 0.80 m)



Foto N°13: Calicata CE-07

En la imagen de la izquierda se visualiza los estratos presentes en la calicata CE-07 (prof. 1.00m) con presencia de nivel freático (prof. 0.80m) y a la derecha una panorámica de la ubicación de la calicata.



Foto N°14: Ensayos de densidad con cono de arena en la calicata CE-07 En la imagen se observa la densidad D-1 (prof. 0.40 m)



Foto N°15: Calicata CE-08

En la imagen de la izquierda se visualiza el interior de la calicata CE-08 (prof. 1.20m) con presencia de nivel freático (prof. 1.20m) y a la derecha el material extraído de esta.

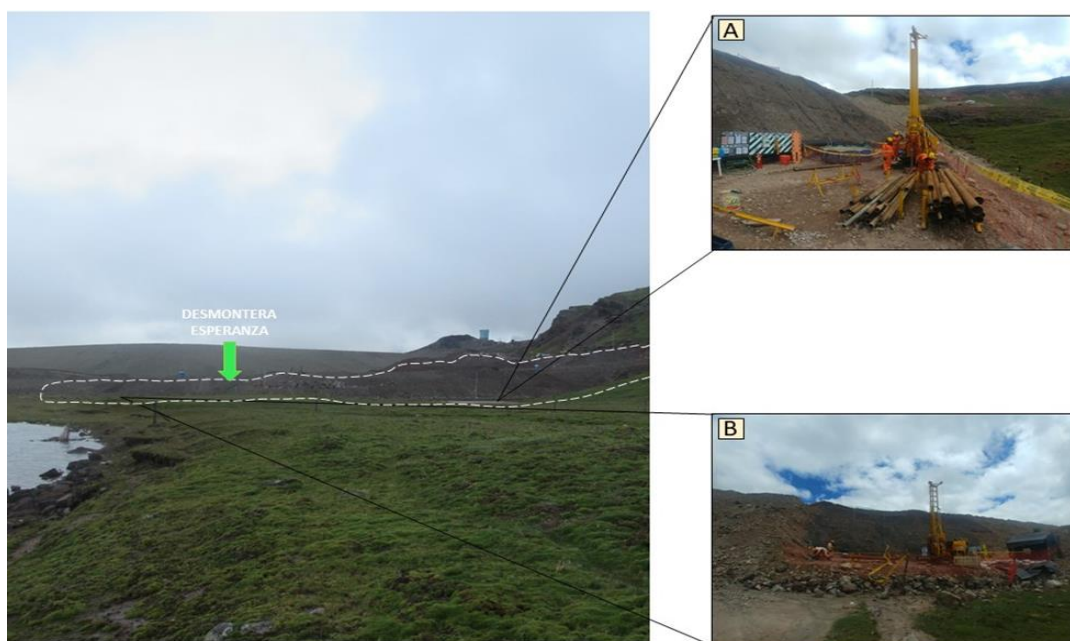


Foto N°16: Ensayos de densidad con cono de arena en la calicata CE-08 En la imagen se observa la densidad D-1 (prof. 0.50 m)

Anexo 7 Descripción del desmonte Esperanza



Fotografía N° 1 Vista panorámica del depósito de desmontes Esperanza, ubicado al lado este de la Relavera Animon y aguas arriba de la laguna Yanamachay, al lado este del depósito se observan bofedales y afloramientos de roca marga roja.



Fotografía N° 2 Vista panorámica del depósito de desmonte Esperanza, en la fotografía **2A** se observa la ubicación de la plataforma de perforación SH-14, estando al lado sur del depósito esperanza y en la fotografía **2B**, se observa plataforma de perforación SH-13 (SRK, 2019) ubicado en el lado este del depósito de desmontes esperanza.

Anexo 8 Evidencia de Ensayos

Ausenco

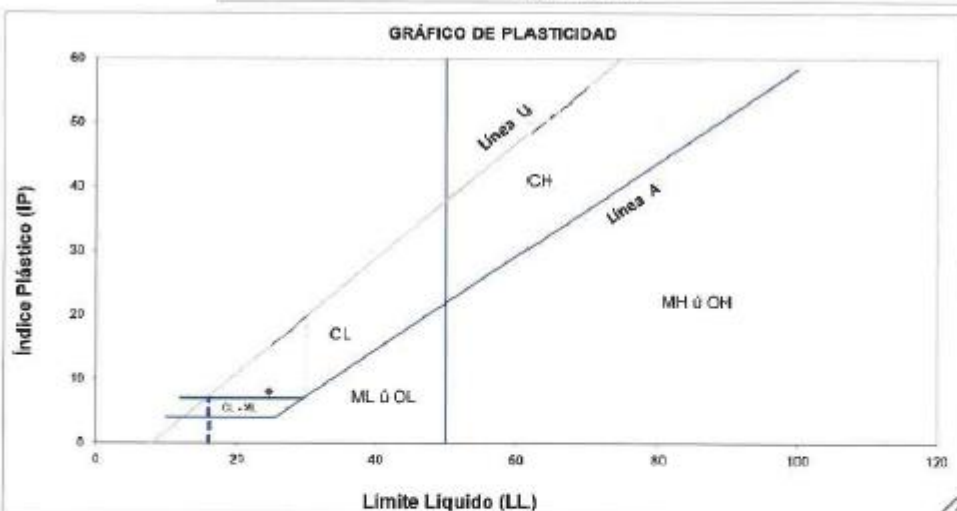
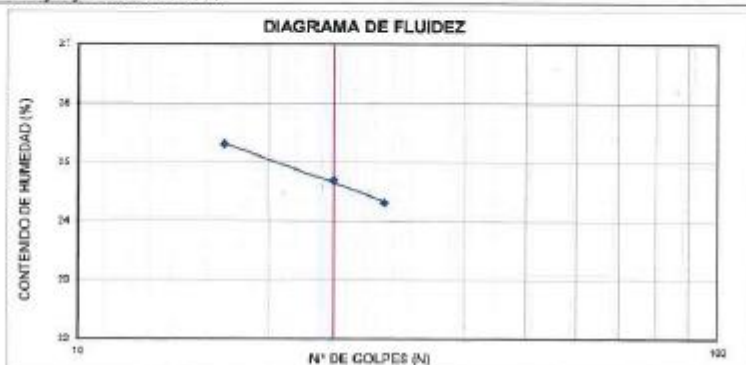
LABORATORIO GEOTÉCNICO

LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

Nombre del Proyecto:	Ingeniería de los depósitos de relaves filtrados Esperanza y Quimacocha		
Cliente:	SRK Consulting		
N° de muestra / Prof. (m):	DM-01 M-1	N° Informe Lab :	AP-067-19E
Descripción / Zona:	Desmonte de Mina	N° de Proyecto:	100727-01
Solicitado por:	Renzo Cornejo	Fecha:	26-may-23
Ubicación:	Huayllay - Pasco - Pasco		

Límites de Atterberg

LL (%): 26
LP (%): 17
IP (%): 8



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

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

Realizado por:
YRB/IOV

Ingresado por:
HEV

Revisado por:
JSG

N° Informe Lab :
AP-067-19E



Nombre del Proyecto:	Ingeniería de los depósitos de relaves filtrados Esperanza y Quimacocha		
Cliente:	SRK Consulting		
N° de muestra / Prof. (m):	DM-01 M-1	N° Informe Lab :	AP-067-19E
Descripción / Zona:	Desmonte de Mina	N° de Proyecto:	100727-01
Solicitado por:	Renzo Cornejo	Fecha:	28-may-23
Ubicación:	Huayllay - Pasco - Pasco		

Partículas >3" (%):

--

Grava (%):

59,7

Arena (%):

27,7

Limos y Arcillas (%):

12,6

Límites de Atterberg:

LL (%): 25

LP (%): 17

IP (%): 8

Lc (%): 15

Humedad (%):

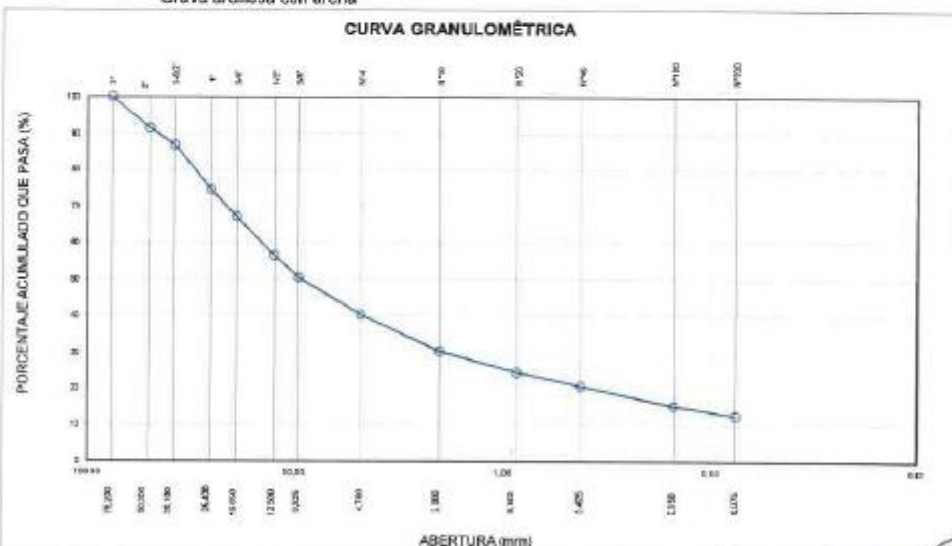
1,1

Clasificación SUCS:

GC

Grava arcillosa con arena

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,800	91,4
1 1/2"	38,100	86,8
1"	25,400	74,6
3/4"	19,050	67,1
1/2"	12,500	56,5
3/8"	9,525	50,5
N°4	4,750	40,3
N°10	2,000	30,3
N°20	0,850	24,5
N°40	0,425	20,7
N°100	0,150	15,2
N°200	0,075	12,6



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

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja se pueden ser utilizados sin la autorización de Ausenco Perú S.A.C. Con la excepción de los datos y resultados presentados en esta página, el cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Ausenco Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del cliente y otros partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por:

YRB

Ingresado por:

HEV

Revisado por:

JSG

N° Informe Lab :

AP-067-19E



Anexo 9 Columnas estratigráficas de las calicatas

		PERFIL ESTRATIGRAFICO CE- 01		CALICATA: CE-01			
CLIENTE: COMPAÑIA MINERA CHUNGAR S.A.C				UBICACION: Huayllay - Pasco			
PROYECTO: Proyecto de codisposición de relave y desmonte en Esperanza				N°: 18-R-007-03			
TIPO DE SONDAGE: CALICATA		COTA TERRENO: 4,595.20 mm	PROF. TOTAL: 3.50 m.	FECHA: Marzo 2023			
REGISTRADO: A.A.		REVISADO: M.V.	COORDENADAS: 345,329 E 8°779,647 N				
PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO GRÁFICO	TIPO DE EXCAVACIÓN: Mecanizada	TIPO DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	COMENTARIOS	
			CONDICIÓN SUPERFICIAL: Plana				
			LEYENDA: <i>Muestra Alterada: A</i> <i>S/M: Sin muestra</i> <i>Muestra Inalterada: I</i> <i>Tmáx: Tamaño máximo</i>				
			DESCRIPCIÓN				
0.00			Grava arcillosa con arena, finos de plasticidad media, compactidad medianamente densa, húmeda, color marrón claro, con gravas y bolones subangulosos de Tmáx=7". Grava=82,7%; Arena=24,1%; Finos=13,2% LI=25, LP=18, IP=7 w=1,6%				
0.50							
1.00					A	D-1	Densidad In-situ ($\gamma_d=1,75 \text{ gr/cm}^3$)
1.50	GC				A	D-2	Densidad In-situ ($\gamma_d=2,03 \text{ gr/cm}^3$)
2.00				A	M-1		
2.50							
3.00							
3.50							

		PERFIL ESTRATIGRAFICO CE-02		CALICATA: CE-02		
CLIENTE: COMPAÑIA MINERA CHUNGAR S.A.C			UBICACION: Huayllay - Pasco			
PROYECTO: Proyecto de codisposición de relave y desmonte en Esperanza			Nº: 18-R-007-03			
TIPO DE SONDAJE: CALICATA		COTA TERRENO: 4,593.35 mm	PROF. TOTAL: 3.50 m.	FECHA: Marzo 2023		
REGISTRADO: A.A.		REVISADO: M.V.	COORDENADAS: 345,333 E 8°779,544 N			
PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO GRÁFICO	TIPO DE EXCAVACIÓN: Mecanizada	TIPO DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	COMENTARIOS
			CONDICIÓN SUPERFICIAL: Plana			
			LEYENDA: Muestra Alterada: A S/M: Sin muestra Muestra Inalterada: I Tmáx: Tamaño máximo			
			DESCRIPCIÓN			
0.00			Grava arcillosa con arena, finos de plasticidad media, compacidad medianamente densa, húmeda, color pardo muy pálido, con gravas y bolones subangulares de Tmáx=12". Grava=82,7%, Arena=24,1%, Finos=13,2% LL=25, LP=18, IP=7 w=1.6%	A	D-1	Densidad In-situ (γd=1.78 gr/cm³)
0.50						
1.00						
1.50	GC				A	D-2
2.00						
2.50						
3.00				A	M-1	
3.50						

			PERFIL ESTRATIGRAFICO CE-03			CALICATA: CE-03		
CLIENTE: COMPAÑIA MINERA CHUNGAR S.A.C					UBICACION: Huayllay • Pasco			
PROYECTO: Proyecto de codisposición de relave y desmonte en Esperanza					N°: 18-R-007-03			
TIPO DE SONDAJE: CALICATA		COTA TERRENO: 4,584.26 mmm		PROF. TOTAL: 3.00 m.		FECHA: Marzo 2023		
REGISTRADO: A.A.		REVISADO: M.V.		COORDENADAS: 345,455 E 8'779,461 N				
PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO GRÁFICO	TIPO DE EXCAVACIÓN: Mecanizada			TIPO DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	COMENTARIOS
			CONDICIÓN SUPERFICIAL: Plana					
			LEYENDA:					
			Muestra Alterada: A S/M: Sin muestra Muestra Inalterada: I Tmáx: Tamaño máximo					
			DESCRIPCIÓN					
0.00			Grava arcillosa, finos de plasticidad media, compactidad suelta muy húmeda, color marrón rojizo claro, con gravas y bolones subangulosos de Tmáx=23". Grava=83,3%; Arena=21,1%; Finos=15,6% LL=28, LP=20, IP=8 w=3,2%			A	M-1	
0.50								
1.00								
1.50	GC							
2.00								
2.50			Presencia de agua de infiltración en este nivel. 					
3.00								
3.50								

		PERFIL ESTRATIGRAFICO CE-05		CALICATA: CE-05			
CLIENTE: COMPANIA MINERA CHUNGAR S.A.C			UBICACION: Huayllay - Pasco				
PROYECTO: Proyecto de codisposición de relave y desmonte en Esperanza			N°: 18-R-007-03				
TIPO DE SONDAJE: CALICATA		COTA TERRENO: 4,691.58 mmm	PROF. TOTAL: 4.10 m.	FECHA: Marzo 2023			
REGISTRADO: A.A.		REVISADO: M.V.	COORDENADAS: 345,472 E 8°779,578 N				
PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO GRÁFICO	TIPO DE EXCAVACIÓN: Mecanizada	TIPO DE MUESTRA	COMENTARIOS		
			CONDICIÓN SUPERFICIAL: Plana				
			LEYENDA: Muestra Alterada: A S/M: Sin muestra Muestra Inalterada: I Tmáx: Tamaño máximo				
			DESCRIPCIÓN				
0.00	GC		Grava arcillosa con arena, finos de plasticidad media, compactidad medianamente densa, húmedo, color pardo claro, con gravas y bolones subangulares de Tmáx=8". Grava=63,3%, Arena=21,1%, Finos=15,6% LI=28, LP=20, IP=8 w=3,2%	A	M-1		
0.50			A			D-1	Densidad In-situ (γd=1.75 gr/cm³)
1.00							
1.50							
2.00							
2.50							
3.00							
3.50							

		PERFIL ESTRATIGRAFICO CE-05			CALICATA: CE-05		
CLIENTE: COMPAÑIA MINERA CHUNGAR S.A.C				UBICACION: Huayllay - Pasco			
PROYECTO: Proyecto de codisposición de relave y desmonte en Esperanza				Nº: 18-R-007-03			
TIPO DE SONDAJE: CALICATA		COTA TERRENO: 4,691.58 mm		PROF. TOTAL: 4.10 m.		FECHA: Marzo 2023	
REGISTRADO: A.A.		REVISADO: M.V.		COORDENADAS: 345,472 E 8°779,578 N			
PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO GRÁFICO	TIPO DE EXCAVACIÓN: Mecanizada		TIPO DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	COMENTARIOS
			CONDICIÓN SUPERFICIAL: Plana				
			LEYENDA: Muestra Alterada: A S/M: Sin muestra Muestra Inalterada: I Tmáx: Tamaño máximo				
			DESCRIPCIÓN				
3.00	GC		Grava arcillosa con arena, finos de plasticidad media, compactidad medianamente densa, húmedo, color pardo claro, con gravas y bolones subangulares de Tmáx=8". Grava=83,3%; Arena=21,1%; Finos=15,6% LL=28, LP=20, IP=8 w=3,2%		A	M-1	
4.00							
4.50							
5.00							
5.50							
6.00							
6.50							

			PERFIL ESTRATIGRAFICO CE-06		CALICATA: CE-06	
CLIENTE: COMPAÑIA MINERA CHUNGAR S.A.C				UBICACION: Huayllay - Pasco		
PROYECTO: Proyecto de codisposición de relave y desmonte en Esperanza				Nº: 18-R-007-03		
TIPO DE SONDAGE: CALICATA		COTA TERRENO: 4,594.68 mm		PROF. TOTAL: 1.40 m.		FECHA: Marzo 2023
REGISTRADO: A.A.		REVISADO: M.V.		COORDENADAS: 345,403 E 8°779,470 N		
PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO GRÁFICO	TIPO DE EXCAVACIÓN: Manual		TIPO DE MUESTRA	COMENTARIOS
			CONDICIÓN SUPERFICIAL: Plana			
			LEYENDA: Muestra Alterada: A S/M: Sin muestra Muestra Inalterada: I Tmáx: Tamaño máximo			
			DESCRIPCIÓN			
0.00	OL		Limo orgánico, finos de plasticidad baja, consistencia medianamente dura, húmedo, color pardo muy pálido, con presencia de raíces.		S/M	
0.30						
0.50						
	GM		Grava limosa, finos de plasticidad media, compacidad medianamente densa, muy húmeda, color rojo pálido, con gravas y bolones subangulosos de Tmáx=5". Grava=44.1%; Arena=23.6%; Finos=32.3% LL=31, LP=23, IP=8 w=3.7%		A A	D-I M-I Densidad In-situ (γd=1.58 gr/cm³)
1.00						
1.20			Presencia de agua de infiltración en este nivel.			
1.40						
1.50						
2.00						
2.50						
3.00						
3.50						

		PERFIL ESTRATIGRAFICO CE-07		CALICATA: CE-07	
CLIENTE: COMPANIA MINERA CHUNGAR S.A.C			UBICACION: Huayllay - Pasco		
PROYECTO: Proyecto de codisposición de relave y desmonte en Esperanza			N°: 18-R-007-03		
TIPO DE SONDAGE: CALICATA		COTA TERRENO: 4,584.90 mm	PROF. TOTAL: 1.00 m.	FECHA: Marzo 2023	
REGISTRADO: A.A.		REVISADO: M.V.	COORDENADAS: 345,529 E 8°779,455 N		
PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO GRÁFICO	TIPO DE EXCAVACIÓN: Manual	TIPO DE MUESTRA	COMENTARIOS
			CONDICIÓN SUPERFICIAL: Plana		
			LEYENDA: Muestra Alterada: A Muestra Inalterada: I		
			S/M: Sin muestra Tmáx: Tamaño máximo		
			DESCRIPCIÓN		
0.00	OL		Limo orgánico, finos de plasticidad baja a media, consistencia medianamente dura, húmedo, color rojizo oscuro, con presencia de raíces.		S/M
0.30					
0.50	SC		Arena arcillosa, finos de plasticidad baja, compactidad medianamente densa, muy húmedo, color rojizo oscuro, con gravas aisladas subangulosas de Tmáx=3".	A	D-I
0.80			Presencia de agua de infiltración en este nivel.	A	M-I
1.00					
1.50					
2.00					
2.50					
3.00					
3.50					

		PERFIL ESTRATIGRAFICO CE-08		CALICATA: CE-08		
CLIENTE: COMPANIA MINERA CHUNGAR S.A.C			UBICACION: Huayllay - Pasco			
PROYECTO: Proyecto de codisposición de relave y desmonte en Esperanza			Nº: 18-R-007-03			
TIPO DE SONDAGE: CALICATA		COTA TERRENO: 4,585.20 mm	PROF. TOTAL: 1.20 m.	FECHA: Marzo 2023		
REGISTRADO: A.A.		REVISADO: M.V.	COORDENADAS: 345,534 E 8'779,568 N			
PROFUNDIDAD (m)	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO GRÁFICO	TIPO DE EXCAVACIÓN: Manual	TIPO DE MUESTRA	CODIGO DE MUESTRA	COMENTARIOS
			CONDICIÓN SUPERFICIAL: Plana			
			LEYENDA: Muestra Alterada: A S/M: Sin muestra Muestra Inalterada: I Tmáx: Tamaño máximo			
			DESCRIPCIÓN			
0.00	OL		Limo orgánico, finos de plasticidad baja, consistencia medianamente dura, húmedo, color rojizo oscuro, con presencia de raíces.		S/M	
0.20			Arcilla ligera arenosa, finos de plasticidad media, consistencia medianamente compacta, muy húmeda, color rojizo oscuro. Grave=0.0%; Arena=15.2%; Finos=84.8% LL=47, LP=27, IP=20 w=20.5%	A	D-1	Densidad In-situ (γd=0.90 gr/cm³)
0.50	CL			A	M-1	
1.00			Presencia de agua de infiltración en este nivel.			
1.20						
1.50						
2.00						
2.50						
3.00						
3.50						