

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN
LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA
PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN
LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI,
CUSCO – 2024**

PRESENTADO POR:

Br. RONALD CUTIPA APAZA

Br. WASHINGTON RUBEN PARQUE

CHOQUETOCRO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO**

ASESORA:

Dra. JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ

CUSCO-PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR
GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES
INTERNAS DE LA PRESA GOCHAGUOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN
NUMÉRICA EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI,
CUSCO - 2024

Presentado por: RONALD CUTIPA APAZA..... DNI N° 78377979.....;

presentado por: WASHINGTON RUBEN PARQUE CHOQUETOCRO DNI N°: 74149901.....

Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEÓLOGO.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 25 de JUNIO de 2026.....

Firma

Post firma JOSEFINA ESCALANTE GUTIERREZ

Nro. de DNI 23809533

ORCID del Asesor 0000-0001-9359-0481

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:602038309

Cutipa- Parque

Evaluación del Efecto de Incorporar Geosintéticos en la Estabilidad de Taludes y Filtraciones Internas de la Presa Qoc...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:602038309

Fecha de entrega

22 jun 2026, 8:06 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

22 jun 2026, 8:14 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis Cutipa.-Parque.pdf

Tamaño del archivo

70.1 MB

177 páginas

29.107 palabras

181.279 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 11 palabras)
- Fuentes de Internet
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mis padres Clemente y Tomasa, por su paciencia, sacrificio y esfuerzo para que pudiera terminar mi carrera profesional, incluso en los momentos más difíciles, cuando enfrenté caídas emocionales. También quiero dedicar este trabajo a todos aquellos que han creído en mí y en mis sueños, así como a los docentes que, con su guía y conocimiento, han sido fundamentales en este proceso de mi formación profesional.

Washington Rubén Parque Choquetocro

Dedico este trabajo de manera muy especial a mis queridos padres, Fernando y Flora, y a mis hermanos(as) Richard, Yesica, Darwin y Resaldo, quienes fueron mi mayor motivo para alcanzar mis objetivos. Agradezco profundamente su apoyo incondicional, su amor y constante aliento a lo largo de este camino. En los momentos más difíciles, siempre estuvieron presentes, brindándome su fuerza y confianza para seguir adelante.

Ronald Cutipa Apaza

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por haber sido el espacio donde adquirí los conocimientos y habilidades necesarios para mi desarrollo profesional. A todos mis docentes, quienes, con su dedicación, paciencia y enseñanza, me han inspirado a crecer cada día; les estaré eternamente agradecidos. A mi asesora, Dra. Josefina Escalante Gutiérrez, por su acompañamiento, sus valiosas correcciones y sugerencias, que han enriquecido significativamente esta investigación.

Washington Rubén Parque Choquetocro

Agradezco a Dios por brindarme el don de la vida y la fortaleza para continuar en cada etapa de mi formación profesional. A mis padres y hermanos, por sus sabios consejos, confianza y apoyo constante, incluso en los momentos más difíciles.

Extiendo mi agradecimiento a la empresa BEC INGENIEROS S.A.C. por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y permitirme llevar a cabo esta investigación. Asimismo, a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, mi alma máter, por acogerme desde mis inicios y formarme con excelencia. A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por compartir sus conocimientos, consejos y experiencias que marcaron profundamente mi desarrollo académico y profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra forma, influyeron y me apoyaron en esta ardua pero gratificante etapa de preparación profesional.

Ronald Cutipa Apaza

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS	11
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. Objetivo general y específicos	18
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	19
1.3.1. Conveniencia.....	19
1.3.2. Relevancia social.....	19
1.3.3. Implicaciones prácticas	20
1.3.4. Valor teórico	20
1.3.5. Utilidad metodológica.....	20
1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.5. HIPÓTESIS.....	22
1.6. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	25
2.1.1. Antecedentes internacionales	25
2.1.2. Antecedentes nacionales	26
2.1.3. Antecedentes locales.....	29
2.2. BASES TEÓRICAS.....	30
2.2.1. Geosintéticos.....	30
2.2.2. Tipos de geosintéticos.....	30
2.2.2.1. Geotextiles	30

Geotextiles tejidos.....	31
2.2.2.1.1. Funciones de geotextiles en presas de tierra	31
2.2.2.1.2. Propiedades físicas de los geotextiles	32
Gravedad específica	32
Masa por unidad de área	33
Espesor.....	33
2.2.2.1.3. Propiedades mecánicas de los geotextiles.....	33
Rigidez axial	33
Resistencia última a tracción.....	34
Coeficiente de interacción suelo–geotextil	35
2.2.2.2. Geomembranas.....	36
Geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE)	37
2.2.2.2.1. Funciones de las geomembranas en presas de tierra	38
2.2.2.2.2. Propiedades físicas de las geomembranas.....	39
Gravedad específica	39
Masa por unidad de área	39
2.2.2.2.3. Propiedades mecánicas de las geomembranas	40
Comportamiento a la tensión	40
Resistencia al punzonamiento	40
Interfase de corte.....	41
2.2.3. Presa de tierra.....	42
Tipos de presas de tierra.....	42
Presas de tierra homogénea.....	42
Presa de tierra heterogénea	43
2.2.4. Filtraciones en presas de tierra.....	44
2.2.4.1. Problemas relacionados con las filtraciones	44
2.2.4.1.1. Erosión interna	45
2.2.4.1.2. Tubificación	45
2.2.5. Análisis de filtraciones en presas de tierra.....	46
2.2.5.1. Principios del análisis de filtraciones.....	47
2.2.5.1.1. Ley de Darcy.....	47
2.2.5.1.2. Conductividad hidráulica	49
2.2.6. Métodos de análisis de filtración	52
2.2.6.1. Modelos numéricos	52
2.2.6.2. Ensayos de trazadores subterráneos.....	55

2.2.7.	Inestabilidad de taludes de presas	56
2.2.7.1.	Problemas relacionados con la inestabilidad de taludes.....	56
2.2.8.	Análisis de estabilidad de taludes de presas.....	58
2.2.9.	Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	60
2.2.9.1.	Método de elementos finitos	60
2.2.10.	Factor de seguridad (FS)	61
2.2.10.1.	Factor de seguridad estático	61
2.2.10.2.	Factor de seguridad pseudoestático.....	61
2.2.11.	Criterios del factor de seguridad	62
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	63
CAPITULO III: METODOLOGÍA		64
3.1.	MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	64
3.1.1.	Tipo de investigación.....	64
3.1.2.	Enfoque de investigación.....	64
3.1.3.	Método de investigación	64
3.1.4.	Alcance de la investigación.....	65
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	66
3.3.1.	Población.....	66
3.3.2.	Muestra	66
3.3.3.	Muestreo	66
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN	67
3.4.1.	Técnicas	67
3.4.1.1.	Observación estructurada.....	67
3.4.1.2.	Revisión documental.....	68
3.4.2.	Instrumentos.....	68
3.4.2.1.	Ficha de escenarios de análisis.....	68
3.4.2.2.	Ficha de registro de datos.....	69
3.4.3.	Recursos	69
3.5.	PROCESO DE TOMA DE DATOS	70
3.5.1.	Caracterización del objeto de estudio	70
3.5.1.1.	Ubicación de la presa Qochaqocha	71
3.5.1.1.1.	Ubicación política	71
3.5.1.1.2.	Ubicación geográfica	71
3.5.1.2.	Accesibilidad.....	73

3.5.1.3. Clima de la zona de emplazamiento.....	74
3.5.1.4. Evaluación geológica de la zona de emplazamiento de la presa.....	75
3.5.1.4.1. Unidades litoestratigráficas regionales	75
Paleozoico	75
Formación Ananea (SD-a): Siluro-Devónico.....	75
Grupo Cabanillas (D-c): Devónico	75
Cenozoico	76
Formación San Sebastián (Qp-ss): Pleistoceno.....	76
Depósitos Fluvioglaciario(Q-glfl).....	76
3.5.1.4.2. Unidades morfoestructurales regionales	76
Cordillera oriental	76
Falla Urcos	77
Falla Ccatca-Ocongate	77
3.5.1.4.3. Unidades litoestratigráficas locales.....	79
Formación Ccatca (Ds-cat)	79
Depósitos Coluviales (Qh-co).....	82
Depósitos Eluviales (Q-el).....	84
Depósitos de Bofedales (Qh-bo)	84
3.5.1.4.4. Estructuras locales.....	85
3.5.1.4.5. Análisis de la evaluación geológica de la zona de emplazamiento de la presa.....	89
3.5.1.5. Características de la presa Qochaqocha	90
3.5.1.6. Inspección del estado actual de la presa.....	92
3.5.1.6.1. Ensayo con trazadores ambientales.....	94
3.5.1.7. Evaluación geotécnica de la presa Qochaqocha.....	98
3.5.1.7.1. Exploraciones indirectas	98
Ensayos de Refracción Sísmica	99
Procedimiento en campo y toma de datos.....	99
Interpretación de datos de campo.....	101
Ensayo de Análisis de múltiples canales de Ondas Superficiales	105
Procedimiento en campo y toma de datos.....	105
Interpretación de datos de campo.....	107
Clasificación del tipo de suelo según el ensayo MASW2D.....	108
Clasificación del tipo de suelo según norma técnica E030-2019.....	109
Parámetros elásticos	112
Relación de Poisson (v).....	113

Módulo de Young (E)	113
Módulo de Corte (G).....	113
Módulo de Bulk (K).....	113
Densidad (ρ).....	113
Ensayo de Tomografía Eléctrica 2D	115
Procedimiento en campo y toma de datos.....	115
Interpretación de datos de campo.....	117
3.5.1.7.2. Análisis de exploraciones indirectas	123
3.5.1.7.3. Exploraciones directas	125
Ensayos geotécnicos in situ.....	125
Apertura de calicatas.....	125
Extracción de muestras representativas	128
Ensayo de infiltración	129
Ensayo de densidad de campo	132
Ensayos de laboratorio	133
3.5.2. Procedimiento de la medición de las variables	137
3.5.2.1. Procedimiento de la medición de la variable (Geosintéticos).....	137
3.5.2.1.1. Propiedades mecánica e hidráulicas de los geosintéticos.....	138
Geotextil de 270 g/m ²	138
Rigidez axial	139
Peso unitario.....	139
Geomembrana de HDPE de 1.5 mm.....	140
Peso unitario.....	141
Módulo de elasticidad	141
Coeficiente de Poisson	141
Coeficiente de permeabilidad.....	141
3.5.2.1.2. Secciones de análisis.....	142
3.5.2.2. Procedimiento de la medición de las variables (Estabilidad y Filtraciones).....	148
3.5.2.2.1. Parámetros de entrada al software Plaxis 2D	148
3.5.2.2.2. Alcances y condiciones de análisis	149
3.5.2.2.3. Procedimiento de análisis.....	149
Procedimiento de la simulación en el software Plaxis 2D	150
Escenario 01: Sección típica sin incorporación de geosintéticos	151
Escenario 02: Sección típica con incorporación de geosintéticos	153
Escenario 03: Sección crítica sin incorporación de geosintéticos	155

Escenario 04: Sección crítica con incorporación de geosintéticos.....	157
Ficha de registro de datos.....	159
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	160
4.1. PRESENTACION DE RESULTADOS	160
4.1.1. Resultados de OE-01.....	160
4.1.2. Resultados de OE-02.....	161
4.1.3. Resultados de OE-03.....	162
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	164
4.2.1. Hipótesis específica-01	164
4.2.2. Hipótesis específica-02	165
4.2.3. Hipótesis específica-03	166
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	167
4.3.1. Factor de seguridad estático	167
4.3.2. Factor de seguridad pseudoestático.....	168
4.3.3. Caudal de filtración.....	169
CONCLUSIONES	170
RECOMENDACIONES	172
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	174
ANEXOS	177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Geotextiles tejidos.	31
Figura 2. Funciones de geotextiles en presas de tierra.....	32
Figura 3. Dispositivo para el ensayo de corte directo.	36
Figura 4. Geomembrana HDPE.	37
Figura 5. Sistemas de revestimiento con geomembranas en presas de tierra.....	38
Figura 6. Dispositivo para el ensayo de corte directo.	41
Figura 7. Presa de tierra homogénea.	43
Figura 8. Presa de tierra heterogénea.	44
Figura 9. Erosión interna a través de los cimientos de una presa de tierra.	45
Figura 10. Red de flujo a través de una presa de tierra homogénea.....	46

Figura 11. Esquema de la ley de Darcy.	48
Figura 12. Esquema de cimentación heterogénea y anisotrópica.	50
Figura 13. Modelo de elementos finitos del terraplén.....	53
Figura 14. Tipos de fallas por inestabilidad de taludes en presas de terraplén.	57
Figura 15. Pendiente del terraplén y superficie de deslizamiento potencial.	59
Figura 16. Esquema de la caracterización de la presa Qochaqocha.....	70
Figura 17. Acceso a la presa Qochaqocha desde la Vía Interoceánica Sur.....	73
Figura 18. Diamictitas identificadas en la zona de estudio. según datos bibliográficos corresponden a la formación Ccatca (Devónico Superior).	80
Figura 19. Niveles de pizarras de la Formación Ccatca.	80
Figura 20. Cuarcitas de la Formación Ccatca.	81
Figura 21. Estratos de cuarcitas de la Formación Ccatca.....	81
Figura 22. Columna estratigráfica de las Formaciones Ananea y Ccatca levantada en el cerro Apachetapata.....	82
Figura 23. Depósitos coluviales de la zona de estudio.....	83
Figura 24. Depósitos coluviales que subyace las pizarras de la Formación Ccatca.....	83
Figura 25. Depósitos eluviales poco consolidadas.....	84
Figura 26. Depósitos bofedales producto de los manantes que lo alimentan la presa.	85
Figura 27. Falla local encontrada en la zona noroeste de la presa Qochaqocha.	86
Figura 28. Hundimiento localizado en la corona y el socavamiento el cuerpo de la presa Qochaqocha....	92
Figura 29. Situación actual de la condición de la presa Qochaqocha.	93
Figura 30. Materiales para el ensayo.	94
Figura 31. Procedimiento del ensayo.....	95
Figura 32. Punto 1 (227777E 8486199N) cerca de la presa.	96
Figura 33. Punto 2 (227921E 8486342N) con rastros dejados por el cloruro de sodio.	96
Figura 34. Punto 3 (227952E 8486380N) con mayor descarga.	97
Figura 35. Mapa de puntos del ensayo.....	97
Figura 36. Equipo empleado para el ensayo de Refracción Sísmica.	99
Figura 37. Ubicación de los ensayos de refracción sísmica y MASW.	101
Figura 38. Línea de Refracción Sísmica LS-01.	101
Figura 39. Línea de Refracción Sísmica LS-02.	102
Figura 40. Línea de Refracción Sísmica LS-03.	103
Figura 41. Línea de Refracción Sísmica LS-04.	104
Figura 42. Línea de MASW2D-01.....	107
Figura 43. Zonas sísmicas.....	109

Figura 44. Mapa de distribución de isoaceleraciones.	111
Figura 45. Correlación de las Velocidades de Ondas P y S (LS-03 / MASW2D-01).	114
Figura 46. Resistivímetro Syscal pro de la marca Iris Instruments.	115
Figura 47. Ubicación de los ensayos de Tomografía Eléctrica.	117
Figura 48. Línea de Tomografía Eléctrica TE-01.	117
Figura 49. Línea de Tomografía Eléctrica TE-02.	119
Figura 50. Línea de Tomografía Eléctrica TE-03.	120
Figura 51. Línea de Tomografía Eléctrica TE-04.	122
Figura 52: Interpretación de los perfiles LS-03, MASW2D-01 y TE-01.	124
Figura 53. Ubicación de calicatas.	126
Figura 54. Apertura de calicata C-01 en el núcleo de la presa.	126
Figura 55. Apertura de calicata C-03 en el espaldón de la presa.	127
Figura 56. Apertura de calicata C-04 en el cimientto de la presa.	127
Figura 57. Apertura de calicata C-06 en el cimientto de la presa.	128
Figura 58. Esquema de ensayo de infiltración a carga constante.	129
Figura 59. Ubicación de los ensayos de infiltración.	130
Figura 60. Ensayo de infiltración.	131
Figura 61. Ensayo de densidad campo con el cono de arena.	132
Figura 62. Arreglo de geosintéticos para la incorporación a la presa.	137
Figura 63. Diagrama de flujo para alcanzar los objetivos de la investigación.	149
Figura 64. Desplazamientos incrementales del escenario 01.	151
Figura 65. Factores de seguridad con embalse lleno del escenario 01.	151
Figura 66. Flujo de aguas subterráneas del escenario 01.	152
Figura 67. Caudal total del agua mediante la sección de flujo del escenario 01.	152
Figura 68. Desplazamientos incrementales del escenario 02.	153
Figura 69. Factores de seguridad con embalse lleno del escenario 02.	153
Figura 70. Flujo de aguas subterráneas del escenario 02.	154
Figura 71. Caudal total del agua mediante la sección de flujo del escenario 02.	154
Figura 72. Desplazamientos incrementales del escenario 03.	155
Figura 73. Factores de seguridad con embalse lleno del escenario 03.	155
Figura 74. Flujo de aguas subterráneas del escenario 03.	156
Figura 75. Caudal total del agua mediante la sección de flujo del escenario 03.	156
Figura 76. Desplazamientos incrementales del escenario 04.	157
Figura 77. Factores de seguridad con embalse lleno del escenario 04.	157
Figura 78. Flujo de aguas subterráneas del escenario 04.	158

Figura 79. Caudal total del agua mediante la sección de flujo del escenario 04.....	158
Figura 80. Factores de seguridad estáticos obtenidos en el software Plaxis 2D.	160
Figura 81. Medidas descriptivas de los factores de seguridad estáticos.	161
Figura 82. Factores de seguridad pseudoestáticos obtenidos en el software Plaxis 2D.....	161
Figura 83. Medidas descriptivas de los factores de seguridad pseudoestáticos.	162
Figura 84. Caudales de filtración obtenidos en el software Plaxis 2D.....	163
Figura 85. Medidas descriptivas de los caudales de filtración.....	163
Figura 86. Incrementos porcentuales de los factores de seguridad estáticos.	164
Figura 87. Incrementos porcentuales de los factores de seguridad pseudoestáticos.....	165
Figura 88. Disminuciones porcentuales de los caudales de filtración.....	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ángulos de fricción suelo-geotextil.	36
Tabla 2. Ángulos de fricción geomembrana-geotextil.....	42
Tabla 3. Rangos típicos de permeabilidad según el tipo de suelo.....	49
Tabla 4. Criterios típicos del factor de seguridad	62
Tabla 5. Ficha de escenarios de análisis.	68
Tabla 6. Ficha de registro de datos.	69
Tabla 7. Características de la presa Qochaqocha.	90
Tabla 8. Parámetros de Refracción Sísmica.....	100
Tabla 9. Ubicación de las líneas de Refracción Sísmica en coordenadas UTM.	100
Tabla 10. Identificación de Materiales encontrados en la línea LS-01.....	102
Tabla 11. Identificación de Materiales encontrados en la línea LS-02.....	103
Tabla 12. Identificación de Materiales encontrados en la línea LS-03.....	104
Tabla 13. Identificación de Materiales encontrados en la línea LS-04.....	105
Tabla 14. Parámetros de MASW 2D.	106
Tabla 15. Ubicación de las líneas de MASW2D en coordenadas UTM.	106
Tabla 16. Identificación de Materiales encontrados en la línea MASW2D-01.	107
Tabla 17. Clasificación del Sitio.....	108
Tabla 18: Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad.	109
Tabla 19. Periodos TP y TL.....	110

Tabla 20. Factores de suelo.....	110
Tabla 21. Clasificación del Sitio.....	111
Tabla 22. Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad.....	111
Tabla 23. Cálculo de Parámetros Elásticos (LS-03 / MASW2D-01).....	114
Tabla 24. Parámetros de adquisición del ensayo de Tomografía Eléctrica.....	116
Tabla 25. Ubicación de las líneas de Refracción Sísmica en coordenadas UTM.	116
Tabla 26. Ubicación de las calicatas.	125
Tabla 27. Norma NTP 339.151 para extracción de muestras de las calicatas.....	128
Tabla 28. Resultados del ensayo de infiltración.	131
Tabla 29. Lista de ensayos y normas utilizados en laboratorio con su respectiva fotografía.	133
Tabla 30. Cuadro de resumen de los ensayos realizados en campo y laboratorio.	135
Tabla 31. Especificaciones técnicas del geotextil 270 g/m2.....	138
Tabla 32. Especificaciones técnicas de la geomembrana de HDPE de 1.5 mm.	140
Tabla 33. Parámetros geotécnicos de los materiales que conforman la estructura de la presa.	148
Tabla 34. Parámetros hidráulicos de los materiales que conforman la estructura de la presa.	148

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de incorporar geosintéticos en la estabilidad de taludes y filtraciones internas de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco. Mediante una simulación numérica con el uso del software PLAXIS 2D, se analizó el comportamiento de la infraestructura en su condición actual y se comparó con escenarios de rehabilitación mediante la incorporación de geosintéticos.

El estudio comprende la caracterización geológica regional y local, evaluaciones geofísicas, ensayos de trazadores ambientales en campo y pruebas de laboratorio, con la finalidad de identificar las condiciones del terreno, los mecanismos de filtración y el proceso de tubificación que afecta la capacidad de almacenamiento de la presa.

Los resultados obtenidos evidencian que la incorporación de geosintéticos mejora de manera moderada los factores de seguridad asociados a la estabilidad estructural; sin embargo, se evidenciaron una alta eficiencia en la reducción del flujo interno de filtración, contribuyendo al control de pérdidas de agua y a la mejora del comportamiento hidráulico de la estructura.

En conclusión, la implementación de geosintéticos constituye una alternativa técnicamente viable para la rehabilitación hidráulica y la optimización del funcionamiento de presas de tierra ubicadas en zonas altoandinas, siempre que sea complementada con medidas de control geotécnico e hidráulico.

Palabras clave: Geosintéticos, Presa de tierra, Filtración, Estabilidad de taludes, Simulación numérica.

ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the effect of incorporating geosynthetics on the slope stability and internal seepage of the Qochaqocha earth dam, located in the Ccatcamara community, Urcos district, Quispicanchi province, Cusco department. Through numerical simulation using the PLAXIS 2D software, the behavior of the infrastructure under its current condition was analyzed and compared with rehabilitation scenarios involving the incorporation of geosynthetics.

The study includes regional and local geological characterization, geophysical evaluations, environmental tracer tests in the field, and laboratory tests, in order to identify the ground conditions, seepage mechanisms, and the piping process affecting the storage capacity of the dam.

The results obtained show that the incorporation of geosynthetics moderately improves the safety factors associated with structural stability; however, high efficiency was evidenced in reducing the internal seepage flow, contributing to the control of water losses and the improvement of the hydraulic behavior of the structure.

In conclusion, the implementation of geosynthetics constitutes a technically viable alternative for the hydraulic rehabilitation and optimization of the performance of earth dams located in high Andean areas, provided that it is complemented with geotechnical and hydraulic control measures.

Keywords: Geosynthetics, Earth dam, Seepage, Slope stability, Numerical simulation.

INTRODUCCIÓN

Las presas de tierra constituyen una de las infraestructuras más empleadas para el almacenamiento de agua en zonas altoandinas, debido a su viabilidad técnica y económica. Sin embargo, estas estructuras presentan con frecuencia problemas asociados a filtraciones internas y pérdida de estabilidad, originados por el envejecimiento de materiales, deficiencias constructivas y limitado mantenimiento. En este marco, la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, presenta filtraciones persistentes y procesos de tubificación, lo que reduce su capacidad de almacenamiento y genera riesgos en su estabilidad. Ante esta situación, surge la necesidad de evaluar alternativas técnicas que permitan mejorar su comportamiento hidráulico y geotécnico. La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de geosintéticos en la estabilidad de taludes y en las filtraciones internas de la presa, mediante simulación numérica.

La presente investigación se estructura en cuatro capítulos. En el Capítulo I se desarrolla el planteamiento del estudio, donde se aborda la formulación del problema, los objetivos de la investigación, la justificación e importancia, las limitaciones y las hipótesis planteadas. En el Capítulo II se presenta el marco teórico, que comprende los antecedentes de investigación y las bases teóricas relacionadas con el estudio. El Capítulo III corresponde a la metodología de investigación, donde se describe el método y alcance del estudio, el diseño de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos utilizados, así como el procedimiento para la recopilación y procesamiento de datos. En el Capítulo IV se presenta los resultados obtenidos mediante el análisis realizado, la comprobación de las hipótesis y la interpretación de los hallazgos en comparación con investigaciones previas. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Planteamiento del problema

La gestión del agua en zonas altoandinas enfrenta importantes desafíos debido a la variabilidad climática, la escasez de precipitaciones en época seca y la creciente demanda de los recursos hídricos. A nivel mundial, las presas de tierra constituyen una de las infraestructuras más utilizadas para el almacenamiento de agua, especialmente en regiones rurales y semiáridas, debido a su importancia en la seguridad hídrica. Sin embargo, Adamo et al. (2020) advierten que muchas de estas estructuras presentan problemas de filtraciones y fallas de estabilidad asociados al envejecimiento de materiales, deficiencias constructivas y mantenimiento limitado. En América Latina, países como Brasil y Perú comparten esta problemática, requiriendo procesos de modernización y rehabilitación de presas de tierra para garantizar una operación segura y sostenible. En el ámbito nacional, el Perú cuenta con más de 743 presas, de las cuales una proporción importante corresponde a presas de tierra ubicadas en zonas altoandinas destinadas al riego agrícola y abastecimiento rural. No obstante, muchas presentan filtraciones y deterioro estructural debido a la antigüedad y falta de mantenimiento, generando riesgos para la seguridad hídrica y la gestión sostenible del agua (ANA, 2016).

En este contexto, la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco, constituye un caso representativo. Construida hace más de 25 años, actualmente presenta filtraciones persistentes, posiblemente originadas por procesos de tubificación y pérdida de impermeabilidad en su cuerpo y cimentación, lo que reduce su capacidad de almacenamiento y pone en riesgo su estabilidad estructural. Ante esta situación,

se propuso evaluar el efecto de incorporar geosintéticos en su estabilidad de taludes y filtraciones internas de la presa Qochaqocha mediante una simulación numérica. Los resultados permitirán determinar criterios técnicos que faciliten la rehabilitación y optimización de la presa, y contribuyendo así a la seguridad hídrica local.

1.1.2. Formulación del problema

Problema general

¿Cuál es el efecto de incorporar de geosintéticos en la estabilidad de taludes y en las filtraciones internas de la presa de tierra Qochaqocha mediante simulación numérica, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco?

Problemas específicos

- ¿Cómo influye la incorporación de geosintéticos en el factor de seguridad estático de la presa de tierra Qochaqocha mediante simulación numérica, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco?
- ¿Qué efecto tiene la incorporación de geosintéticos sobre el factor de seguridad pseudoestático de la presa de tierra Qochaqocha mediante simulación numérica, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco?
- ¿Cómo incide la incorporación de geosintéticos en el caudal de filtración de la presa de tierra Qochaqocha mediante simulación numérica, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general y específicos

Objetivo general

Analizar el efecto de incorporar geosintéticos en la estabilidad de taludes y filtraciones internas de la presa de tierra Qochaqocha mediante simulación numérica, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco.

Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de la incorporación de geosintéticos en el factor de seguridad estático de la presa de tierra Qochaqocha mediante simulación numérica, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco.
- Analizar el efecto de la incorporación de geosintéticos sobre el factor de seguridad pseudoestático de la presa de tierra Qochaqocha mediante simulación numérica, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco.
- Determinar la incidencia de la incorporación de geosintéticos en el caudal de filtración de la presa de tierra Qochaqocha mediante simulación numérica, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La importancia de la investigación radica en la necesidad de plantear una alternativa de solución frente a los problemas de filtraciones internas e inestabilidad identificados en la presa de tierra Qochaqocha, mediante la incorporación de geosintéticos como elementos de impermeabilización y mejora del comportamiento geotécnico. El estudio se justifica en los siguientes aspectos:

1.3.1. Conveniencia

El estudio resulta conveniente porque permite evaluar una alternativa técnica viable, como es la incorporación de geosintéticos, para mejorar su estabilidad y reducir sus filtraciones internas de la presa de tierra Qochaqocha. La aplicación de esta solución contribuye a optimizar el desempeño de la infraestructura existente, evitando intervenciones mayores y costos elevados asociados a reconstrucciones o fallas estructurales.

1.3.2. Relevancia social

La investigación presenta relevancia social debido a que la presa Qochaqocha cumple un rol fundamental en el abastecimiento de agua para actividades agrícolas y uso rural en la comunidad de Ccatacamara. Mejorar su estabilidad y reducir las filtraciones internas contribuye directamente a garantizar la continuidad del suministro hídrico, disminuir riesgos para la población aguas abajo y fortalecer la seguridad hídrica local y regional.

1.3.3. Implicaciones prácticas

Desde el punto de vista práctico, los resultados del estudio permitirán establecer criterios técnicos para la rehabilitación de presas de tierra mediante el uso de geosintéticos. Estos criterios podrán ser utilizados por ingenieros y entidades responsables de la gestión de infraestructuras hidráulicas en la toma de decisiones relacionadas con el control de filtraciones y la mejora de la estabilidad de taludes en presas similares.

1.3.4. Valor teórico

El valor teórico de la investigación radica en el aporte al conocimiento sobre el comportamiento geotécnico e hidráulico de presas de tierra reforzadas con geosintéticos. El estudio permitirá analizar la interacción suelo-agua-geosintético mediante simulación numérica, contribuyendo a la comprensión de los mecanismos que influyen en la estabilidad de taludes y en la reducción de filtraciones internas.

1.3.5. Utilidad metodológica

La investigación presenta utilidad metodológica al emplear la simulación numérica como herramienta para evaluar la estabilidad y las filtraciones en presas de tierra. La metodología desarrollada podrá ser replicada o adaptada en futuros estudios similares, sirviendo como referencia para investigaciones que utilicen modelos numéricos en el análisis de infraestructuras hidráulicas reforzadas con geosintéticos.

1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- El análisis realizado es estático, por lo que no se consideran los efectos dinámicos ni sísmicos que podrían influir en el comportamiento real de la presa.
- La sección de análisis seleccionada corresponde al perfil central de la presa de la sección típica, y la segunda sección considerada la zona más crítica para la representación del fenómeno de tubificación, asumiendo condiciones uniformes a lo largo del eje de la presa.
- Se asume un nivel máximo de embalse (NAME) conforme a las condiciones operativas de la presa Qochaqocha para los análisis, sin contemplar variaciones estacionales o cambios en la altura de lámina de agua.
- El modelo numérico bidimensional (2D) empleado simplifica la geometría real de la presa, por lo que no se consideran los efectos tridimensionales (3D) ni las posibles discontinuidades laterales del terreno.

1.5. HIPÓTESIS

Hipótesis general

La incorporación de geosintéticos mejora significativamente en la estabilidad de taludes y reduce significativamente las filtraciones internas en la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco.

Hipótesis específicas

- La incorporación de geosintéticos incrementa significativamente el factor de seguridad estático de la presa de tierra Qochaqocha, comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco.
- La incorporación de geosintéticos incrementa significativamente el factor de seguridad pseudoestático de la presa de tierra Qochaqocha, comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco.
- La incorporación de geosintéticos disminuye significativamente el caudal de filtración de la presa de tierra Qochaqocha, comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco.

1.6. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
A1. Incorporación de geosintéticos	La incorporación de geosintéticos consiste en la inclusión de materiales sintéticos tales como geotextiles y geomembranas dentro de una estructura geotécnica con el fin de modificar su comportamiento mecánico e hidráulico. Los geotextiles actúan como elementos de refuerzo y filtración, mientras que las geomembranas funcionan como barreras impermeables destinadas a reducir o controlar el flujo de agua a través del macizo de suelo (Koerner, 2012a).	La incorporación de geosintéticos se midieron como una condición de modelación numérica en Plaxis 2D, comparando dos escenarios: uno sin geosintéticos y otro con la instalación de estas. Dentro de la sección transversal de la presa, permitiendo evaluar su influencia directa sobre los resultados de estabilidad y filtración. El análisis se desarrolló en dos secciones representativas de la presa: una sección típica y una sección crítica.	A1.1. Sin geosintético	Técnica: Observación y revisión documental Instrumento: Ficha de escenarios Recurso: Hojas de cálculo, AutoCAD
			A1.2. Con geosintético	

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
B1. Estabilidad de taludes	La estabilidad de taludes se refiere a la capacidad de un talud o estructura de suelo para mantener el equilibrio ante la acción de fuerzas externas e internas, evaluada normalmente mediante un factor de seguridad, que expresa la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas que tienden al deslizamiento (Huang, 2014).	La estabilidad de taludes se midió mediante el cálculo del factor de seguridad estático y pseudoestático obtenido a partir de los análisis realizados en Plaxis 2D, registrándose los valores numéricos generados por el software como indicadores cuantitativos del comportamiento del talud tanto en condición estática como bajo solicitación sísmica.	B1.1. Factor de seguridad estático	Técnica: Observación Instrumento: Fichas de registro Recurso: Software Plaxis 2D
			B1.2. Factor de seguridad pseudoestático	
B2. Filtraciones internas	Las filtraciones internas corresponden al flujo de agua que atraviesa el cuerpo o la cimentación de una presa de tierra debido a gradientes hidráulicos generados por diferencias de carga. Este flujo se cuantifica mediante caudales que permiten evaluar el posible desarrollo de erosión interna o inestabilidad hidráulica (Chin, 2006).	Las filtraciones internas se midieron mediante la determinación del caudal de filtración generados en el análisis de flujo de agua en Plaxis 2D, registrándose los valores numéricos del caudal total que atraviesa el cuerpo de la presa, lo que permite cuantificar el comportamiento hidráulico interno del macizo de tierra.	B2.1. Caudal de filtración	

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. Antecedentes internacionales

Antecedentes I

El estudio de Sabab et al. (2026), titulado *The impact of geosynthetics on embankment performance using finite element modelling – a case study*, tuvo como objetivo evaluar la eficacia del uso de geotextiles como elemento de refuerzo para mejorar el comportamiento geotécnico de terraplenes. La investigación se desarrolló en la localidad de Teknaf, Bangladesh, zona caracterizada por la presencia de suelos arcillosos de baja capacidad portante. Para el análisis se empleó modelación numérica mediante el método de elementos finitos utilizando el software PLAXIS 2D. Los resultados obtenidos indican que la incorporación de geotextiles permitió una reducción del asentamiento de hasta 48 %, evidenciando un comportamiento significativamente más favorable en comparación con terraplenes no reforzados. Asimismo, en pendientes de 45°, se registró un incremento de la estabilidad del orden del 35 %, demostrando que el efecto del refuerzo es más relevante conforme aumenta la inclinación del talud. El estudio concluye que el ángulo de pendiente constituye un parámetro determinante en el diseño, siendo necesario un mayor nivel de refuerzo en pendientes elevadas para garantizar condiciones adecuadas de estabilidad.

Esta investigación es relevante para la presente tesis debido a que demuestra, mediante simulación numérica, la efectividad de los geotextiles como solución geotécnica para mejorar la estabilidad y reducir deformaciones en estructuras de suelo, aportando criterios técnicos aplicables al análisis de presas de tierra reforzadas con geosintéticos.

Antecedentes II

Zewdu (2020), en su investigación titulada *Seepage and Slope Stability Analysis of Earthen Dam: A Case Study of Koga Dam, Ethiopia*, tuvo como objetivo analizar el comportamiento de la presa Koga considerando la infiltración de agua y la estabilidad de los taludes bajo diferentes condiciones críticas de carga. A través de modelación numérica con el software PLAXIS 2D y el criterio de Mohr-Coulomb, obtuvo como resultados que el caudal promedio de filtración para la longitud total del cuerpo de la presa en nivel normal de embalse fue de $0,06085 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que el caudal que atraviesa la cimentación fue de $0,01937 \text{ m}^3/\text{s}$. Asimismo, el estudio recomienda implementar sistemas de control de filtraciones y considerar condiciones críticas de carga en el diseño y monitoreo.

Esta investigación es relevante para la presente tesis porque proporciona un caso validado con datos de campo y simulación numérica que demuestra la capacidad de PLAXIS 2D para analizar filtraciones, presión de poros y estabilidad de taludes en presas de tierra.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Antecedentes I

Huamaní Palomino (2021), en su investigación titulada *Análisis numérico de la infiltración con el software Slide en la represa de material suelto Pallca, Ayacucho 2020*, tuvo como objetivo principal evaluar el comportamiento de la presa de tierra Pallca a partir de la determinación de parámetros hidrogeológicos, el análisis de filtraciones y la evaluación de la estabilidad estructural bajo diferentes condiciones de carga.

El estudio efectuó el análisis de filtración mediante la resolución de la ecuación de Laplace, empleando el método de elementos finitos con el software GeoStudio – Seep/W. Los resultados obtenidos indican caudales de filtración de 613,86 m³/año en el talud aguas abajo, 45 398,83 m³/año en el centro de la presa y 18,95 m³/año al incorporar una geomembrana como protección en el talud aguas arriba, evidenciando una reducción significativa de las pérdidas de agua.

Adicionalmente, se realizó el análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite, considerando las hipótesis de final de construcción y embalse lleno, bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas. El estudio incorporó parámetros geométricos y operativos como un volumen útil de 828 000 m³, volumen total de 920 762,77 m³, cota base 3997,00 msnm, cota NAMIN 4001,70 msnm, cota NAMO 4017,60 msnm, cota NAME 4017,95 msnm y cota de corona 4020,50 msnm.

Finalmente, se compararon los resultados de la modelación numérica con los ensayos Lefranc y Lugeon, obteniéndose valores de 5,15 L/min y 1,11 L/min, respectivamente. Esta investigación es relevante para la presente tesis debido a que integra ensayos hidrogeológicos de campo con modelación numérica de filtraciones y estabilidad, demostrando la efectividad del uso de herramientas computacionales y de soluciones como la geomembrana para el control de filtraciones y la mejora del comportamiento geotécnico en presas de tierra.

Antecedentes II

Aliaga Cavalcanti & Quintana Pozo (2020), en su investigación titulada *Análisis de filtraciones y estabilidad física de la presa Vizcachas en dos fases de ejecución*, plantearon como objetivo analizar el comportamiento de la estructura durante sus dos etapas de ejecución, considerando las filtraciones en la fundación y el cuerpo de la presa, así como su estabilidad física.

A través de modelos numéricos desarrollados en el software Midas GTS NX 2019 v2.1 y métodos matemáticos de estabilidad, el estudio obtuvo como resultados que la inclusión de cortinas de inyección y pantallas de impermeabilización con geosintéticos es necesaria en ambas etapas de construcción para garantizar la seguridad de la presa.

Asimismo, se recomienda evaluar en futuros estudios la incorporación de cortinas de drenaje, dado que estas influyen directamente en la línea de saturación del cuerpo y en las subpresiones de la cimentación. Esta investigación es relevante para la presente tesis porque aporta un enfoque aplicado del uso de geosintéticos e inyecciones como medidas de control de filtraciones y estabilidad en presas.

2.1.3. Antecedentes locales

Antecedentes I

Mamani Meza & Mamani Reyes (2019), en su tesis titulada *Estudio geotécnico definitivo para el análisis de filtración y estabilidad en el modelo de impermeabilización con geomembrana del dique de la Presa Pallallaje, Coporaque–Espinar–Cusco 2019*, tuvieron como objetivo identificar el contacto suelo–roca, evaluar las condiciones geotécnicas, determinar las permeabilidades del terreno mediante ensayos Lefranc y rediseñar el modelo geotécnico de impermeabilización del dique para optimizar su estabilidad y control de filtraciones.

Mediante el uso del software SLIDE 6.0 se evaluaron la estabilidad de taludes y las filtraciones, obteniéndose un caudal de 16,70 L/s y un volumen anual de 0,527 MMC. Asimismo, los factores de seguridad cumplieron con la normativa vigente para los taludes aguas arriba y aguas abajo. El estudio concluye que el diseño propuesto de impermeabilización con geomembranas es eficaz para controlar filtraciones y garantizar la estabilidad de la presa bajo diversas condiciones operativas.

Esta investigación es relevante para la presente tesis debido a que corresponde a un caso de estudio cercano a la zona de investigación y emplea el mismo tipo de geomembrana como solución de impermeabilización.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Geosintéticos

Los geosintéticos son materiales poliméricos fabricados de manera industrial, diseñados para ser utilizados en contacto directo con el suelo, la roca o el agua, con el propósito de mejorar el comportamiento hidráulico, mecánico y estructural de obras geotécnicas y de ingeniería civil. Estos materiales se emplean como elementos funcionales dentro de una estructura, permitiendo controlar la filtración, reforzar el suelo, facilitar el drenaje y proteger otros componentes constructivos (Koerner, 2012).

2.2.2. Tipos de geosintéticos

Los geosintéticos se clasifican en diversos tipos según su estructura, permeabilidad y función principal dentro de la obra. Entre las principales se tienen a los geotextiles, geomembranas, georedes, geomallas, geodrenes y geocompuestos. Para esta investigación solo se desarrolla los primeros dos tipos de geosintéticos debido a que estos dos se utilizaron para la incorporación a la presa.

2.2.2.1. Geotextiles

Los geotextiles son geosintéticos permeables elaborados a partir de fibras poliméricas sintéticas, diseñados para interactuar directamente con el suelo o materiales granulares dentro de obras geotécnicas. Su estructura permite el paso controlado del agua, manteniendo la estabilidad del suelo circundante y evitando la migración de partículas finas. Debido a estas características, los geotextiles son ampliamente utilizados en presas de tierra como elementos auxiliares para el control de filtraciones y la protección de sistemas impermeables (Koerner, 2012).

Geotextiles tejidos

Los geotextiles tejidos se fabrican mediante el entrelazado regular de hilos o cintas poliméricas, formando una estructura ordenada y estable. Se caracterizan por presentar una elevada resistencia a la tracción y una deformación controlada bajo carga. En presas de tierra, este tipo de geotextil se utiliza cuando se requiere una buena capacidad mecánica combinada con una permeabilidad adecuada, especialmente en zonas donde el geotextil cumple funciones estructurales adicionales (Koerner, 2012).

Figura 1. *Geotextiles tejidos.*

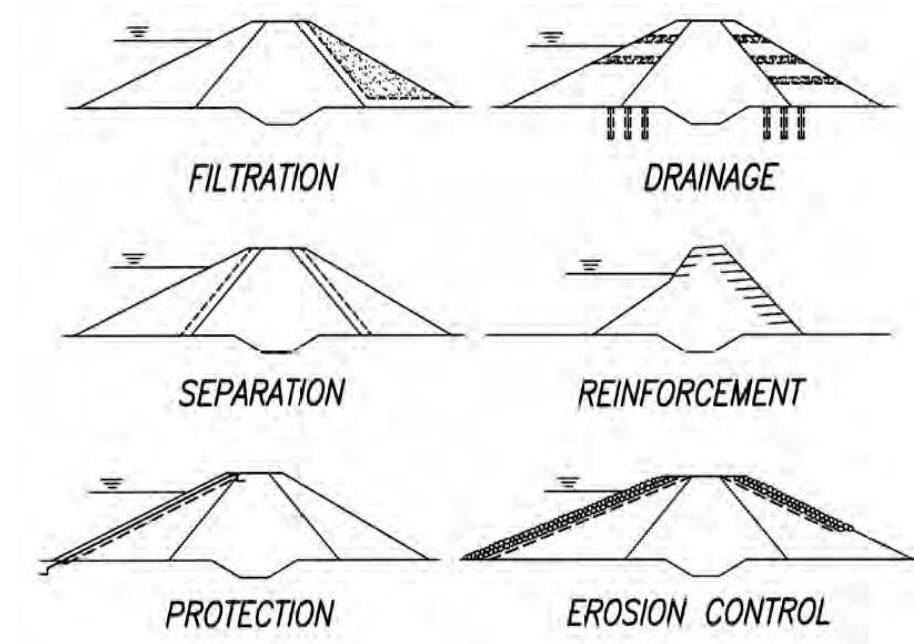


Nota. Tomado de FEMA (2008).

2.2.2.1.1. Funciones de geotextiles en presas de tierra

En presas de tierra, los geotextiles se emplean principalmente como componentes de sistemas de filtración, drenaje y refuerzo, así como capas de protección de geomembranas. Su correcta selección contribuye a mejorar el comportamiento hidráulico del terraplén, reducir el riesgo de erosión interna y aumentar la durabilidad de los elementos impermeables frente a deformaciones y esfuerzos inducidos por el embalse (Fell et al., 2015).

Figura 2. *Funciones de geotextiles en presas de tierra.*



Nota. Adaptado de FEMA (2008).

2.2.2.1.2. Propiedades físicas de los geotextiles

Gravedad específica

Es la relación entre la densidad del polímero que lo compone y la densidad del agua. Depende del tipo de material polimérico empleado en su fabricación. De acuerdo con Koerner (2012), este parámetro se determina mediante ensayos normalizados, como la ASTM D792, a partir de la densidad del polímero. La gravedad específica es adimensional y presenta valores menores que uno para geotextiles de polipropileno y mayores que uno para geotextiles de poliéster.

Masa por unidad de área

Se define como la cantidad de masa del material por unidad de superficie. Esta propiedad física es representativa de la estructura del geotextil y se relaciona con su espesor, tipo de fabricación y resistencia mecánica. Según Koerner (2012), la masa por unidad de área se determina mediante ensayos normalizados, conforme a la ASTM D5261, midiendo la masa de una muestra de área conocida. Este parámetro se expresa comúnmente en g/m^2 .

Espesor

Se define como la distancia medida entre las dos superficies del material bajo una presión normal especificada. Esta propiedad física depende del tipo de geotextil, su estructura y el nivel de carga aplicada durante la medición. De acuerdo con Koerner (2012), el espesor se determina mediante ensayos normalizados, conforme a la ASTM D5199, aplicando una presión estándar sobre la muestra. El espesor se expresa generalmente en milímetros (mm) y constituye un parámetro básico para la caracterización y comparación de geotextiles.

2.2.2.1.3. Propiedades mecánicas de los geotextiles

Rigidez axial

La rigidez axial del geotextil es una propiedad mecánica que representa la resistencia del material a la deformación bajo cargas de tracción. Esta propiedad controla la capacidad del geotextil para movilizar esfuerzos cuando actúa como elemento de refuerzo en contacto con el suelo. Según Koerner (2012), la rigidez axial se define como la relación entre la fuerza de tracción por unidad de ancho y la deformación unitaria, y puede expresarse mediante la relación:

$$J = \frac{T}{\varepsilon}$$

Asimismo, Koerner (2012) señala que la rigidez axial puede representarse de manera equivalente mediante la expresión:

$$EA = E \cdot t$$

Donde:

- EA = rigidez axial por unidad de ancho [kN/m]
- E = módulo de elasticidad del geotextil [kN/m²]
- t = espesor nominal del geotextil [m]

Esta formulación es válida cuando el geotextil se idealiza como un material continuo equivalente, permitiendo estimar su rigidez axial a partir de propiedades mecánicas básicas. No obstante, Koerner (2012) señala que, en la práctica, el valor de EA se obtiene preferentemente a partir del ensayo de tracción, siendo esta expresión conceptualmente consistente y aceptada para fines de modelación numérica.

Resistencia última a tracción

La resistencia última a tracción del geotextil se define como la máxima fuerza de tracción por unidad de ancho que el material puede soportar antes de la rotura. De acuerdo con Koerner (2012), este parámetro se determina mediante ensayos de tracción normalizados, como la ASTM D4595, aplicando una carga axial creciente hasta la falla del material.

Koerner (2012) indica que la resistencia última a tracción puede expresarse mediante la relación:

$$T_u = \frac{F_u}{b}$$

Donde:

- T_u = resistencia última a tracción por unidad de ancho [kN/m]
- F_u = fuerza máxima registrada en el ensayo de tracción [kN]
- b = ancho efectivo de la muestra ensayada [m]

Coefficiente de interacción suelo–geotextil

En términos técnicos y según Koerner (2012):

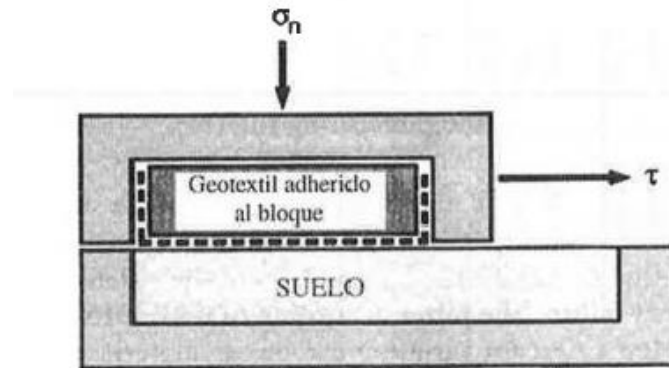
El coeficiente de interacción suelo–geotextil representa el comportamiento friccional y adhesivo conjunto en la interfaz suelo–geotextil.

Incluye:

- Fricción (componente dominante)
- Adherencia (cuando existe, especialmente en suelos finos)

Por ello, Koerner (2012) define el coeficiente de interacción como un parámetro global de fricción de interfaz, que compara la resistencia a la corte movilizada en la interfaz suelo–geotextil con la resistencia al corte del suelo. Este parámetro se determina mediante ensayos de laboratorio normalizados, tales como el ensayo de corte directo.

Figura 3. Dispositivo para el ensayo de corte directo.



Nota. Tomado de Koerner (2012).

Tabla 1. Ángulos de fricción suelo-geotextil.

Geotextil	Tipo de Suelo					
	Arena para concretos ($\phi = 30^\circ$)		Arena de Ottawa ($\phi = 28^\circ$)		Arena de micacita ($\phi = 26^\circ$)	
no tejido punzonado agujado	30°	(1.00)	26°	(0.92)	25°	(0.96)
no tejido termo-unido	26°	(0.84)	---	---	---	---
monofilamento tejido	26°	(0.84)	---	---	---	---
filamento-banda tejido	24°	(0.77)	24°	(0.84)	23°	(0.87)

Nota. Los valores de eficiencia están basados en la relación $E = (\tan \delta) / (\tan \Phi)$. Tomado de Koerner (2012).

2.2.2.2. Geomembranas

Las geomembranas son geosintéticos de naturaleza polimérica caracterizados por su muy baja permeabilidad, diseñados para funcionar como barreras hidráulicas dentro de obras geotécnicas e hidráulicas. Se fabrican en forma de láminas continuas y flexibles, lo que permite su adaptación a las deformaciones del terreno y su instalación en grandes superficies sin comprometer la continuidad del sistema impermeable (Koerner, 2012).

Geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE)

Las geomembranas de HDPE son las más utilizadas en obras hidráulicas y presas de tierra debido a su muy baja permeabilidad, alta resistencia química y elevada durabilidad. Presentan un comportamiento rígido en comparación con otros polímeros, lo que le confiere una excelente resistencia a la tracción y al punzonamiento. Estas geomembranas son especialmente adecuadas para su uso en taludes aguas arriba y sistemas de impermeabilización sometidos a altas presiones hidráulicas (ICOLD, 2010; Koerner, 2012).

Figura 4. *Geomembrana HDPE.*



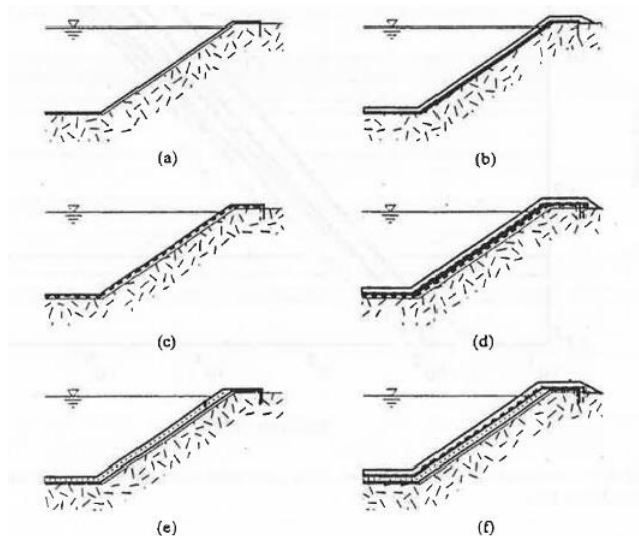
Nota. Tomado de Geomembranas Lihar Perú SAC (2021).

2.2.2.2.1. Funciones de las geomembranas en presas de tierra

En presas de tierra, las geomembranas se utilizan principalmente para controlar y reducir las filtraciones internas, ya sea sustituyendo parcial o totalmente a los núcleos impermeables tradicionales de arcilla, o complementándolos. Su empleo contribuye a disminuir las presiones de poros dentro del terraplén, reducir el riesgo de erosión interna y mejorar el comportamiento hidráulico global de la estructura, tanto en presas nuevas como en proyectos de rehabilitación (ICOLD, 2010).

Debido a su elevada resistencia química, durabilidad y estabilidad frente a agentes ambientales, las geomembranas constituyen una solución eficiente en presas ubicadas en zonas donde la disponibilidad de materiales impermeables naturales es limitada o donde se requieren sistemas de impermeabilización de alto desempeño (Rowe, 2012).

Figura 5. *Sistemas de revestimiento con geomembranas en presas de tierra.*



Nota. a) Sistema de revestimiento sin protección. b) Revestimiento con cobertura de suelo. c) Revestimiento con geotextil inferior. d) Revestimiento con geotextil inferior y superior con cobertura de suelo. e) Doble revestimiento con geored entre ellos para detección de fugas. f) Doble revestimiento con geored entre ellos con cobertura de suelo. Tomado de FEMA (2008).

2.2.2.2.2. Propiedades físicas de las geomembranas

Gravedad específica

La gravedad específica de la geomembrana se define como la relación entre la densidad del polímero que la constituye y la densidad del agua. Esta propiedad física depende del tipo de material polimérico empleado en su fabricación, como polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) o PVC. Según Koerner (2012), la gravedad específica de las geomembranas se determina mediante ensayos normalizados, tales como la ASTM D792, a partir de la densidad del polímero. Este parámetro es adimensional, por lo que no presenta unidad, y permite caracterizar el material y verificar su conformidad con las especificaciones técnicas del fabricante.

Masa por unidad de área

La masa por unidad de área de la geomembrana se define como la cantidad de masa del material por unidad de superficie. Esta propiedad física está directamente relacionada con el espesor y la densidad del polímero que compone la geomembrana.

De acuerdo con Koerner (2012), la masa por unidad de área se determina mediante ensayos normalizados, conforme a la ASTM D1910, midiendo la masa de una muestra de área conocida.

Este parámetro se expresa generalmente en g/m^2 y constituye una propiedad básica para la caracterización y control de calidad de las geomembranas.

2.2.2.2.3. Propiedades mecánicas de las geomembranas

Comportamiento a la tensión

El comportamiento a la tensión de la geomembrana describe la respuesta mecánica del material frente a la aplicación de cargas de tracción, expresada mediante la relación entre esfuerzo y deformación. Este comportamiento permite evaluar la capacidad resistente y la deformabilidad de la geomembrana antes de la rotura.

Según Koerner (2012), el comportamiento a la tensión se determina mediante ensayos de tracción normalizados, como la ASTM D638, obteniéndose la curva esfuerzo–deformación del material. A partir de esta curva se identifican parámetros como la resistencia a tracción y la deformación correspondiente, los cuales son fundamentales para la caracterización mecánica de geomembranas empleadas como barreras impermeables.

Resistencia al punzonamiento

La resistencia al punzonamiento de la geomembrana es la capacidad del material para resistir la penetración producida por cargas concentradas o elementos puntiagudos. Esta propiedad mecánica es fundamental para evaluar el desempeño de la geomembrana frente a irregularidades del soporte y cargas locales.

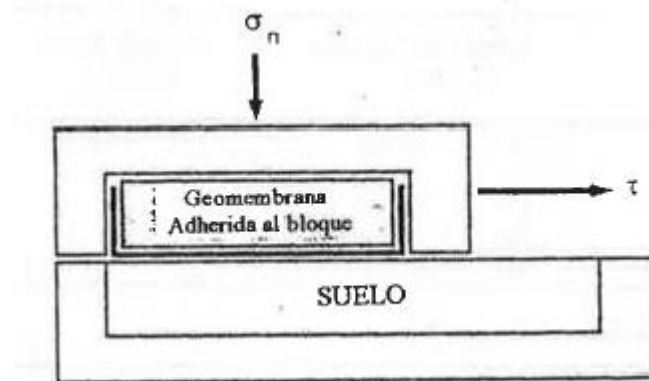
Según Koerner (2012), la resistencia al punzonamiento se determina mediante ensayos normalizados, como la ASTM D4833, aplicando una carga concentrada hasta que se produce la perforación del material. Este parámetro se expresa generalmente en newtons (N) o kilonewtons (kN) y permite comparar la capacidad de protección de distintas geomembranas.

Interfase de corte

La interfase de corte de la geomembrana describe el comportamiento al deslizamiento que se desarrolla entre la geomembrana y el material en contacto, como suelo, geotextil u otra geomembrana. Este comportamiento controla la estabilidad relativa entre capas en sistemas impermeables.

Según Koerner (2012), la resistencia al corte de la interfase se determina mediante ensayos de corte directo de interfaz, como la ASTM D5321, obteniéndose parámetros como el ángulo de fricción de la interfaz y, cuando corresponde, la adhesión. Estos parámetros caracterizan la capacidad de la interfase para resistir esfuerzos cortantes bajo cargas normales aplicadas.

Figura 6. *Dispositivo para el ensayo de corte directo.*



Nota. Tomado de Koerner (2012).

Tabla 2. *Ángulos de fricción geomembrana-geotextil.*

Geotextil	Geomembrana			
	HDPE (liso)	Áspero	PVC	
			Liso	CSPE-R
no tejido punzonado agujado	8°	23°	21°	15°
no tejido termo-unido	11°	20°	18°	21°
monofilamento tejido	6°	11°	10°	9°
filamento-banda tejido	10°	28°	24°	13°

Nota. Tomado de Koerner (2012).

2.2.3. Presa de tierra

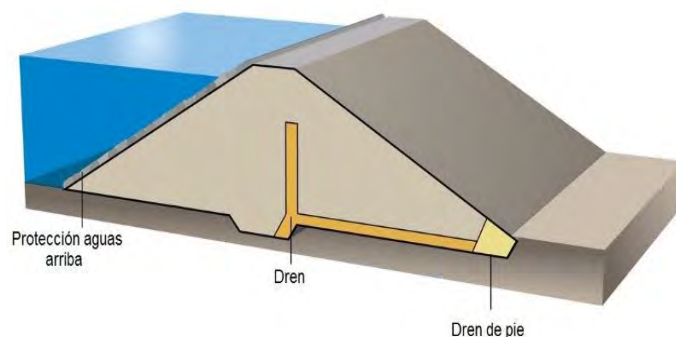
La presa de tierra es un tipo de presa de materiales sueltos construida predominantemente con suelos finos y granulares compactados en capas. Generalmente incorpora un núcleo impermeable, central o inclinado, complementado con sistemas de filtros y drenes que controlan la filtración y evitan procesos de erosión interna. Este tipo de presa se emplea cuando existe disponibilidad de materiales adecuados en la zona y cuando las condiciones geotécnicas permiten un comportamiento deformable seguro (Fell et al., 2015).

Tipos de presas de tierra

Presas de tierra homogénea

Se construyen empleando un solo tipo de material, el cual se distribuye de manera uniforme en todo el cuerpo del terraplén. En este tipo de presas, el control del flujo de agua se logra principalmente mediante el diseño geométrico de la sección, el aumento del ancho del terraplén y la incorporación de sistemas de drenaje y filtros internos (USACE, 2003).

Figura 7. *Presa de tierra homogénea.*



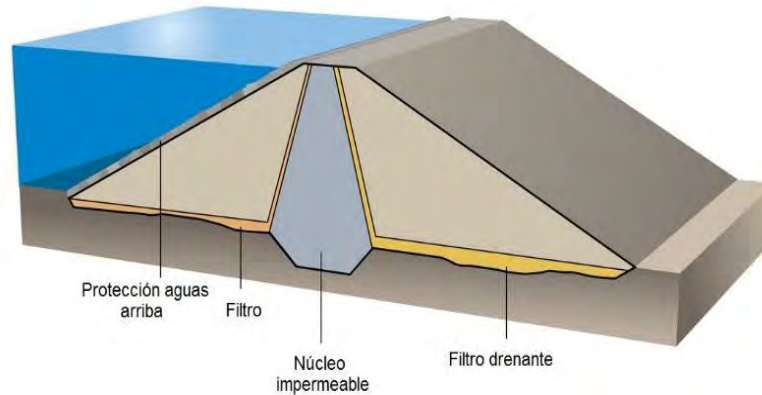
Nota. Tomado de Sánchez Colin (2015).

Presa de tierra heterogénea

Las presas de tierra heterogéneas o zonificadas están constituidas por dos o más tipos de materiales, dispuestos de forma intencional para cumplir funciones específicas dentro de la estructura. Generalmente, este tipo de presa incluye un núcleo impermeable, ubicado en posición central o inclinado hacia aguas arriba, cuya función principal es limitar el paso del agua a través del cuerpo de la presa. Dicho núcleo se encuentra rodeado por materiales más permeables y resistentes, los cuales aportan estabilidad estructural y facilitan la disipación de las presiones de poros generadas por la filtración (Fell et al., 2015).

La zonificación de materiales en las presas heterogéneas permite optimizar el comportamiento hidráulico y mecánico del terraplén, reduciendo el riesgo de erosión interna y mejorando la seguridad frente a condiciones críticas de carga, como el embalse lleno o acciones sísmicas. Debido a estas ventajas, las presas zonificadas son ampliamente empleadas en proyectos de mayor envergadura o en aquellos donde se requiere un control más eficiente de las filtraciones internas (ICOLD, 2011).

Figura 8. Presa de tierra heterogénea.



Nota. Tomado de Sánchez Colin (2015).

2.2.4. Filtraciones en presas de tierra

La filtración se define como el flujo de agua a través de los espacios porosos presentes en un suelo o en una masa rocosa. En el caso de las presas de tierra, este fenómeno puede ocurrir a través del propio terraplén, la cimentación, los estribos o a lo largo de penetraciones dentro de la presa. La filtración puede manifestarse como un flujo difuso a través de amplias zonas del material o concentrarse en defectos específicos, como grietas, capas sueltas, discontinuidades rocosas (fracturas o juntas) y otros posibles canales de paso. Aunque la mayor parte del agua proviene del embalse, también puede contribuir la circulación de aguas subterráneas (AECOM, 2021).

2.2.4.1. Problemas relacionados con las filtraciones

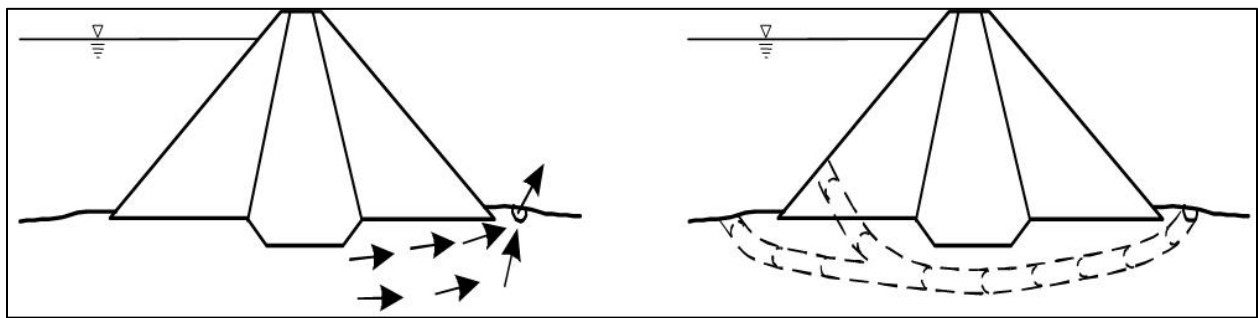
Reconocer los posibles inconvenientes asociados a las filtraciones en un sitio específico antes de llevar a cabo un análisis de filtraciones contribuye a definir con precisión los objetivos, la metodología y los requerimientos de información del estudio. A continuación, se presentan

algunos de los problemas relacionados con las filtraciones que pueden identificarse a través de este tipo de análisis:

2.2.4.1.1. Erosión interna

La erosión interna se produce cuando la filtración provoca el desprendimiento y transporte de partículas del suelo. Este movimiento de material puede afectar negativamente al terraplén de la presa, su cimentación o los estribos. La erosión interna puede manifestarse de diversas formas y a través de múltiples trayectorias de flujo (AECOM, 2021).

Figura 9. *Erosión interna a través de los cimientos de una presa de tierra.*

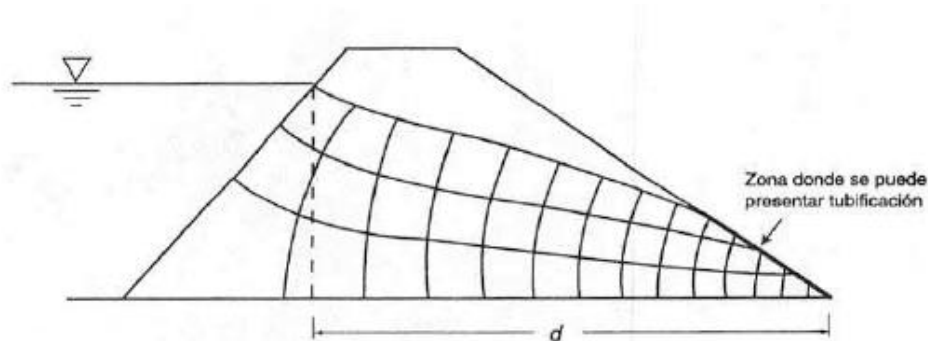


Nota. Tomado de Fell et al. (2015).

2.2.4.1.2. Tubificación

La tubificación es un tipo de erosión interna concentrada que ocurre cuando el flujo de agua dentro de un terraplén o su fundación arrastra partículas de suelo, formando pequeños conductos subterráneos continuos. Este proceso se desarrolla principalmente en materiales heterogéneos o parcialmente cohesivos y puede comprometer progresivamente la estabilidad del talud y la integridad de la presa si no se controla mediante filtros, drenes o barreras impermeables (Flores Berrones et al., 2019).

Figura 10. Red de flujo a través de una presa de tierra homogénea.



Nota. Tomado de Flores Berrones et al. (2019).

2.2.5. Análisis de filtraciones en presas de tierra

El análisis de filtraciones es un método computacional utilizado para modelar las condiciones de un terraplén y estimar cómo se produce el flujo de agua a través, debajo o alrededor de la presa (AECOM, 2021). Este análisis permite identificar las trayectorias de filtración, las velocidades y caudales del flujo, los gradientes hidráulicos, las presiones de poro y los niveles de saturación del material. Dependiendo de la complejidad del problema, se pueden emplear métodos sencillos de carácter gráfico o modelos numéricos avanzados mediante software especializado.

Los resultados de un análisis de filtraciones son fundamentales para:

- Evaluar el potencial de erosión interna y la susceptibilidad al fenómeno de tubificación o piping.
- Analizar las implicaciones sobre la estabilidad de taludes.
- Diseñar sistemas de control de filtraciones, como filtros, drenes o barreras de baja permeabilidad.

2.2.5.1. Principios del análisis de filtraciones

Los principios teóricos que rigen el movimiento de energía en medios conductores, como la electricidad o el calor, también se aplican al flujo de agua a través de los suelos. El agua se desplaza de un estado de mayor energía a uno de menor energía, y la diferencia de energía representa la resistencia del suelo al flujo. La comprensión y evaluación del comportamiento de filtraciones en presas de tierra se basa en la ley de Darcy (AECOM, 2021).

2.2.5.1.1. Ley de Darcy

De manera análoga a la ley de Ohm, que describe el flujo de la electricidad, Henry Darcy formuló en 1856 una relación empírica para explicar el comportamiento del flujo de agua a través de suelos saturados. La ley de Darcy establece que el caudal de filtración es directamente proporcional al gradiente hidráulico, lo que permite cuantificar el movimiento del agua en medios porosos y constituye el principio fundamental para el análisis de filtraciones en presas de tierra (AECOM, 2021).

$$q = \frac{k * \Delta h * A}{L} = k * i * A = v * A$$

Donde:

q = Tasa de filtración

k = Conductividad hidráulica o permeabilidad

Δh = Pérdida de carga

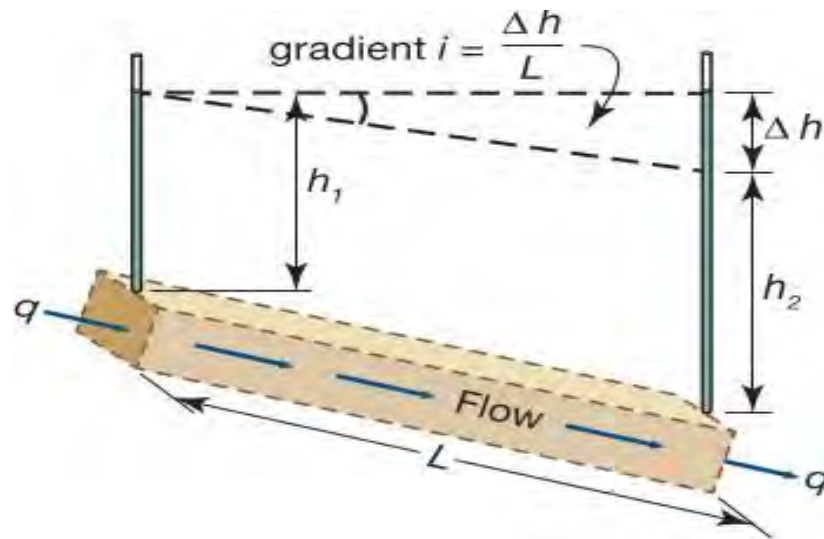
A = Área transversal normal a la dirección del flujo

L = Longitud del recorrido de filtración

i = Gradiente hidráulico = $\Delta h/L$

v = Velocidad de descarga = ki

Figura 11. Esquema de la ley de Darcy.



Nota. La figura 11 muestra un esquema que ilustra el principio de la ley de Darcy, en el cual una muestra prismática de suelo es sometida a una carga hidráulica mayor en un extremo y a una carga menor en el extremo opuesto. Esta diferencia de energía genera el flujo de agua a través del suelo, el cual ocurre a una tasa directamente proporcional al gradiente hidráulico. Adaptado de FEMA (2015).

Las limitaciones de la ley de Darcy radican en que su aplicación es válida únicamente para flujos laminares y en estado estacionario, que se desarrollan en suelos saturados y homogéneos. Asimismo, esta ley no resulta adecuada para describir el flujo de agua a través de discontinuidades o defectos, tales como grietas, fracturas o juntas en macizos rocosos, donde el régimen de flujo difiere del comportamiento en medios porosos continuos (FEMA, 2015).

2.2.5.1.2. Conductividad hidráulica

De acuerdo con la ley de Darcy, el caudal de filtración mantiene una relación directa con el gradiente hidráulico, siendo la constante de proporcionalidad la conductividad hidráulica, también denominada permeabilidad. Esta propiedad representa la capacidad del suelo para permitir el paso del agua a través de sus vacíos. Los materiales con mayor permeabilidad facilitan un mayor flujo bajo un mismo gradiente hidráulico, en comparación con aquellos de baja permeabilidad. En ingeniería geotécnica, la permeabilidad es una de las propiedades que presenta mayor variabilidad, ya que depende de factores como la granulometría, estructura y estado del suelo (AECOM, 2021).

Tabla 3. Rangos típicos de permeabilidad según el tipo de suelo

Tipo de suelo	Permeabilidad, k (cm/s)
Arcillas	1×10^{-7} a 1×10^{-9}
Arenas muy finas, limos, mezclas de arena, limo y arcilla	1×10^{-7} a 1×10^{-3}
Arena limpia, mezclas limpias de arena y grava	1×10^{-3} a 1
Grava limpia	1 a 1×10^2

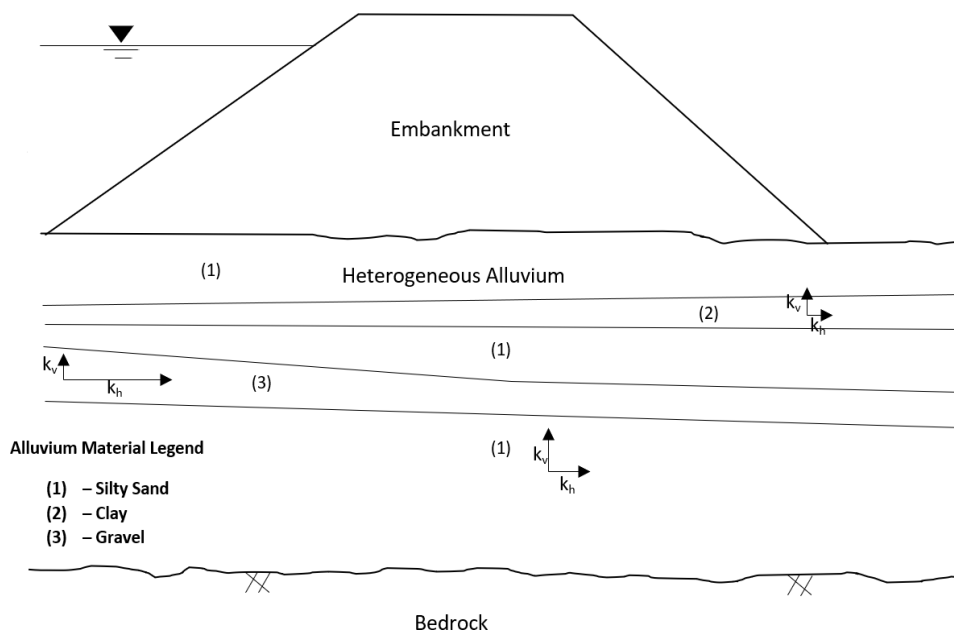
Nota. En la tabla 3 se muestran los valores típicos de permeabilidad para distintos tipos de suelo, las cuales deben utilizarse únicamente como una guía comparativa preliminar y no como valores directos para el análisis cuantitativo de filtraciones. Estos valores fueron adaptados de Cedergren (1989).

Los principales factores que influyen en la permeabilidad del suelo son:

- Granulometría del suelo
- Estructura del suelo
- Densidad del suelo
- Presencia de discontinuidades y/o estratificaciones
- Viscosidad del fluido (pero normalmente en presas se almacena agua)

La permeabilidad del suelo puede presentar un comportamiento heterogéneo, es decir, variar espacialmente dentro del material, así como ser anisotrópica, cambiando según la dirección del flujo. Por ejemplo, los suelos arcillosos suelen mostrar baja permeabilidad; sin embargo, la presencia de fisuras o grietas por desecación puede generar trayectorias preferenciales para el paso del agua. Asimismo, en depósitos aluviales es común que la permeabilidad horizontal sea mayor que la vertical, debido a la disposición estratificada del material (AECOM, 2021).

Figura 12. Esquema de cimentación heterogénea y anisotrópica.



Nota. La figura 12 muestra una cimentación aluvial heterogénea ubicada bajo una presa de tierra y sobre un macizo rocoso. Dicha cimentación está compuesta principalmente por arenas limosas, aunque presenta intercalaciones de capas arcillosas y gravas, lo que evidencia su carácter heterogéneo. Asimismo, la capa de grava presenta un comportamiento anisotrópico, ya que su conductividad hidráulica es mayor en sentido horizontal que en el vertical. Adaptados de AECOM (2021).

Adicionalmente, la permeabilidad depende del grado de saturación del suelo, disminuyendo de manera significativa a medida que la saturación se reduce. Si bien existen diversos métodos de laboratorio y de campo para estimar la permeabilidad, la influencia de la heterogeneidad y la anisotropía resulta compleja de identificar y modelar con precisión. Por ello, la selección de valores de permeabilidad debe realizarse considerando órdenes de magnitud, más que valores exactos, para los análisis de filtraciones.

2.2.6. Métodos de análisis de filtración

Existen diversos métodos para el análisis de filtraciones en presas de tierra, que van desde procedimientos gráficos sencillos realizados de forma manual hasta modelos numéricos avanzados implementados mediante programas computacionales. La mayoría de estos métodos se fundamentan en la ley de Darcy y en la resolución de la ecuación de Laplace (AECOM, 2021). Entre los métodos más utilizados para el análisis de filtraciones se incluyen los siguientes:

- Métodos gráficos (redes de flujo y construcción gráfica de la superficie freática).
- Análogos (modelos físicos).
- Modelos numéricos.

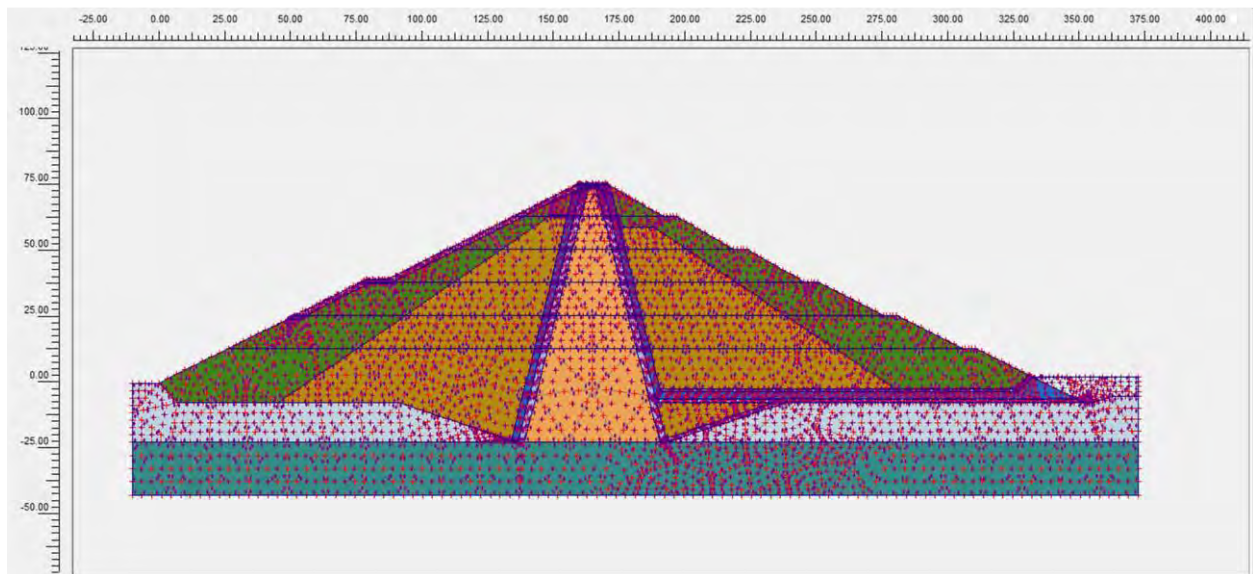
Para esta investigación se optó solamente analizar mediante modelos numéricos (Elementos finitos) que se desarrolla a continuación.

2.2.6.1. Modelos numéricos

El enfoque más utilizado y considerado actualmente como práctica estándar para analizar el comportamiento de las filtraciones en presas de tierra consiste en el empleo de modelos numéricos bidimensionales y tridimensionales, siempre que la complejidad del problema justifique la aplicación de análisis avanzados apoyados en las capacidades de cómputo modernas.

Los modelos numéricos emplean programas computacionales que aplican el método de los elementos finitos para aproximar matemáticamente la ecuación de Laplace bajo condiciones de flujo complejas. En este tipo de modelación, la geometría del sistema se divide en un conjunto de elementos pequeños que conforman una malla, cuyos puntos de intersección se denominan nodos. Estos nodos representan de manera continua el comportamiento del medio en todo el dominio analizado. El modelo resuelve un sistema de ecuaciones que aproxima la ecuación de Laplace; así, si la malla está compuesta por N elementos, se generan N ecuaciones con N incógnitas. La figura 13 muestra un ejemplo de un modelo numérico de filtraciones aplicado a una presa de tierra zonificada.

Figura 13. *Modelo de elementos finitos del terraplén.*



Nota. Tomado de Zewdu (2020).

Los modelos numéricos ofrecen ventajas, entre las cuales destacan las siguientes (AECOM, 2021):

- Permiten una adecuada caracterización de la permeabilidad y el análisis del flujo tanto en suelos saturados como no saturados, superando las limitaciones de las redes de flujo en este aspecto.
- Facilitan el análisis de situaciones complejas, como geometrías irregulares del terraplén o estratigrafías complicadas en la cimentación.
- Hacen posible la simulación de flujos en estado estacionario y transitorio (dependiente del tiempo).
- Permiten abordar problemas en dos y tres dimensiones (2D y 3D).
- Posibilitan una mejor representación de zonas con altos gradientes o velocidades de filtración mediante el ajuste del tamaño de los elementos discretos.
- Admiten la aplicación de diversas condiciones de contorno.
- Generan resultados gráficos que pueden ser verificados visualmente para evaluar su coherencia.
- Proporcionan resultados detallados, como caudales, velocidades, gradientes y presiones, en cualquier punto del dominio modelado.
- Los resultados obtenidos pueden integrarse fácilmente en programas de análisis de estabilidad de taludes.

Algunas limitaciones del modelado numérico incluyen las siguientes:

- La calidad de los resultados depende directamente del conocimiento del modelador, de la correcta definición de los datos de entrada y de su capacidad para interpretar los resultados.
- El uso adecuado de los modelos requiere capacitación y experiencia, a fin de comprender la sensibilidad del sistema ante los distintos parámetros.
- Los modelos numéricos pueden presentar problemas de convergencia durante el proceso de cálculo.

- En muchos casos, los programas pueden ejecutarse sin mostrar errores y generar resultados gráficamente aceptables, pero que carecen de validez física si no son correctamente interpretados y verificados mediante criterios de ingeniería.
- El desarrollo de modelos numéricos puede implicar un consumo considerable de tiempo y costos, especialmente en estudios complejos.

2.2.6.2. Ensayos de trazadores subterráneos

Un trazador puede definirse como una sustancia o forma de energía transportada por el agua subterránea que permite identificar la dirección y velocidad del flujo, así como el posible desplazamiento de contaminantes. Además, la información obtenida mediante trazadores puede emplearse para estimar propiedades hidrogeológicas del acuífero, tales como la permeabilidad, porosidad y dispersividad. Los trazadores pueden clasificarse en naturales y artificiales, siendo estos últimos incorporados de manera controlada o accidental al sistema hídrico (Custodio & Llamas, 1975).

Las sales constituyen uno de los trazadores artificiales más antiguos empleados en ensayos hidrogeológicos. Entre las más utilizadas destacan el cloruro de sodio (NaCl) y el cloruro de potasio (KCl), los cuales se disuelven en agua antes de ser incorporados al acuífero. Su aplicación puede requerir grandes volúmenes de solución, lo que en algunos casos limita su uso. Sin embargo, presentan la ventaja de ser fácilmente detectables y permiten evaluar el comportamiento del flujo subterráneo, aunque pueden interactuar con el terreno dependiendo de las características del suelo (Custodio & Llamas, 1975).

2.2.7. Inestabilidad de taludes de presas

La estabilidad de taludes se define como la capacidad de una pendiente para resistir las fuerzas que tienden a provocar el desplazamiento de los materiales del suelo en sentido descendente. En una presa de tierra, los taludes pueden experimentar movimientos hacia abajo y hacia afuera debido a la acción de la gravedad, produciéndose la inestabilidad cuando las fuerzas actuantes superan a las fuerzas resistentes. De manera general, los taludes aguas arriba de una presa de tierra no deberían ser más empinados que una relación 3H:1V, mientras que los taludes aguas abajo suelen limitarse a 2H:1V. La estabilidad del terraplén puede verse afectada negativamente por la aplicación de cargas excesivas en la corona o los taludes, por variaciones bruscas en el nivel del embalse, por cambios en las presiones de poro, o por la pérdida de material asociada a procesos erosivos, tanto internos (como tubificación o erosión interna) como externos (erosión superficial). Manifestaciones típicas de inestabilidad incluyen deslizamientos, hundimientos, fisuración, asentamientos excesivos y otras deformaciones del cuerpo de la presa (AECOM, 2021).

2.2.7.1. Problemas relacionados con la inestabilidad de taludes

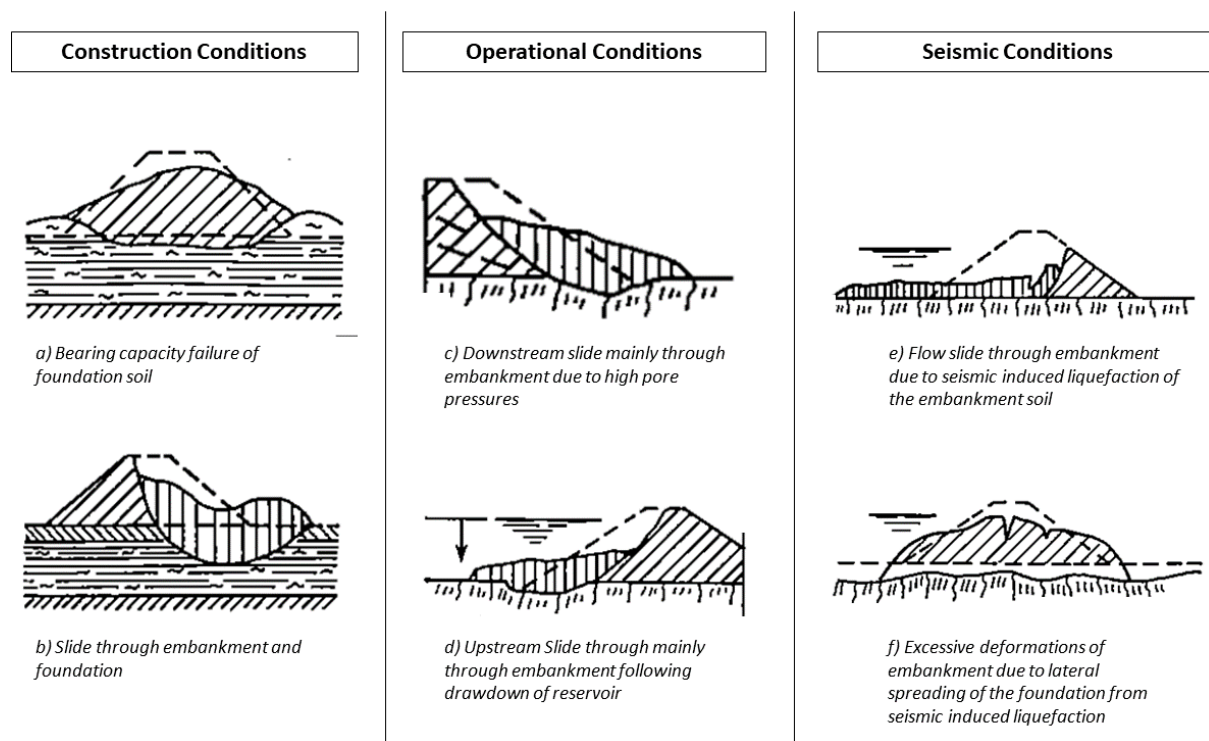
Las fallas por inestabilidad de taludes en presas de tierra son poco frecuentes y representan aproximadamente el 6 % del total de fallas registradas (Foster et al., 2000); sin embargo, cuando ocurren suelen ser repentinas y de carácter catastrófico, presentándose en muchos casos sin señales de advertencia evidentes. Por ello, resulta fundamental evaluar el factor de seguridad frente a la inestabilidad de taludes bajo todas las condiciones de carga previstas mediante análisis adecuados.

El análisis de estabilidad de taludes permite identificar y comprender los mecanismos potenciales de falla, facilitando la definición de los objetivos y el alcance del estudio. En presas

de nueva construcción, la inestabilidad puede presentarse durante la ejecución de la obra si se supera la resistencia del suelo de cimentación o del material del terraplén. En presas existentes, este tipo de falla suele estar asociada a cambios en las condiciones de operación o del entorno, como descensos rápidos del nivel del embalse, eventos de inundación, sismos o variaciones en el régimen de filtraciones y asentamientos, que incrementan las fuerzas actuantes o reducen las fuerzas resistentes (AECOM, 2021).

A continuación, en la figura 14 se presentan los tipos de fallas por inestabilidad de taludes en presas de terraplén.

Figura 14. *Tipos de fallas por inestabilidad de taludes en presas de terraplén.*



Nota. Tomados de Reclamation (1988).

Las fallas por inestabilidad de taludes durante la etapa de construcción o en operación suelen originarse por deficiencias de diseño, mala ejecución constructiva y/o ausencia de medidas correctivas oportunas. En condiciones sísmicas, estas fallas están principalmente asociadas a deformaciones inducidas por el sismo y/o a la pérdida de resistencia del suelo, producto de la licuación en suelos granulares o del ablandamiento cíclico en suelos cohesivos.

Las deformaciones excesivas pueden provocar el sobrevertimiento de la presa, mientras que los asentamientos diferenciales pueden generar grietas transversales que facilitan el paso acelerado del agua a través del terraplén, conduciendo a la falla de la presa por erosión interna o por el incremento de presiones de poros (AECOM, 2021).

2.2.8. Análisis de estabilidad de taludes de presas

El análisis de estabilidad de taludes es un procedimiento computacional que permite evaluar las condiciones de estabilidad de una presa de terraplén mediante la determinación de un factor de seguridad frente al deslizamiento. La estabilidad o inestabilidad de una masa de suelo está controlada por su peso propio, las fuerzas externas que actúan sobre ella y las resistencias al corte y presiones de poros desarrolladas a lo largo de una superficie potencial de falla como se muestra en la figura 15. La superficie de falla es una superficie supuesta a lo largo de la cual puede producirse el deslizamiento cuando las fuerzas que inducen la inestabilidad superan la resistencia al corte del suelo. Si la resistencia al corte disponible a lo largo de dicha superficie es suficiente para mantener el equilibrio, la masa se considera estable; en caso contrario, se considera inestable (AECOM, 2021). En consecuencia, el factor de seguridad frente al deslizamiento se define como la relación entre la resistencia al corte disponible y la resistencia requerida para mantener el equilibrio que se muestra a continuación:

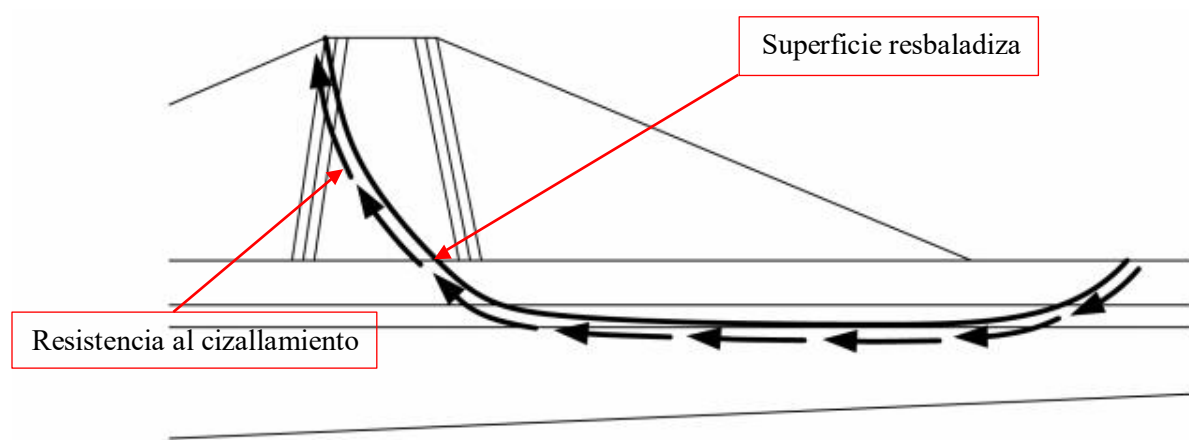
$$FS = \frac{S}{\tau}$$

Donde:

s = Resistencia al cizallamiento disponible

τ = Tensión cortante de equilibrio

Figura 15. *Pendiente del terraplén y superficie de deslizamiento potencial.*



Nota. Adaptado de USACE (2003).

Los resultados del análisis de estabilidad de taludes se emplean para:

- Verificar que los taludes cumplan con los factores de seguridad mínimos exigidos por las entidades reguladoras a nivel nacional y/o regional.
- Evaluar los umbrales de lectura de piezómetros necesarios para garantizar condiciones de estabilidad.
- Diseñar medidas de estabilización de taludes, tales como bermas, contrafuertes o el aplanamiento de taludes.

2.2.9. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Los métodos de equilibrio límite son los más utilizados y aceptados para analizar la estabilidad de taludes en presas de tierra, y normalmente se aplican mediante programas informáticos. Otros enfoques incluyen el método de elementos finitos y el uso de gráficas simplificadas de estabilidad. El avance en la capacidad de cómputo ha consolidado el modelamiento numérico, con geometrías complejas y caracterizaciones detalladas de la resistencia al corte, como el estándar actual de la práctica profesional. En esta investigación se analizará mediante el método de los elementos finitos con el software Plaxis 2D, los procedimientos serán en base a su manual.

2.2.9.1. Método de elementos finitos

El MEF se fundamenta en la idealización de un cuerpo o estructura mediante un conjunto de elementos finitos, conectados entre sí por nodos para conformar el modelo. Las soluciones se obtienen en términos de desplazamientos nodales y esfuerzos promedio en cada elemento. Este enfoque permite considerar distintos comportamientos esfuerzo–deformación, condiciones heterogéneas, geometrías irregulares, condiciones de borde complejas y cargas dependientes del tiempo. Los esfuerzos cortantes calculados se comparan con las resistencias al corte correspondientes para estimar el factor de seguridad a nivel de elemento.

Posteriormente, se evalúa un factor de seguridad promedio a lo largo de una superficie de falla asumida, promediando los valores de los elementos que la conforman. De manera similar, las zonas potencialmente críticas se identifican al vincular aquellos elementos que presentan factores de seguridad bajos (AECOM, 2021).

2.2.10. Factor de seguridad (FS)

El factor de seguridad (FoS) es un criterio de diseño de carácter determinista que establece la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes, permitiendo evaluar el nivel de riesgo de falla de un talud bajo las condiciones más desfavorables del material.

$$FoS = \frac{\text{Fuerzas Resistentes}}{\text{Fuerzas Demandantes}}$$

2.2.10.1. Factor de seguridad estático

El análisis estático se fundamenta en los métodos de equilibrio límite (MEL), los cuales evalúan la condición de estabilidad mediante el balance de fuerzas y momentos de una masa de suelo considerada como cuerpo rígido sobre una superficie potencial de falla. Este enfoque supone que el esfuerzo cortante se distribuye de manera uniforme a lo largo de dicha superficie, debido a que el material se idealiza con un comportamiento rígido–perfectamente plástico. En consecuencia, estos métodos permiten estimar la estabilidad del talud, pero no brindan información sobre deformaciones ni asentamientos asociados al proceso de falla (Martínez et al., 2010).

2.2.10.2. Factor de seguridad pseudoestático

El análisis pseudoestático se emplea para evaluar la influencia de las acciones sísmicas en la estabilidad de taludes, considerando fuerzas inerciales horizontales y verticales proporcionales a la masa del suelo. Estas fuerzas se estiman mediante coeficientes sísmicos horizontal (k_h) y vertical (k_v), y generalmente se aplican en el centro de gravedad de la masa potencialmente deslizando (Terzaghi, 1950).

2.2.11. Criterios del factor de seguridad

La estabilidad analizada de un talud se expresa mediante el factor de seguridad (FS). Un valor de FS mayor que 1 indica que las fuerzas resistentes superan a las fuerzas actuantes. No obstante, debido a las incertidumbres propias del comportamiento y de la caracterización de los materiales que conforman las presas de tierra, la normativa y la buena práctica de ingeniería exigen factores de seguridad mayores que la unidad para las distintas condiciones de carga AECOM (2021). Por ello, es fundamental definir criterios de aceptación del factor de seguridad en los análisis de estabilidad de taludes. Los valores típicos de referencia, basados en las guías de Reclamation (2011) y/o USACE (2003), se presentan en la tabla 4. Cabe señalar que estos criterios pueden variar según la entidad reguladora estatal o federal.

Tabla 4. Criterios típicos del factor de seguridad

Condición de carga		Factor mínimo de seguridad
Durante o al final de la construcción		1.3
Estado estacionario	(Embalse al nivel máximo normal)	1.5
Rápida reducción	Descenso del nivel del embalse desde el nivel máximo normal hasta el nivel inactivo (elevación más baja de la salida)	1.3
	Descenso del nivel del embalse desde el nivel de crecida de diseño de entrada (IDF) hasta el nivel inactivo (elevación más baja de la salida)	1.1
	Reducción del nivel del embalse desde el nivel mínimo de funcionamiento del IDF hasta el nivel mínimo operativo (nivel máximo normal del embalse)	1.2
Inundación	(Embalse al nivel de la piscina IDF)	1.2 / 1.4 (1)
Después del sismo		1.2 to 1.3 (2)

Nota. Condiciones de factores de seguridad adoptados de las guías de Reclamation (1988) y del USACE (2003).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Elementos Finitos

El método de los elementos finitos es una técnica numérica de análisis que discretiza un dominio continuo en un conjunto de elementos pequeños interconectados mediante nodos, permitiendo resolver problemas complejos de esfuerzos, deformaciones y flujo en medios geotécnicos e hidráulicos.

PLAXIS 2D

PLAXIS 2D es un software especializado en mecánica de suelos y geotecnia, basado en el método de elementos finitos, que permite analizar el comportamiento de estructuras de tierra y cimentaciones en condiciones estáticas, dinámicas e hidráulicas, incluyendo deformaciones, estabilidad y presiones de poro.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, dado que busca emplear conocimientos científicos y técnicos en la solución de un problema específico relacionado con las filtraciones internas y estabilidad de taludes de una presa de tierra preexistente. La investigación aplicada “se caracteriza por utilizar los conocimientos existentes para resolver problemas prácticos y mejorar procesos o estructuras existentes” (Hernández et al., 2014).

3.1.2. Enfoque de investigación

El estudio adopta un enfoque mixto, ya que se fundamenta en la obtención de datos numéricos y características a través de simulaciones computacionales y su posterior análisis estadístico. El enfoque cuantitativo “utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis previamente establecidas” (Sampieri, 2018).

3.1.3. Método de investigación

El estudio adopta el enfoque hipotético-deductivo, entendido como aquel en el que “a partir de principios teóricos se formulan hipótesis que posteriormente deben someterse a verificación” (Hernández et al., 2014). Desde los fundamentos del comportamiento geotécnico e hidráulico de presas de tierra y del uso de geosintéticos, se deducen hipótesis relacionadas con el efecto de la incorporación de geosintéticos en la estabilidad de taludes y en las filtraciones internas de la presa Qochaqocha.

3.1.4. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación es de tipo descriptivo-explicativo, ya que se busca describir el efecto en la estabilidad de taludes y en las filtraciones internas de la presa de tierra Qochaqocha como consecuencia de la incorporación de geosintéticos. La investigación explicativa pretende identificar las causas de los fenómenos y explicar la relación existente entre las variables analizadas (Hernández et al., 2014).

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se manipulan directamente las condiciones reales del fenómeno en campo, sino que se analizan mediante la simulación de escenarios en un entorno virtual. En este sentido, se evalúan dos condiciones: escenario sin incorporación de geosintéticos y escenario con incorporación de geosintéticos, con el fin de analizar sus efectos sobre las variables dependientes, como la estabilidad de taludes y las filtraciones internas. El uso del software Plaxis 2D permite reproducir el comportamiento del sistema bajo condiciones controladas, sin intervenir físicamente en la realidad.

El método no experimental se caracteriza por observar y analizar los fenómenos tal como se presentan, sin manipulación directa de las variables en el entorno real; sin embargo, en este estudio se emplea la simulación numérica como herramienta para representar y evaluar el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones (Tamayo y Tamayo, 2004).

Asimismo, el estudio es de corte transversal, ya que la información y los resultados se obtienen en un único periodo temporal para cada escenario de simulación (Sampieri, 2018).

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

La población está constituida por la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco. Este cuerpo de presa representa el objeto de estudio sobre el cual se pretende evaluar el efecto de incorporar geosintéticos en la estabilidad de taludes y filtraciones internas. La población “es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández et al., 2014).

3.3.2. Muestra

La muestra corresponde a la sección representativa del cuerpo de la presa, seleccionada para el análisis numérico en el software Plaxis 2D. Se considera la sección central y la sección crítica de la estructura, por ser el sector más crítico en términos de esfuerzos, deformaciones y filtraciones. La muestra “es una parte del universo o población que se selecciona con el propósito de hacer inferencias acerca de la población” (Kerlinger & Lee, 2002).

3.3.3. Muestreo

El tipo de muestreo empleado es no probabilístico por conveniencia, dado que la selección de la sección central de la presa responde a criterios técnicos y de factibilidad de modelación numérica. Este enfoque permite representar las condiciones más desfavorables del comportamiento estructural e hidráulico. El muestreo no probabilístico se aplica “cuando los elementos se eligen por las características del fenómeno o la conveniencia del investigador” (Sampieri, 2018).

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN

En esta investigación, las técnicas e instrumentos empleados se orientan a la obtención de datos primarios, provenientes de investigaciones in situ y ensayos de laboratorio; de datos secundarios, recopilados de fichas técnicas y expedientes técnicos existentes; así como a la generación de datos simulados mediante el uso del software especializado Plaxis 2D para la evaluación del efecto de la incorporación de geosintéticos en la estabilidad de taludes y filtraciones internas de la presa Qochaqocha.

3.4.1. Técnicas

Las técnicas utilizadas para la medición de las variables fueron:

3.4.1.1. Observación estructurada

Según Hernández et al. (2014), la observación estructurada “implica el registro sistemático y objetivo de los fenómenos tal como ocurren, mediante criterios y categorías definidos previamente”, lo cual garantiza la obtención de datos válidos y verificables para el análisis científico. Esta técnica se aplicó para la caracterización del objeto de estudio (presa Qochaqocha), así como también para la evaluación de las variables.

3.4.1.2. Revisión documental

Según Tamayo y Tamayo (2004), la revisión documental “consiste en el análisis sistemático de fuentes bibliográficas o documentales con el fin de obtener antecedentes relevantes para la investigación”. En esta investigación, dicha técnica permitió recopilar y analizar la información necesaria para evaluar las variables. Las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los geosintéticos fueron obtenidos a partir de fichas técnicas del fabricante; la geometría de la estructura de la presa Qochaqocha se extrajo del expediente técnico de su construcción. Esta revisión garantizó la validez y confiabilidad de los datos utilizados en la modelación y análisis.

3.4.2. Instrumentos

3.4.2.1. Ficha de escenarios de análisis

Para la evaluación de la variable independiente se definieron cuatro escenarios de análisis como se muestra a continuación.

Tabla 5. *Ficha de escenarios de análisis.*

FICHA DE ESCENARIOS DE ANALISIS

VARIABLE INDEPENDIENTE		A1. INCORPORACION DE GEOSINTETICOS	
INDICADORES		A.1.1. SIN GEOSINTETICOS = 0	A.1.2. CON GEOSINTETICOS = 1
SECCION TIPICA	ESCENARIO-01	X	
	ESCENARIO-02		X
SECCION CRITICA	ESCENARIO-03	X	
	ESCENARIO-04		X

Nota. Estos 4 escenarios fueron analizados en el software Plaxis 2D para la investigación.

3.4.2.2. Ficha de registro de datos

Ambos escenarios fueron simulados y analizados mediante el software Plaxis 2D. A partir de dichas simulaciones se registraron los resultados correspondientes a los factores de seguridad y caudales de filtración en una ficha de recopilación de datos, la cual permitió su posterior análisis e interpretación. A continuación, se presenta la ficha empleada para el registro de los datos obtenidos en el software Plaxis 2D.

Tabla 6. *Ficha de registro de datos.*

FICHA DE REGISTRO DE DATOS				
VARIABLE DEPENDIENTE		B1. ESTABILIDAD DE TALUDES		B2. FILTRACIONES INTERNAS
INDICADORES		B1.1. FACTOR DE SEGURIDAD ESTATICO	B1.2. FACTOR DE SEGURIDAD PSEUDOESTATICO	B2.1. CAUDAL DE FILTRACION (Lt/s)
SECCION TIPICA	ESCENARIO-01			
	ESCENARIO-02			
SECCION CRITICA	ESCENARIO-03			
	ESCENARIO-04			

Nota. Esta ficha se utilizó para el llenado de los datos del análisis.

3.4.3. Recursos

- Plaxis 2D. Para la modelación y análisis numérico de la estabilidad de taludes y filtraciones internas de la presa Qochaqocha.
- AutoCAD. Para el diseño estratégico con y sin la incorporación de geosintéticos de la presa Qochaqocha.
- Microsoft Excel. Para el procesamiento y análisis comparativo de los resultados obtenidos.
- ArcGIS Pro. Para la elaboración de mapas.

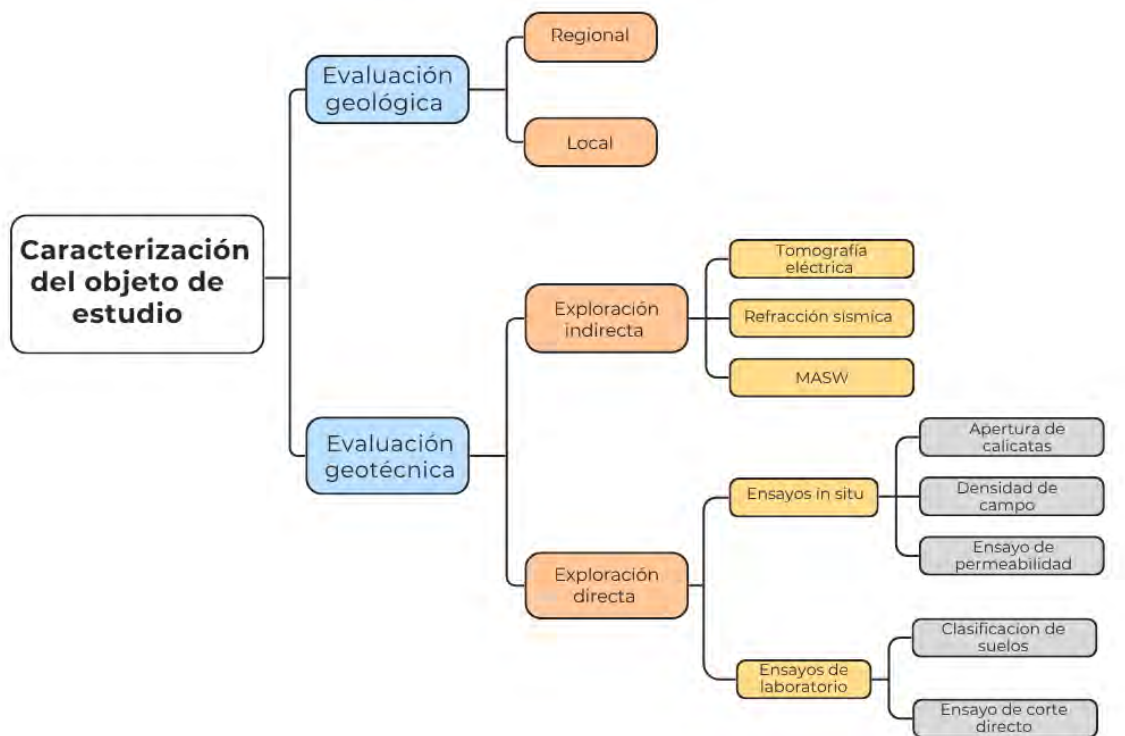
3.5. PROCESO DE TOMA DE DATOS

El proceso de toma de datos comprende la caracterización del objeto de estudio y los procedimientos de la medición de las variables que serán abordados de manera detallada.

3.5.1. Caracterización del objeto de estudio

Esta etapa comprende la caracterización integral del objeto de estudio, para lo cual se desarrollaron las investigaciones necesarias tanto in situ como en laboratorio, con el fin de identificar las condiciones actuales de la presa Qochaqocha. A partir de la información obtenida, se procedieron la elaboración del modelo representativo de la presa y su entorno. Para ello, se realizaron evaluaciones de carácter geológico, geotécnico e hidráulico, las cuales permiten sustentar el análisis posterior, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 16. Esquema de la caracterización de la presa Qochaqocha.



3.5.1.1. Ubicación de la presa Qochaqocha

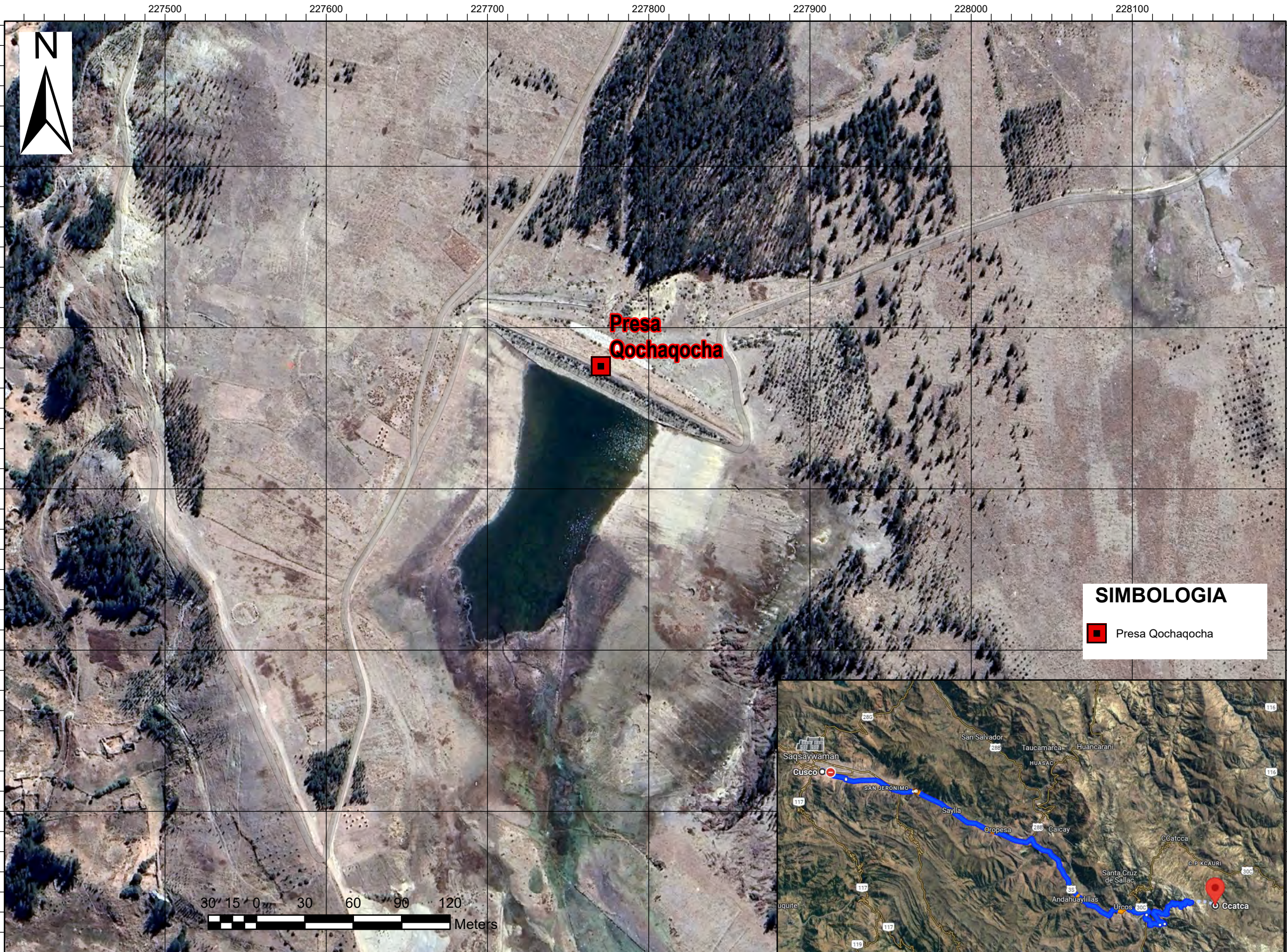
3.5.1.1.1. Ubicación política

- Departamento: Cusco
- Provincia: Quispicanchi
- Distrito: Urcos
- Comunidad: Ccatacamara

3.5.1.1.2. Ubicación geográfica

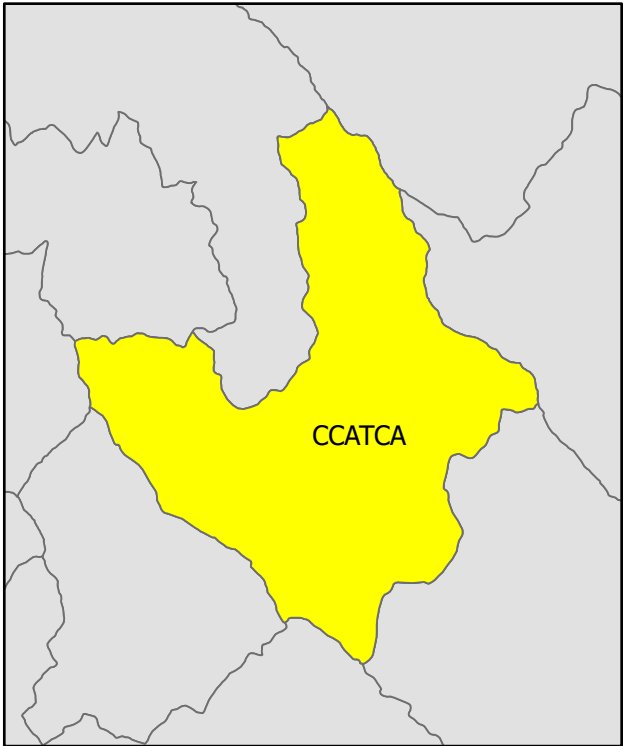
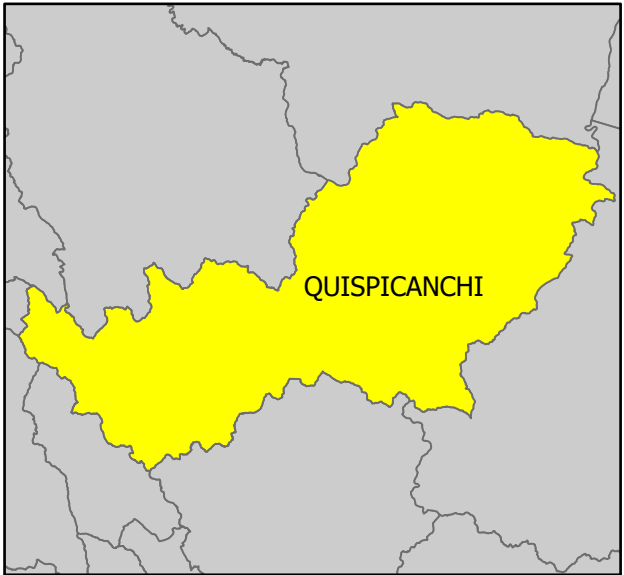
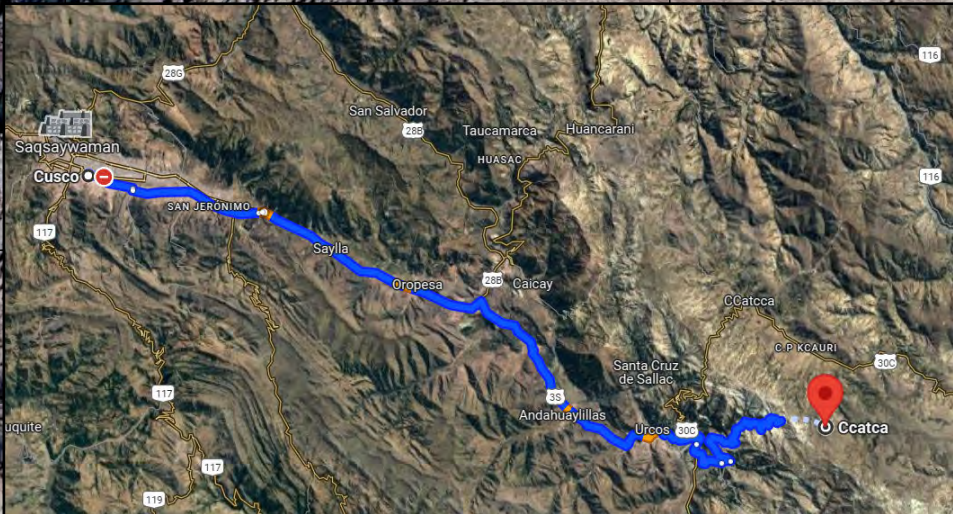
- Datum: WGS 084
- Zona: 19L
- Norte: 8486166.6
- Este: 227765.95
- Altitud: 4180 m

La ubicación del objeto de estudio se muestra a continuación en el siguiente plano 01.



SIMBOLOGIA

 Presa Qochaqocha



	REALIZADO POR: - Br. Ronald Cutipa Apaza - Br. Washington Rubén Parque Choquetocro
	REVISADO POR: Dra. Josefina Escalante Gutierrez
	FECHA: Noviembre, 2024
	ESCALA: 1/2500
	ACOTACIONES: Metros

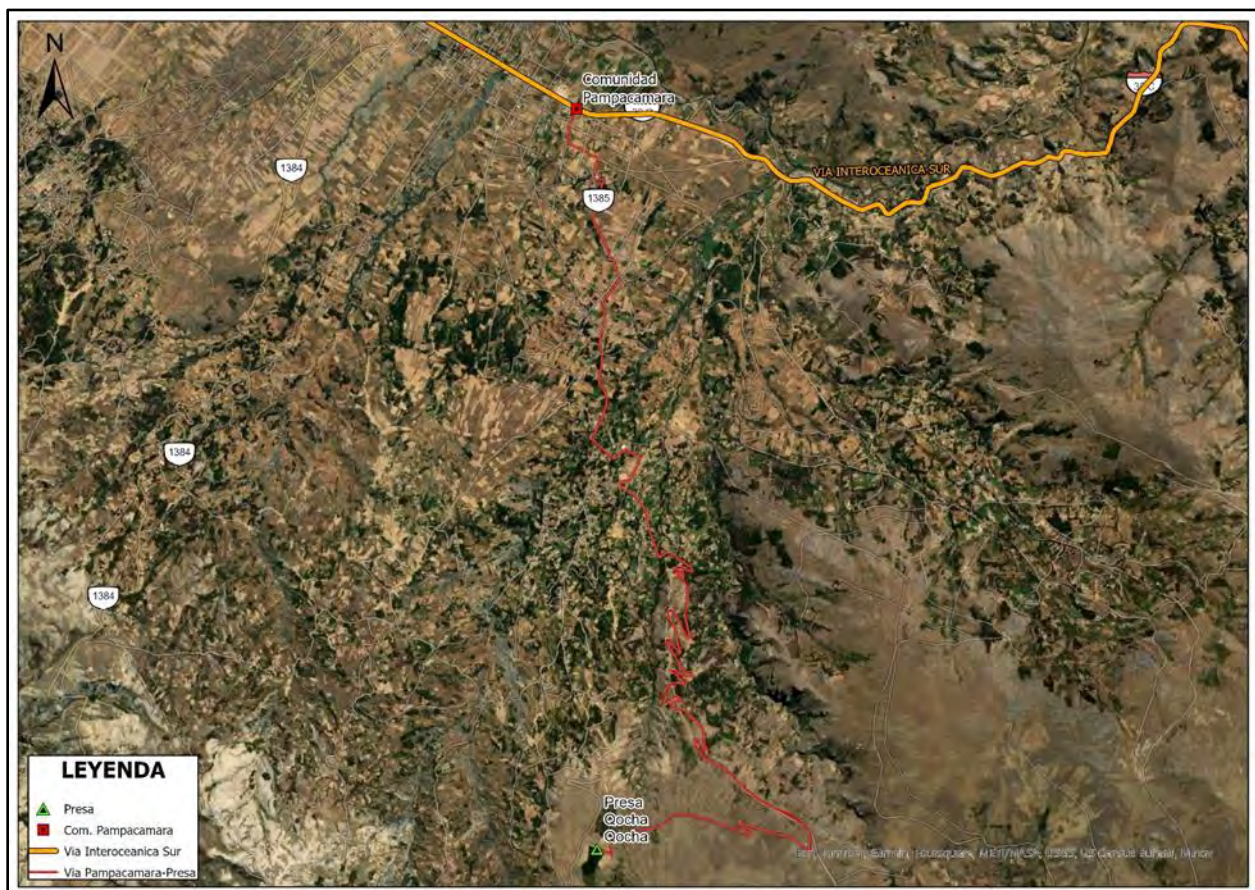
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA , MINAS Y METALURGÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
PLANO: UBICACIÓN DE LA PRESA QOCHAQOCHA	PLANO N°: 01

NOMBRE DEL PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO - 2024"

3.5.1.2. Accesibilidad

A la zona de estudio se accede por vía terrestre, se parte desde Cusco hasta Urcos por carretera asfaltada (50 km), seguidamente desde Urcos se toma movilidad hacia la comunidad de Pampacamara por la Vía Interoceánica Sur aproximadamente 35 km en un tiempo de 45 min. Desde la comunidad se toma la ruta hacia la presa Qochaqocha por la carretera trocha carrozable aproximadamente 15 km como se observa en la figura 17.

Figura 17. Acceso a la presa Qochaqocha desde la Vía Interoceánica Sur.



3.5.1.3. Clima de la zona de emplazamiento

En la zona el clima se caracteriza por una temporada de lluvias nublada y una temporada seca parcialmente nublada, manteniendo temperaturas frescas todo el año. Las temperaturas oscilan generalmente entre -3 °C y 15 °C, con extremos ocasionales de -5 °C y 19 °C. La temporada cálida dura de octubre a noviembre, alcanzando en noviembre temperaturas máximas promedio de 15 °C y mínimas de 4 °C. La temporada fría, entre enero y marzo, tiene temperaturas máximas promedio inferiores a 14 °C, siendo julio el mes más frío, con mínimas promedio de -2 °C.

La nubosidad varía significativamente a lo largo del año. El periodo más despejado comienza en mayo y termina en septiembre, siendo julio el mes más claro, con cielos mayormente despejados el 55 % del tiempo. En contraste, la temporada más nublada va de septiembre a mayo, con enero como el mes más nublado (95 % de cielos cubiertos).

En cuanto a precipitaciones, la temporada lluviosa se extiende de noviembre a marzo, siendo enero el mes con más días de lluvia (15.9 días con al menos 1 mm). La temporada seca, de abril a noviembre, tiene agosto como el mes más seco (1.6 días de lluvia). La lluvia es el tipo de precipitación predominante, alcanzando su máxima frecuencia en enero, con un 53 % de probabilidad de ocurrencia en días específicos (SENAMHI).

3.5.1.4. Evaluación geológica de la zona de emplazamiento de la presa

La evaluación geológica tuvo como finalidad determinar la litología y las estructuras geológicas que influyen en el comportamiento estructural de la zona de emplazamiento de la presa Qochaqocha. Para ello, se realizó inicialmente una evaluación a nivel regional, seguida de un análisis a nivel local y, finalmente, se elaboró un modelo geológico representativo de la zona de emplazamiento de la presa.

3.5.1.4.1. Unidades litoestratigráficas regionales

Paleozoico

Formación Ananea (SD-a): Siluro-Devónico

La formación pasa de forma concordante y de manera progresiva a la Formación Ccatca del Devónico Superior. Esta formación está compuesta de pizarras y esquistos pizarrosos de grises a negros, algunos presentan intercalaciones de bancos pequeños de cuarcitas de 5 cm a 20 cm de espesor. Tiene un espesor aproximadamente de 1500 m, estas rocas se encuentran fuertemente deformadas y con esquistosidades (INGEMMET).

Grupo Cabanillas (D-c): Devónico

El Grupo Cabanillas que aflora al noreste de la provincia del Cusco, específicamente en las zonas altas de San Jerónimo, cerca del abra que sigue el camino al santuario del Señor de Huanca. El cual el afloramiento es limitado y se encuentra en áreas reducidas, dividiendo las cuencas de los ríos Vilcanota y Huatanay. La litoestratigrafía está compuesta principalmente por materiales pelíticos en la parte inferior, con intercalaciones de areniscas en la parte superior. Los materiales pelíticos incluyen lutitas de tonalidades grises oscuras y limonitas carbonáceas, caracterizadas por

su dureza y por presentar estratos de espesores medianos. Las intercalaciones también se identifican dentro de las limolitas de arcilla no calcárea de color gris claro y las lutitas grisáceas ubicadas en capas estratigráficas delgadas (INGEMMET).

Cenozoico

Formación San Sebastián (Qp-ss): Pleistoceno

Definida por Gregory (1916), se presenta en la depresión de Ccatca como sedimentos esencialmente fluvio-lacustres que presenta un espesor de hasta 70 m.

Depósitos Fluvioglacial (Q-glfl)

Están formados por la erosión de los depósitos morrenicos compuestos por gravas semiredondeadas con una matriz de arenas, limos semiconsolidados, con presencia de bloques rocosos de varios centímetros de grosor (INGEMMET).

3.5.1.4.2. Unidades morfoestructurales regionales

La zona de estudio se ubica en el dominio estructural de la Cordillera Oriental del cuadrante I, del cuadrángulo geológico de Cusco 28s.

Cordillera oriental

Presenta anticlinales y sinclinales con una dirección NO-SE y también fallas de la misma dirección con una vergencia SO que afectan a las pizarras de la Formación Ananea, y también a las cuarcitas de la Formación Ccatca. La cordillera oriental está controlada por la parte sureste por la falla Urcos de dirección NO-SE, de este modo lo pone en contacto con la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental, haciendo aparecer hacia noreste las fallas Pitucancha, Ccatca-

Ocongate y Churo, todas de dirección NO-SE y en general inversas como se muestra en el mapa geológico regional. Los pliegues de dirección NO-SE afectan a las formaciones de Ananea y Ccatca en grandes kilómetros asociados a una esquistosidad de plano axial S1.

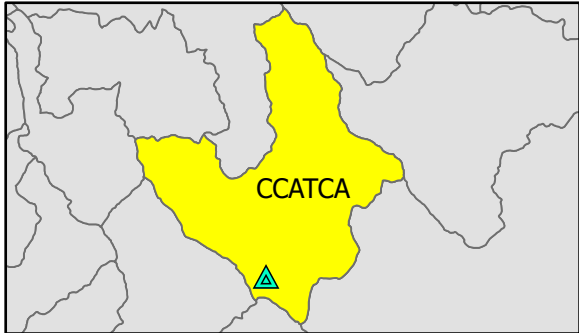
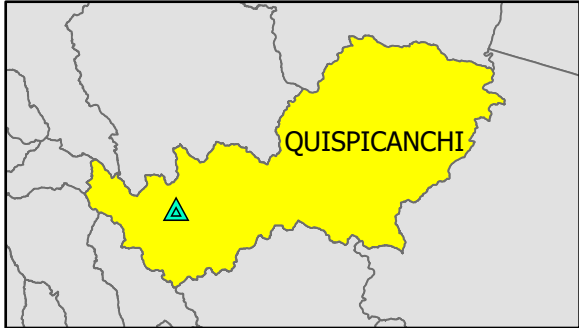
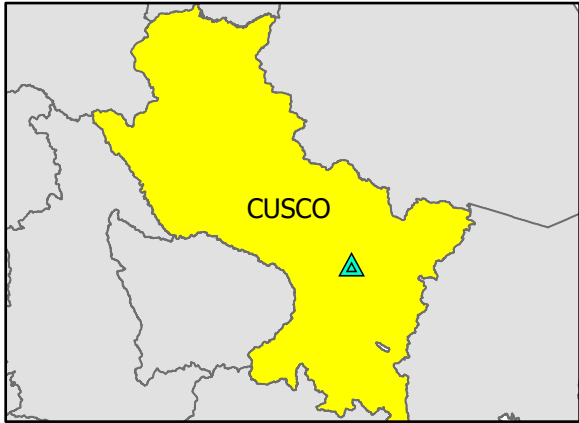
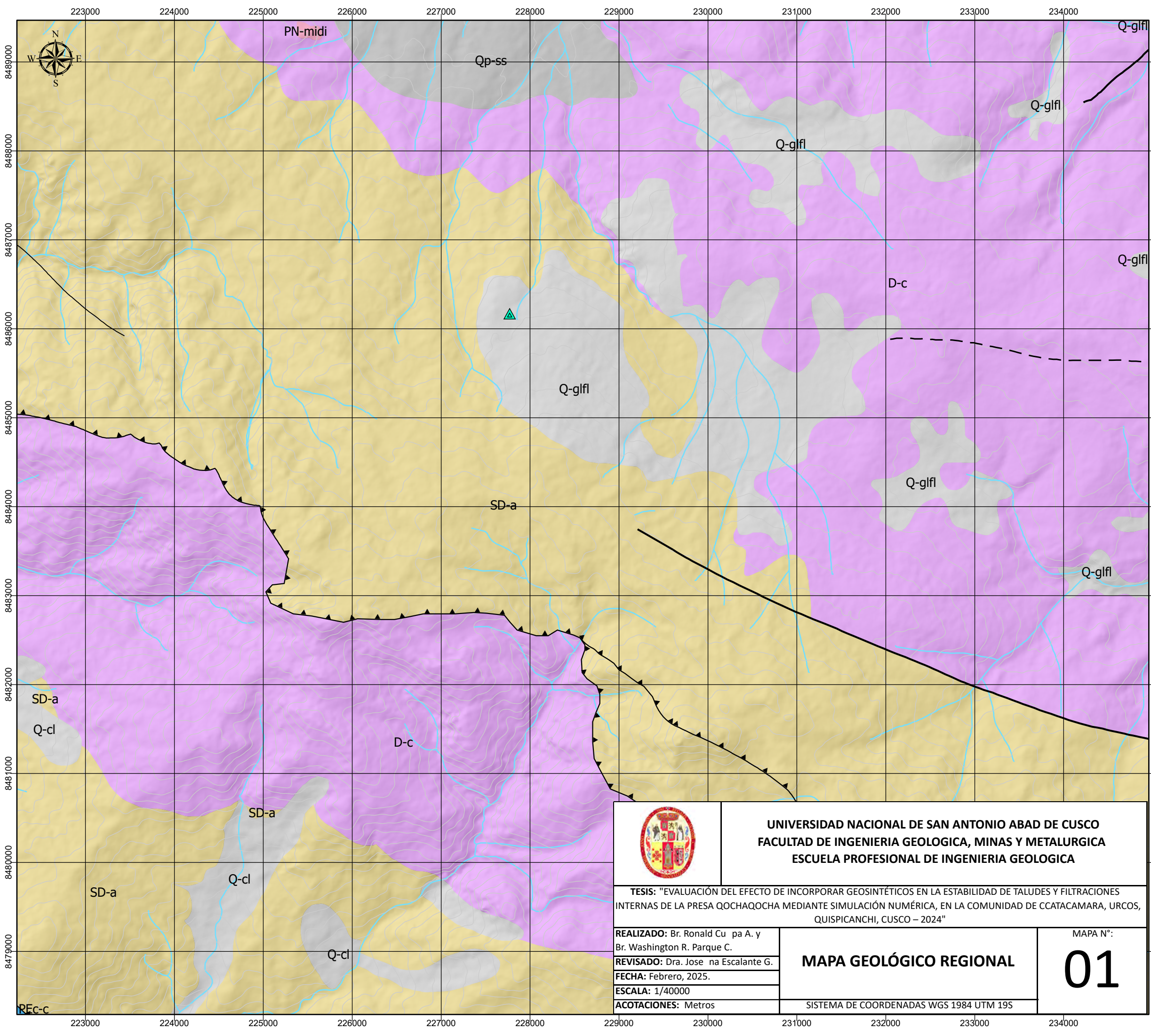
Falla Urcos

La falla Urcos está ubicada entre la localidad de Huambutio al NO y Urcos al SE. Presenta una dirección de NO-SE y limita las rocas Paleozoicas de la Formación Ananea con rocas de meso-cenozoicas con el límite Altiplano-Cordillera oriental.

Falla Ccatca-Ocongate

La falla Ccatca-Ocongate está localizado en plena cordillera oriental, que actúa como límite norte de la cuenca pliocuaternaria de Ccatca. Esta falla es producto de la activación sobre una falla antigua, tiene un segmento de más de 10 km de longitud, con una dirección NO-SE con un buzamiento de 50 a 70° S. La falla muestra una escarpa antigua cuaternaria posiblemente de más de 20 m de desplazamiento normal.

A continuación, se muestra el mapa geológico regional:



LEYENDA

Grupo Cabanillas

Deposito glaciar, fluvial

Formación San Sebastián

Formación Ananea

D-c

Q-glfl

Qp-ss

SD-a

SIMBOLOS

Presa Qochaqocha

Curvas de Nivel

Rios

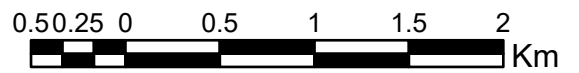
Fallas

Flechas

Falla normal

Falla inferida

Falla inversa



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

REALIZADO: Br. Ronald Cu pa A. y
Br. Washington R. Parque C.
REVISADO: Dra. Jose na Escalante G.
FECHA: Febrero, 2025.
ESCALA: 1/40000
ACOTACIONES: Metros

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS WGS 1984 UTM 19S

MAPA N°:

01

3.5.1.4.3. Unidades litoestratigráficas locales

El mapeo geológico local realizado en el lugar de estudio se ha elaborado teniendo como base la Geología del cuadrángulo de Cusco 28-S (Carlotto et al., 2011). A una escala cartográfica de 1:50.000, el entorno geológico se caracteriza por litologías metamórficas paleozoicas, cubiertas posteriormente por depósitos sedimentarios cuaternarios. Al elaborar el mapa geológico local, se hicieron esfuerzos para analizar las imágenes de satélite junto con las observaciones empíricas sobre el terreno. En el lugar de estudio los afloramientos de rocas están muy fracturadas y plegadas, por la incidencia de fallas cercanos a la presa, los cuales según (Carlotto et al., 2011), son estructuras influyentes para que las unidades identificadas en la zona se encuentren muy fracturadas.

Formación Ccatca (Ds-cat)

En la zona de estudio se identificó una secuencia de cuarcitas y pizarras alrededor de la presa, asimismo se tienen afloramientos de diamictitas y cuarcitas que bibliográficamente subrayasen a la formación Ananea. Los niveles de cuarcitas se encuentran fuertemente fracturadas por el tectonismo que se dio en la zona, en la base, lado SW se presentan intercalados con potencias que van de 10cm a 1m, a medida que la secuencia se extienda NE su potencia aumenta considerablemente hasta de 15m. Los niveles de pizarras se encuentran fracturas y plegadas en algunas partes, algunos niveles presentan mica moscovita producto del metamorfismo regional de las rocas del Paleozoico. Las diamictitas que afloran en la zona son masivas soportadas por una matriz en la zona, presentan bloques sub redondeados y angulosos de pizarras y areniscas.

Figura 18. *Diamictitas identificadas en la zona de estudio. según datos bibliográficos corresponden a la formación Ccatca (Devónico Superior).*



Figura 19. *Niveles de pizarras de la Formación Ccatca.*



Figura 20. *Cuarcitas de la Formación Ccatca.*

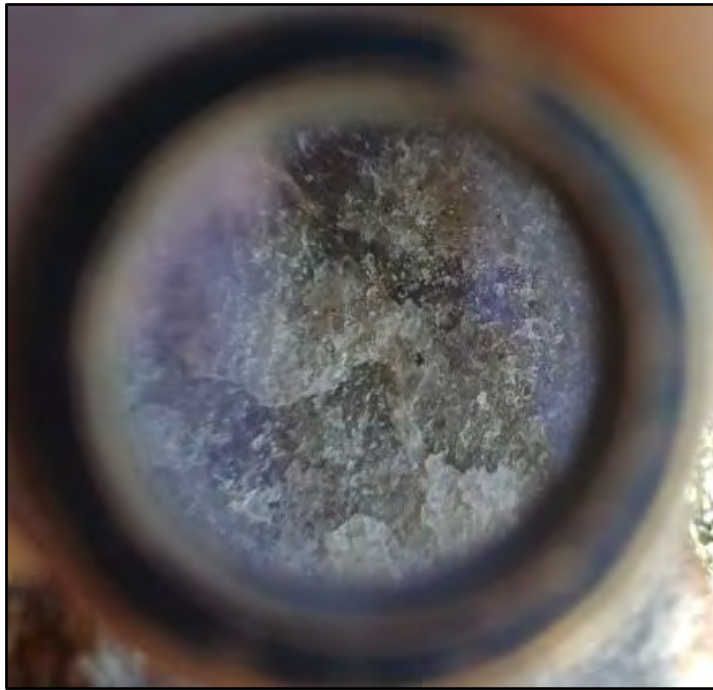
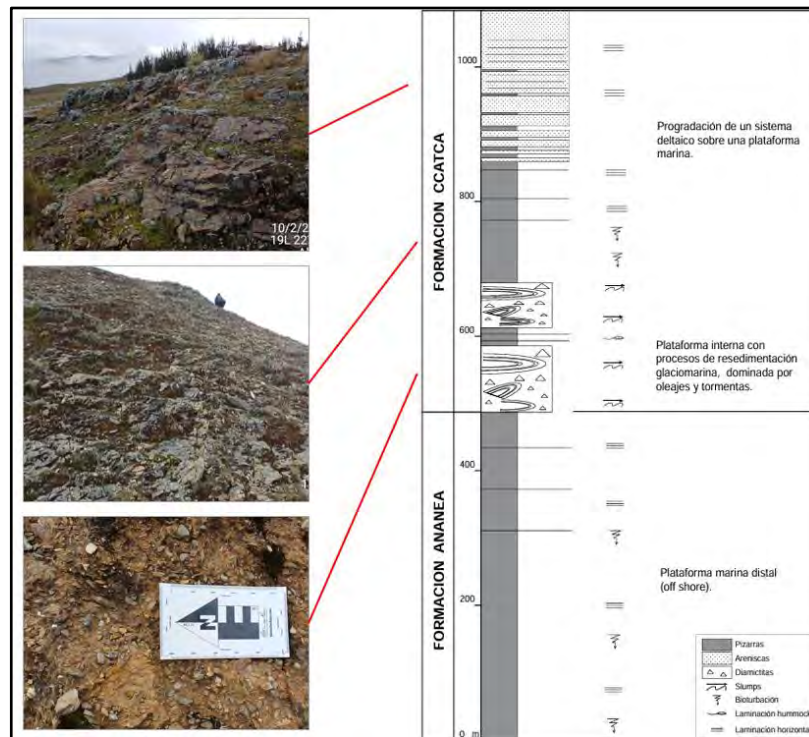


Figura 21. *Estratos de cuarcitas de la Formación Ccatca.*



Figura 22. Columna estratigráfica de las Formaciones Ananea y Ccatca levantada en el cerro Apachetapata.



Nota. Adaptado de Carlotto et al. (2011).

Depósitos Coluviales (Qh-co)

Son producto de alteración, denudación y erosión su tamaño va desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Estos depósitos se ubican en superficies topográficas amplias. Los coluviales no presentan un espesor apreciable. Corresponde a una acumulación local y que se formó en la cabecera de la cuenca. Son materiales transportados por gravedad, y algunas veces por la acción del agua. En el lugar de estudio conforman la gran parte del área.

Figura 23. *Depósitos coluviales de la zona de estudio.*



Figura 24. *Depósitos coluviales que subyace las pizarras de la Formación Ccatca.*



Depósitos Eluviales (Q-el)

Estos depósitos sedimentarios se encuentran en los terrenos planos e inclinados de la cordillera de la Formacion Ccatca. Estos depósitos presentan una consolidación inadecuada, ya que consisten en acumulaciones de grava, arena y limo; debido a los extensos procesos de erosión, su transporte es mínimo y conservan la integridad estructural de los materiales precursores, que, en este contexto, incluyen cuarcitas, pizarras y ciertas diamictitas.

Figura 25. *Depósitos eluviales poco consolidados.*



Depósitos de Bofedales (Qh-bo)

Son depósitos que se encuentran en la cabecera de la presa, se ubica en las nacientes de los manantes. Se caracterizan en la zona principalmente por ser reservorio natural de agua, está constituido por depósitos de limos, arenas, arcillas y altamente saturadas con agua.

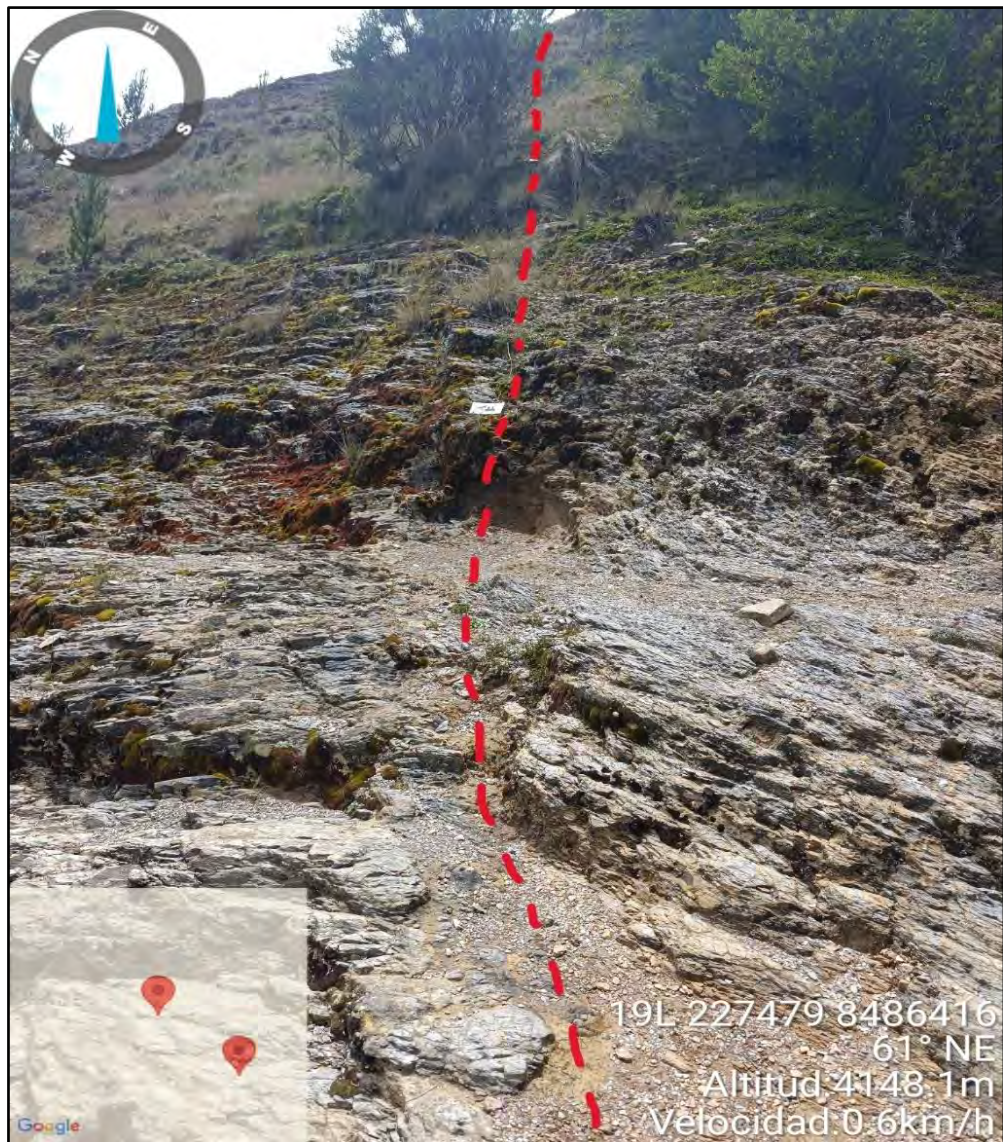
Figura 26. *Depósitos bofedales producto de los manantes que lo alimentan la presa.*

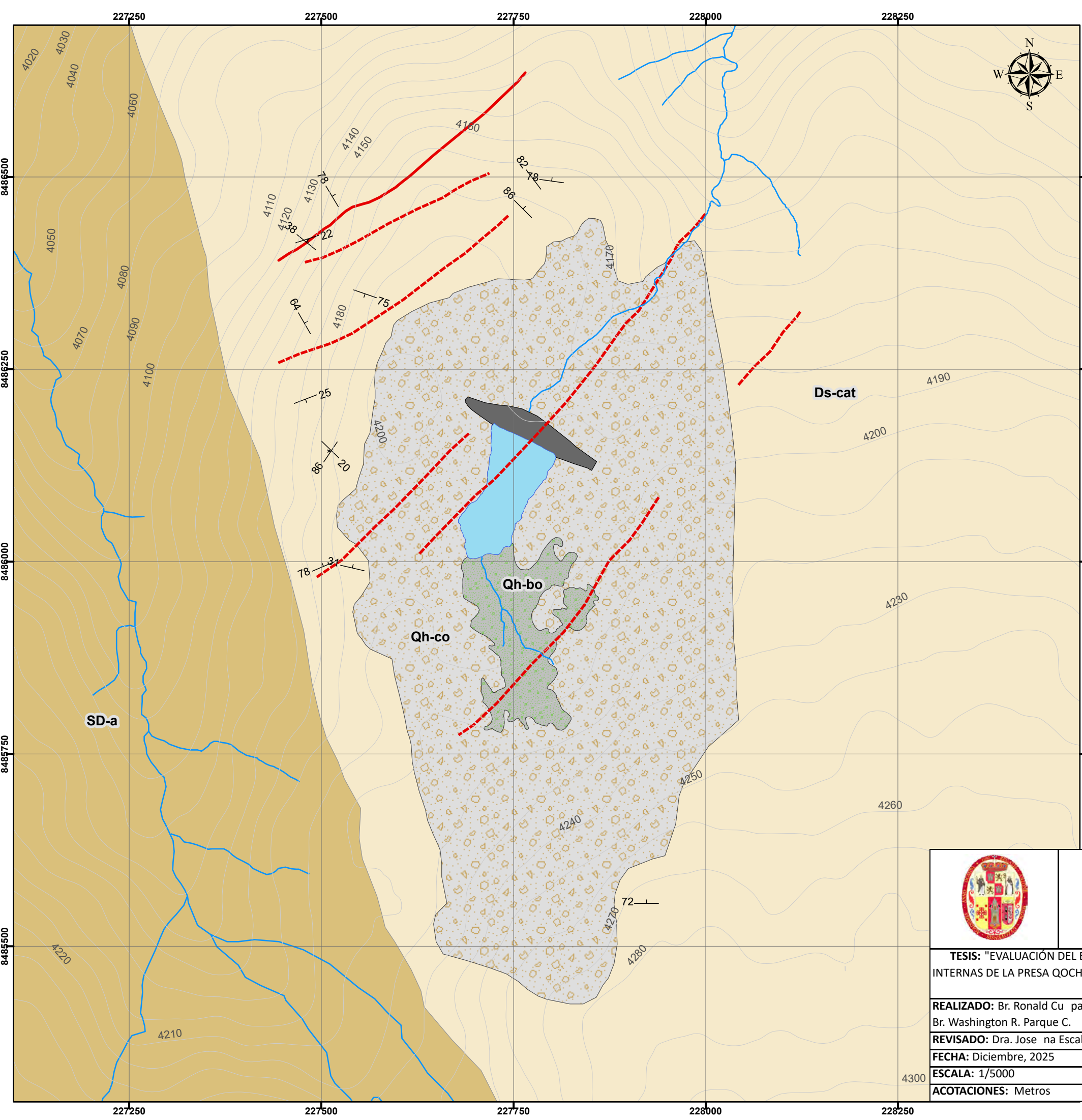


3.5.1.4.4. Estructuras locales

En el lugar de estudio se identificó una falla con material intersticial (Gouch), la cobertura de material cuaternario y la meteorización de los niveles pizarrosos fueron un impedimento para identificar la dirección de movimiento de la falla. La falla tiene una dirección norte 234° y buzamiento 78° NE, el flanco derecho de la fotografía tiene una dirección norte 309° y buzamiento 38° NE, el flanco izquierdo tiene una dirección norte 72° y buzamiento de 22° SE.

Figura 27. *Falla local encontrada en la zona noroeste de la presa Qochaqocha.*





LEYENDA

Unidades litoestratigráficas

Qh-bo Depósitos bofedales

Qh-co Depósitos Coluviales

Ds-cat Formación Ccatca

SD-a Formación Ananea

SIMBOLOGIA

Curvas de nivel

Drenaje

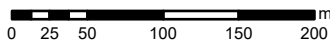
Buzamiento

Falla

Falla inferida

Embalse

Dique



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

REALIZADO: Br. Ronald Cu pa A. y
Br. Washington R. Parque C.

REVISADO: Dra. Jose na Escalante G.

FECHA: Diciembre, 2025

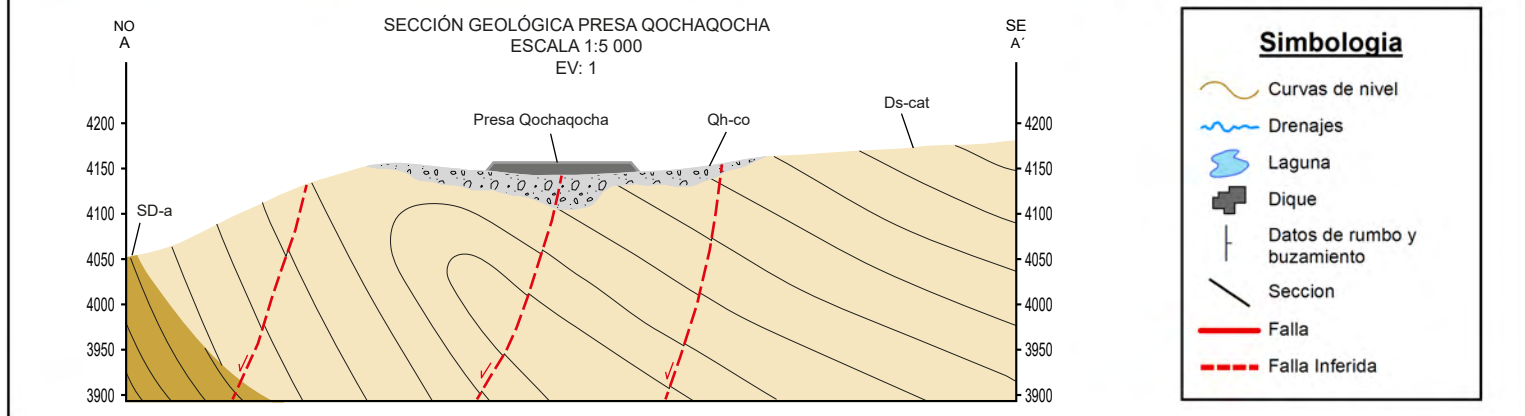
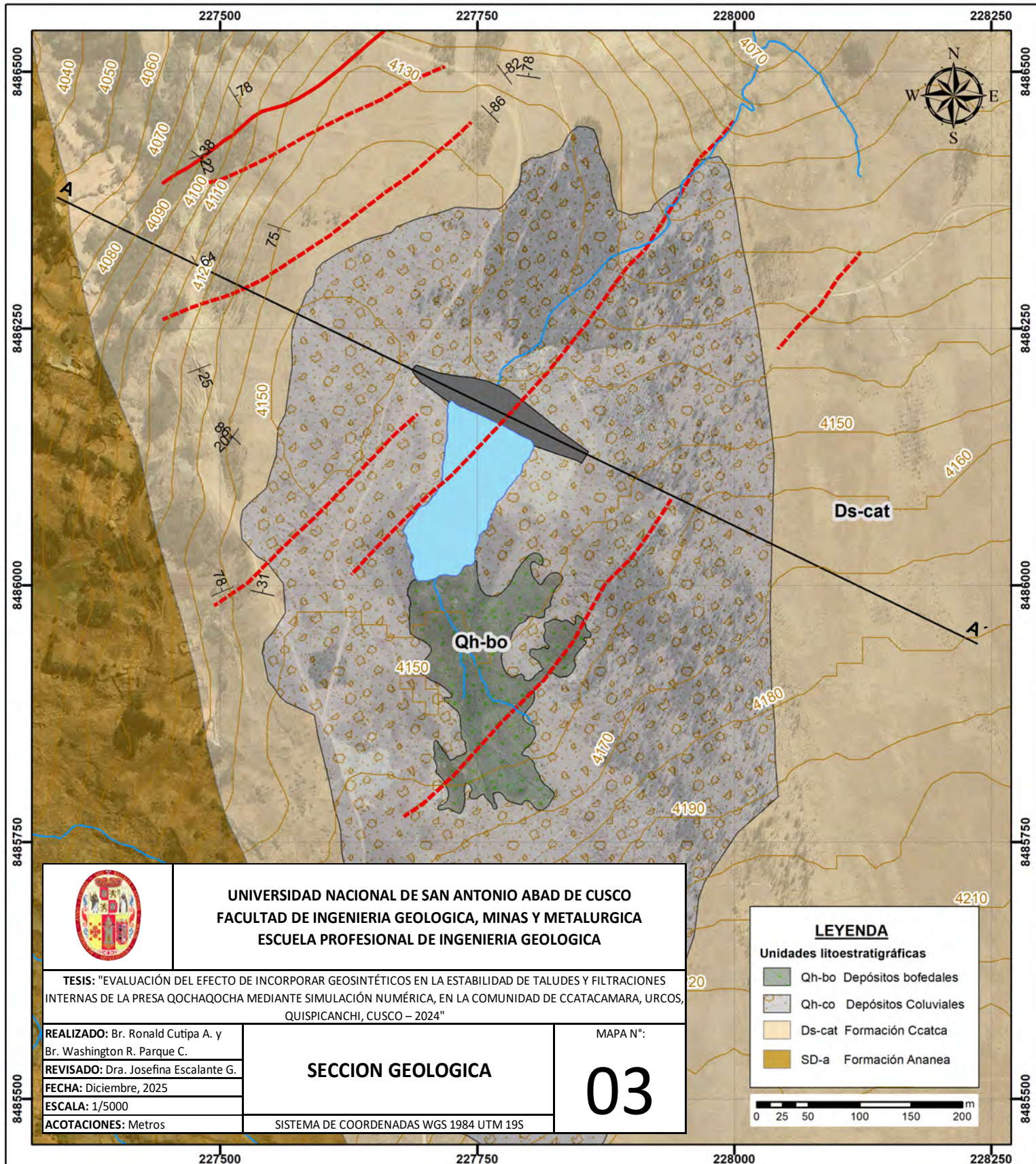
ESCALA: 1/5000

ACOTACIONES: Metros

MAPA GEOLÓGICO LOCAL

SISTEMA DE COORDENADAS WGS 1984 UTM 19S

MAPA N°:
02



3.5.1.4.5. Análisis de la evaluación geológica de la zona de emplazamiento de la presa

A nivel regional, la zona de estudio se ubica sobre la Formación Ananea (SD-a), constituida principalmente por pizarras y esquistos pizarrosos de tonalidades grises, con intercalaciones de pequeños bancos de cuarcitas negras. La presa Qochaqocha se encuentra asentada sobre depósitos glacio-fluviales (Q-glfl), conformados por materiales morrénicos compuestos por gravas con matriz de arena-limo, en estado semiconsolidado. Desde el punto de vista estructural, el área está influenciada por la Falla de Urcos, con una orientación noroeste-sureste (ver Mapa Geológico Regional). A nivel local, el emplazamiento de la presa Qochaqocha se encuentra sobre la Formación Ccatca (Ds-cat), compuesta por diamictitas, pizarras plegadas y cuarcitas, estas últimas con un alto grado de fracturamiento. Asimismo, se identifican depósitos coluviales, eluviales y zonas de bofedales. En términos estructurales, la zona presenta una marcada tectonización, evidenciada por afloramientos intensamente fracturados y plegados, lo cual representa una condición geotécnica crítica para el control de filtraciones en la infraestructura (ver Mapa Geológico Local).

3.5.1.5. Características de la presa Qochaqocha

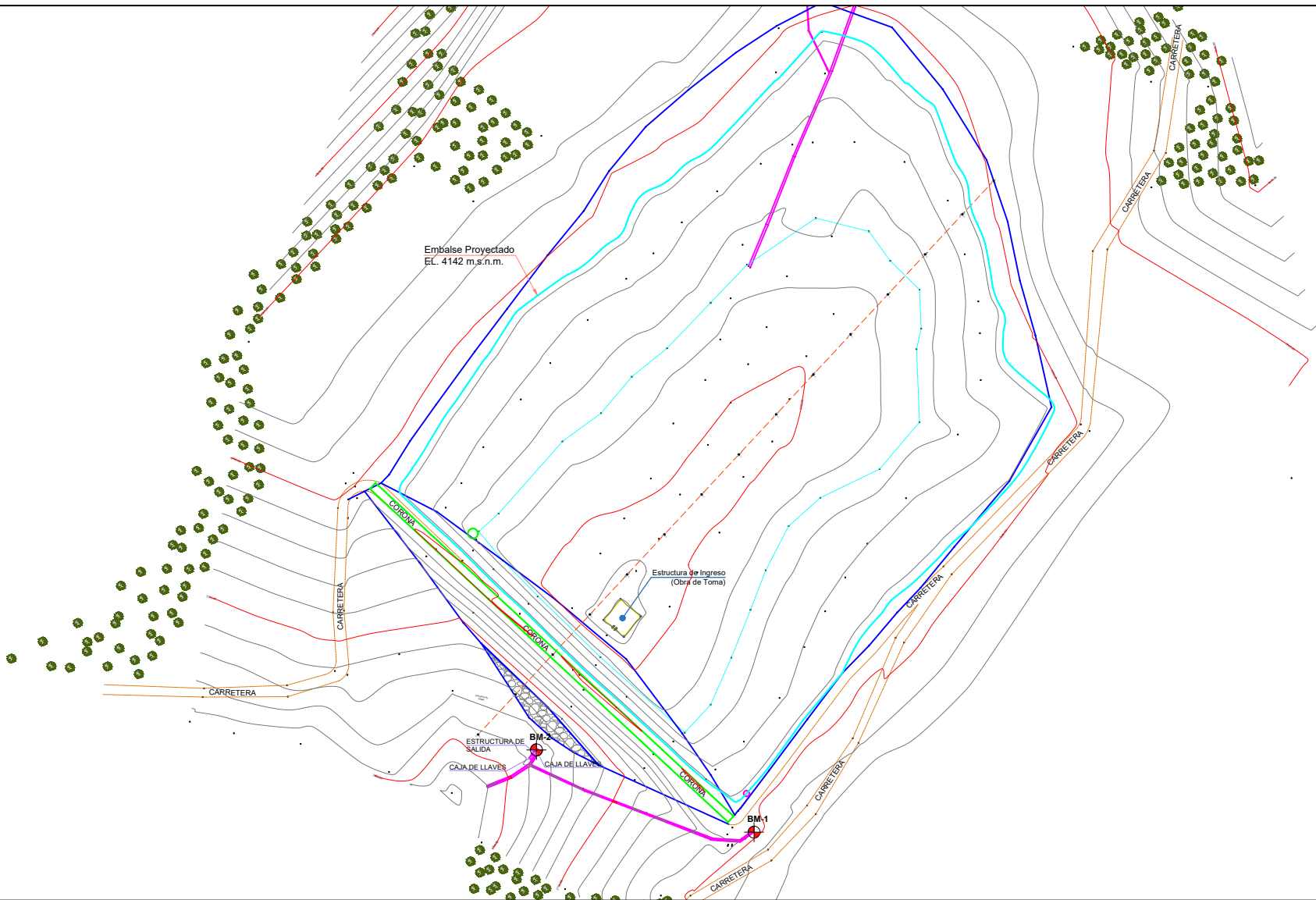
La presa Qochaqocha es una estructura hidráulica de tierra zonificada (heterogénea), construida en el año 2003 con la finalidad de abastecer agua para las actividades de siembra y cosecha de la comunidad de Ccatacamara. Durante sus primeros años de operación, la presa presentó un funcionamiento adecuado; sin embargo, en los últimos años ha dejado de almacenar agua de manera eficiente debido a la aparición de filtraciones internas, asociadas principalmente a la falta de mantenimiento. A continuación, se presentan las principales características de la presa.

Tabla 7. *Características de la presa Qochaqocha.*

Características	Unidad de medida
Capacidad de embalse	100 000 m ³
Área de espejo de agua	40 750 m ²
Tipo de presa de tierra	Heterogénea (Presenta un núcleo de CL)
Altura máxima de la presa	9.5 m
Talud espaldón aguas arriba (H: V)	2.25:1
Talud espaldón aguas abajo (H: V)	2:1
Ancho de corona	3 m
Ancho máximo de base	45 m
Longitud de la corona	196 m
Componentes de la presa	Presenta aliviadero, compuerta de salida, filtro, canales de transvase y línea de conducción.

Nota. Recopilado del expediente técnico proporcionado por MDQ-CCAIJO (2003).

A continuación, se observa el plano en planta de la presa Qochaqocha.



REALIZADO POR:

- Br. Ronald Cutipa Apaza
- Br. Washington Rubén Parque Choquetocro

REVISADO POR: Dra. Josefina Escalante Gutierrez

FECHA: Enero, 2026

ESCALA: 1/2000

ACOTACIONES: Metros

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA , MINAS Y METALURGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

PLANO:

PLANTA DE LA PRESA QOCHAQOCHA

PLANO N°:

02

NOMBRE DEL PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO - 2024"

3.5.1.6. Inspección del estado actual de la presa

Actualmente, la presa Qochaqocha solo logra almacenar agua hasta la cota 4 138 m s. n. m., debido a la presencia de filtraciones internas localizadas en el cuerpo y la cimentación. Estas se evidencian mediante afloramientos puntuales de agua y zonas de erosión visibles en el talud.

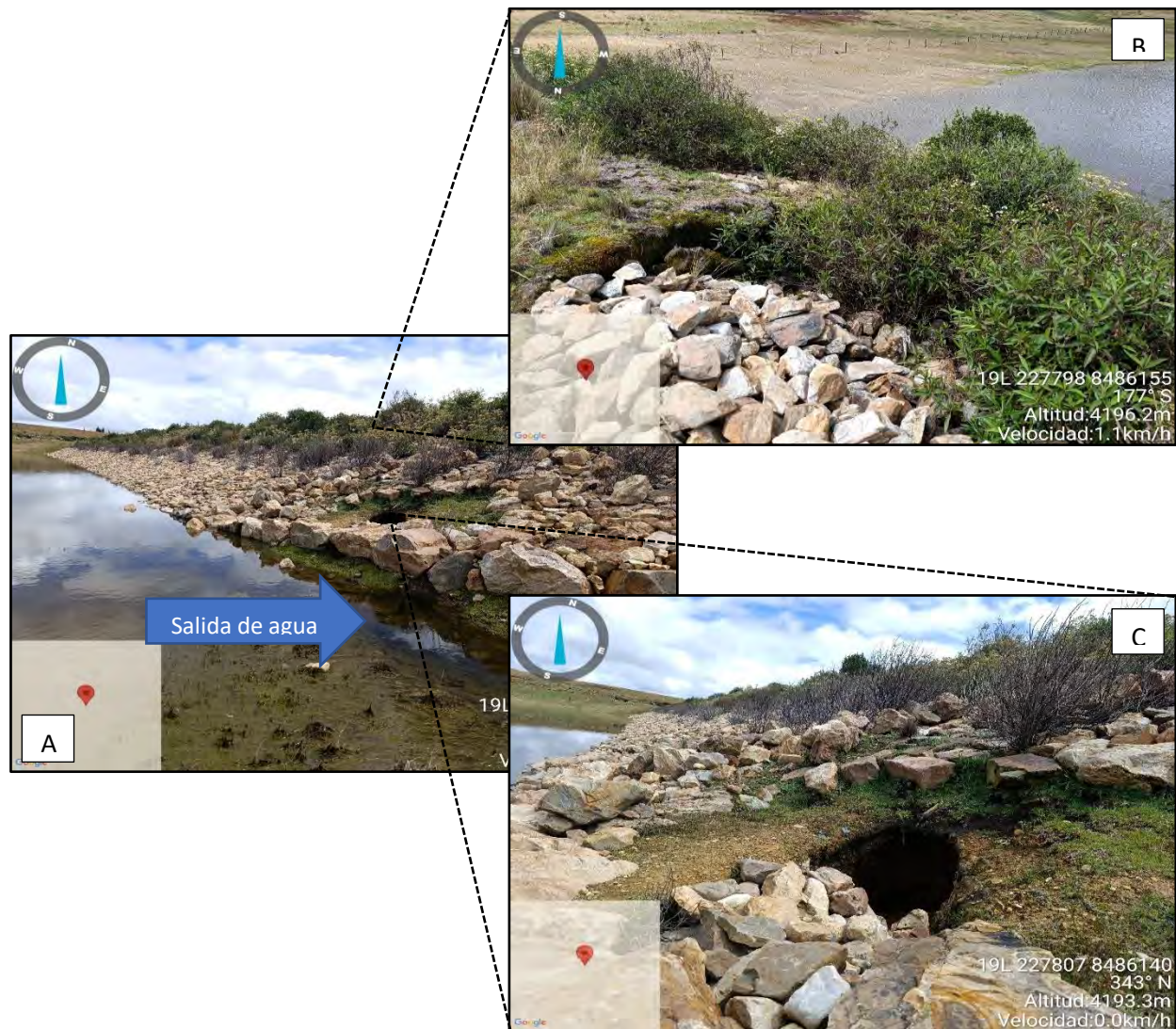
Según las manifestaciones observadas son compatibles con un proceso de erosión interna progresiva (tubificación) como se puede observar en la figura 28.

Figura 28. Hundimiento localizado en la corona y el socavamiento el cuerpo de la presa Qochaqocha.



Para investigar las causas de estos fenómenos, se propuso investigar con más detalle y énfasis al área que esta de círculo rojo, suponiendo que la presencia de alguna falla geológica en la zona remarcada.

Figura 29. Situación actual de la condición de la presa Qochaqocha.



La figura 29 muestra evidencias claras de un proceso de tubificación localizada en la presa Qochaqocha. En la imagen A se observa una descarga concentrada de agua en el talud, lo que indica la presencia de un flujo interno preferencial y no una filtración difusa; en la imagen B se aprecia un asentamiento puntual en la corona, asociado a la pérdida de soporte interno por migración de finos; y en la imagen C se identifica un socavamiento localizado en el talud aguas arriba, con pérdida de material fino y exposición de elementos gruesos, lo que sugiere la formación progresiva de vacíos internos.

En conjunto, estas manifestaciones son compatibles con un proceso de erosión interna asociado a una discontinuidad geológica, configurando una falla hidráulica localizada que compromete la capacidad de almacenamiento del embalse sin evidenciar, en la sección observada, una inestabilidad global del talud.

3.5.1.6.1. Ensayo con trazadores ambientales

Con el propósito de comprender mejor el comportamiento de las filtraciones en el lugar de estudio, se empleó un ensayo con trazadores ambientales utilizando cloruro de sodio como trazador ecológico. Este método permitió identificar el posible punto de descarga del agua infiltrada desde la laguna Qochaqocha, mediante el monitoreo de parámetros como la conductividad eléctrica y el pH, aplicados en cantidades mínimas para no alterar el entorno natural, para el ensayo se utilizó:

- 12 bolsas de 1 kilogramo de Cloruro de sodio (sal).
- Dos baldes de 18 litros de capacidad.
- Motobomba con un caudal de 2 litros de agua por segundo. (constante)
- Equipo multiparámetro. (Ph, C.E. T y ST)

Figura 30. *Materiales para el ensayo.*



El procedimiento se desarrolló en varias etapas. En primer lugar, se midieron los parámetros base del embalse, como la conductividad eléctrica, la temperatura y el pH del agua almacenada. Luego, se disolvió la sal en baldes con agua del embalse y se procedió al bombeo hacia el punto identificado con mayor filtración (visible como un hoyo en el cuerpo de la presa), ubicado en la parte media del dique, sobre el flanco derecho. Esta operación comenzó a las 10:00 a. m. La mezcla de agua y sal fue vertida progresivamente, utilizando una jarra de un litro cada cinco minutos, con el fin de saturar los suelos circundantes y permitir la movilización del trazador. Posteriormente, se monitorearon las manantes aguas abajo, evaluando posibles incrementos en el volumen de agua escurrida, así como variaciones en la conductividad eléctrica y el pH, comparándolos con los valores registrados al inicio del ensayo.

Figura 31. *Procedimiento del ensayo.*



Durante la prueba, se identificaron tres zonas con un incremento notable en el volumen de escurrimiento: a aproximadamente 25, 380 y 460 metros cuesta abajo de la presa. Estas zonas presentaron también cambios significativos en los parámetros monitoreados. Las mediciones se realizaron cada 30 minutos, y se observó un aumento gradual del volumen escurrido a partir de la segunda hora de bombeo, así como un incremento en la conductividad eléctrica, lo cual confirmó la conexión entre el punto de inyección y los puntos de descarga.

A continuación, se muestra los datos obtenidos en los diferentes puntos donde se halló manantes procedentes de la presa Qochaqocha:

Figura 32. *Punto 1 (227777E 8486199N) cerca de la presa.*

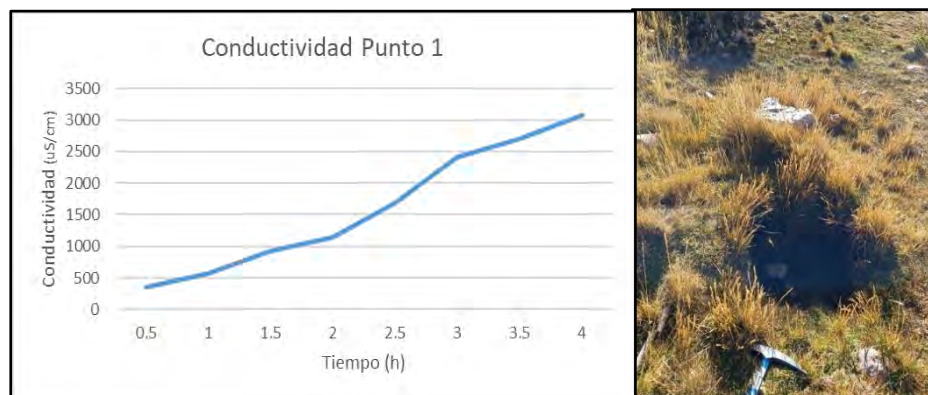


Figura 33. *Punto 2 (227921E 8486342N) con rastros dejados por el cloruro de sodio.*

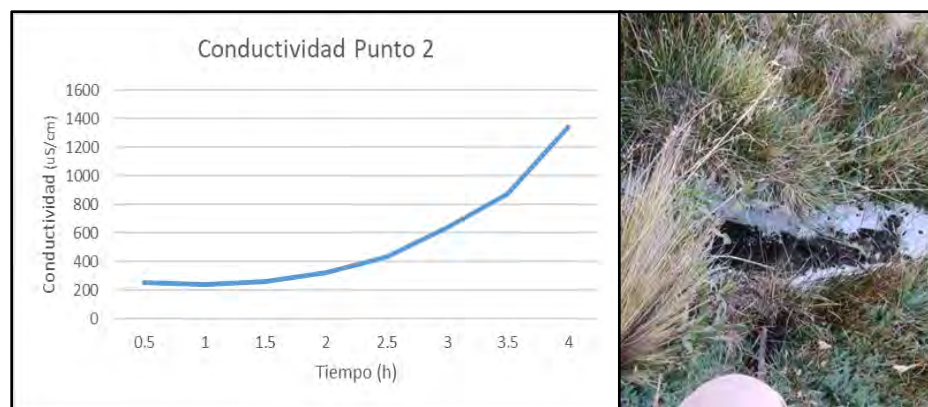
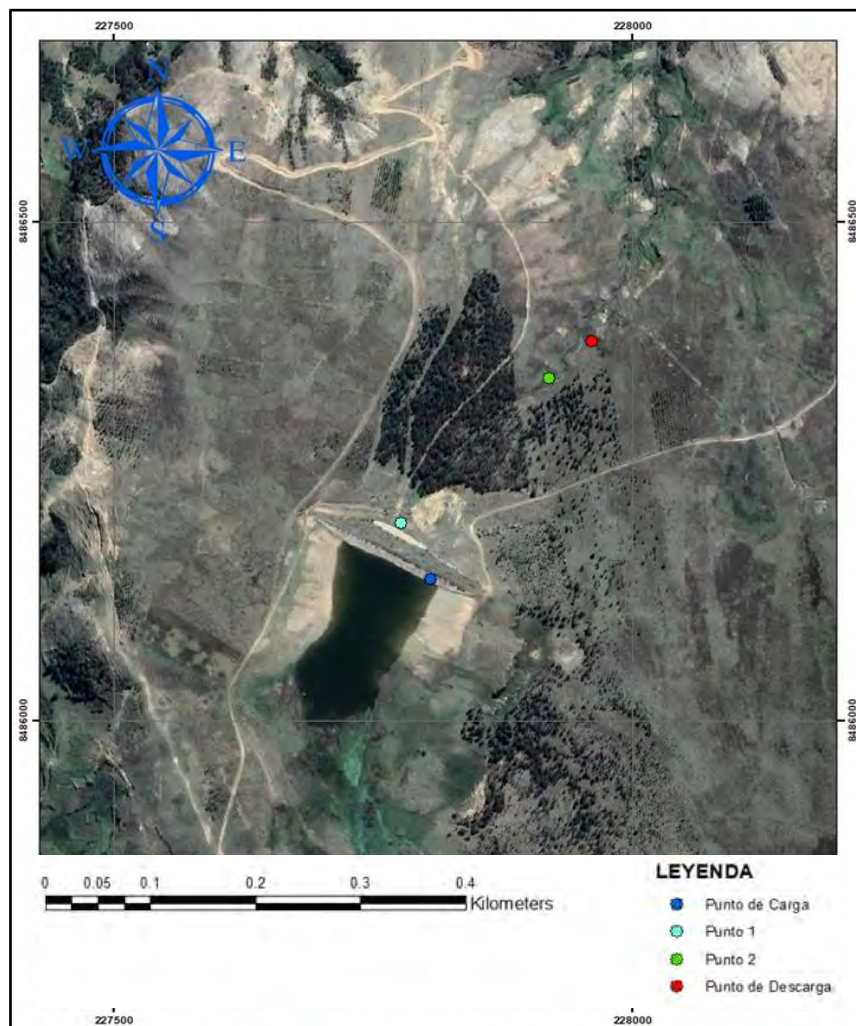


Figura 34. *Punto 3 (227952E 8486380N) con mayor descarga.*



Figura 35. *Mapa de puntos del ensayo.*



3.5.1.7. Evaluación geotécnica de la presa Qochaqocha

Esta etapa consistió en la caracterización geotécnica de la presa Qochaqocha, orientada a la determinación de sus parámetros geotécnicos e hidráulicos, con énfasis en el terraplén (cuerpo de la presa) y en el cimiento, el cual presenta evidencias de lavado de finos asociado a filtraciones internas. Inicialmente, se realizó una exploración indirecta mediante métodos geofísicos, con el objetivo de caracterizar el subsuelo y estimar las constantes elásticas del terraplén y de la cimentación. Posteriormente, se llevaron a cabo exploraciones directas a través de ensayos de campo y, finalmente, ensayos de laboratorio. Todos los procedimientos se ejecutaron de acuerdo con las normativas vigentes para la exploración geotécnica, tanto de la normativa peruana como de los estándares ASTM.

3.5.1.7.1. Exploraciones indirectas

En esta etapa consistió en realizar la prospección geofísica con los ensayos de Refracción Sísmica, MASW2D y Tomografía Eléctrica para la zona de estudio. Todos estos ensayos tienen la finalidad de calcular los espesores de los estratos, calcular los módulos de elasticidad y rigidez de los materiales que se encuentran en el subsuelo.

Normativa técnica

- E030: Diseño Sismorresistente Peruana 2018
- ASTM D5777-00(2011): Ensayo de Refracción Sísmica
- ASTM D7400-08: Ensayo de Análisis de múltiples canales de Ondas Superficiales
- ASTM D6431-18: Ensayo de resistividad de corriente continua para la caracterización del subsuelo

Ensayos de Refracción Sísmica

Este ensayo consistía básicamente en la estimación de los tiempos de viaje de las ondas principales (Ondas P) que estos son generados por una fuente de energía mediante una comba de 20 lb a unos puntos en distancias definidas a lo largo del eje longitudinal de la superficie del terreno. Este ensayo permite determinar la estratigrafía del subsuelo de forma indirecta, este ensayo se basa en el cambio de las propiedades del medio geológico.

Procedimiento en campo y toma de datos

Para la obtención de datos en campo se utilizó el sismógrafo marca Subsuelo 3D y modelo SEISMEX24 de 24 canales, con un total de 24 geófonos de 4.5 Hz.

Figura 36. *Equipo empleado para el ensayo de Refracción Sísmica.*



Los parámetros de levantamiento de campo para este ensayo se muestran a continuación:

Tabla 8. *Parámetros de Refracción Sísmica.*

MEDICIONES	TIEMPO DE ARRIBO DE ONDAS P
Configuración del arreglo	Lineal
Intervalo entre geófonos	4 m
Numero de geófonos	24
intervalo de muestreo	0.5s y 0.25 ms
Fuente de golpe	Comba de 20 libras
Localización del golpe	5 golpes, 2 afuera de la línea y 3 dentro de ella
Staking	Según sea necesario para mejorar la calidad de los datos

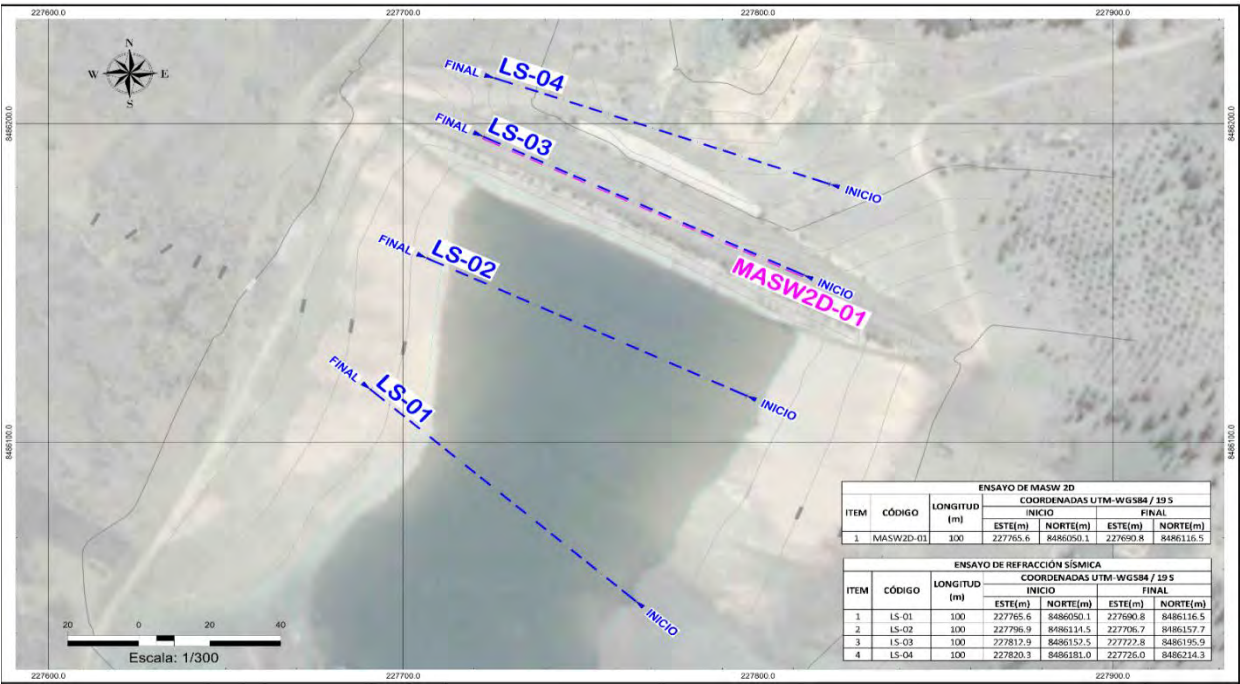
Se realizaron cuatro líneas de refracción sísmica, ubicadas estratégicamente para su análisis e interpretación. La dos primeras líneas (LS-01 y LS-02) se realizaron en el vaso de la presa de manera transversal por el medio, estos con la finalidad de ver la estratigrafía del subsuelo del vaso.

La tercera línea se realizó de manera longitudinal a la corona de la presa, esto con la finalidad de ver las condiciones en que se encuentran el cuerpo y la fundación de la presa para ver la estratigrafía de los materiales que los compone. Y la cuarta línea se realizó aguas debajo de la presa. A continuación, se presenta el cuadro (ver tabla 9) de las ubicaciones de las líneas de refracción realizadas en la presa y como también en la figura 37:

Tabla 9. *Ubicación de las líneas de Refracción Sísmica en coordenadas UTM.*

ENSAYO DE REFRACCION SISMICA						
ITEM	CODIGO	LONGITUD (m)	COORDENADAS UTM-WGS84/19S			
			INICIO		FINAL	
			ESTE(m)	NORTE(m)	ESTE(m)	NORTE(m)
1	LS-01	100	227765.6	8486050.1	227690.8	8486116.5
2	LS-02	100	227796.9	8486114.5	227706.7	8486157.7
3	LS-03	100	227812.9	8486152.5	227722.8	8486195.9
4	LS-04	100	227820.3	8486181	227726	8486214.3

Figura 37. Ubicación de los ensayos de refracción sísmica y MASW.



Interpretación de datos de campo

Línea de refracción sísmica LS-01

Figura 38. Línea de Refracción Sísmica LS-01.

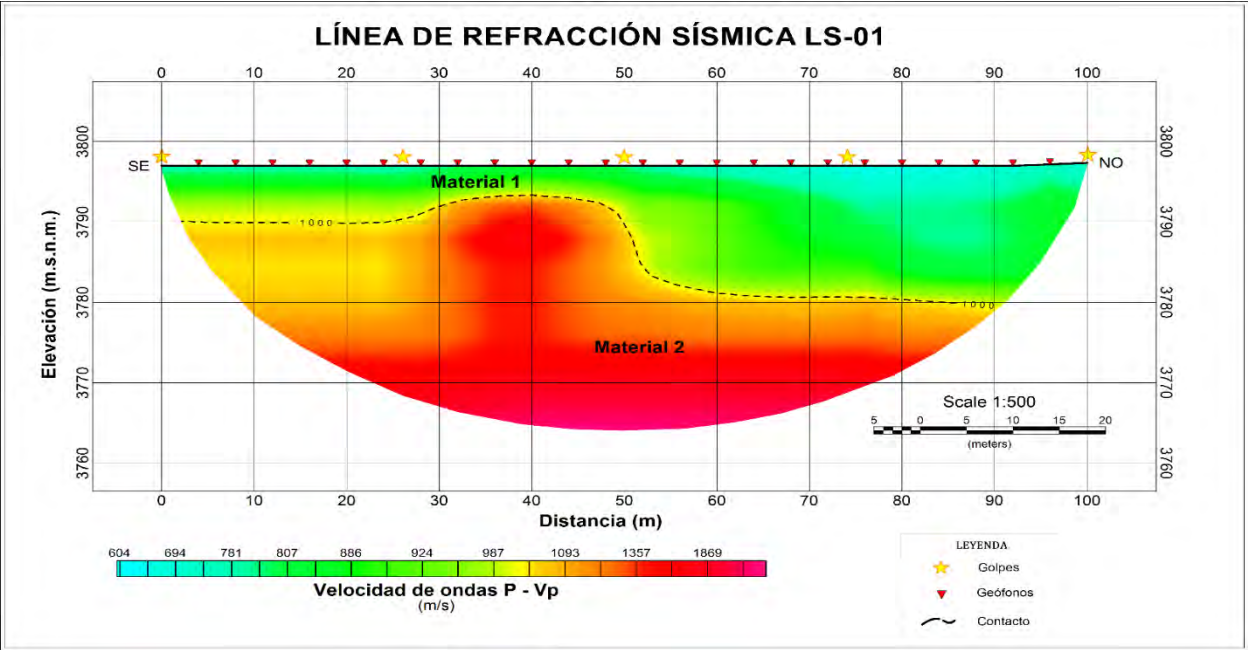


Tabla 10. Identificación de Materiales encontrados en la línea LS-01.

MATERIAL	Vp	ESPESOR	DESCRIPCIÓN*
	(m/s)	(m)	
1	700 – 1000	3.6 – 17.5	Suelo granular medianamente denso a denso compuesto por arenas, limos, arcillas y gravas de diferente tamaño.
2	1000 – 1800	25.5 – ?	Posiblemente asociado a Suelo granular muy denso compuesto por arenas y gravas compactas o Roca Blanda.

Línea de refracción sísmica LS-02

Figura 39. Línea de Refracción Sísmica LS-02.

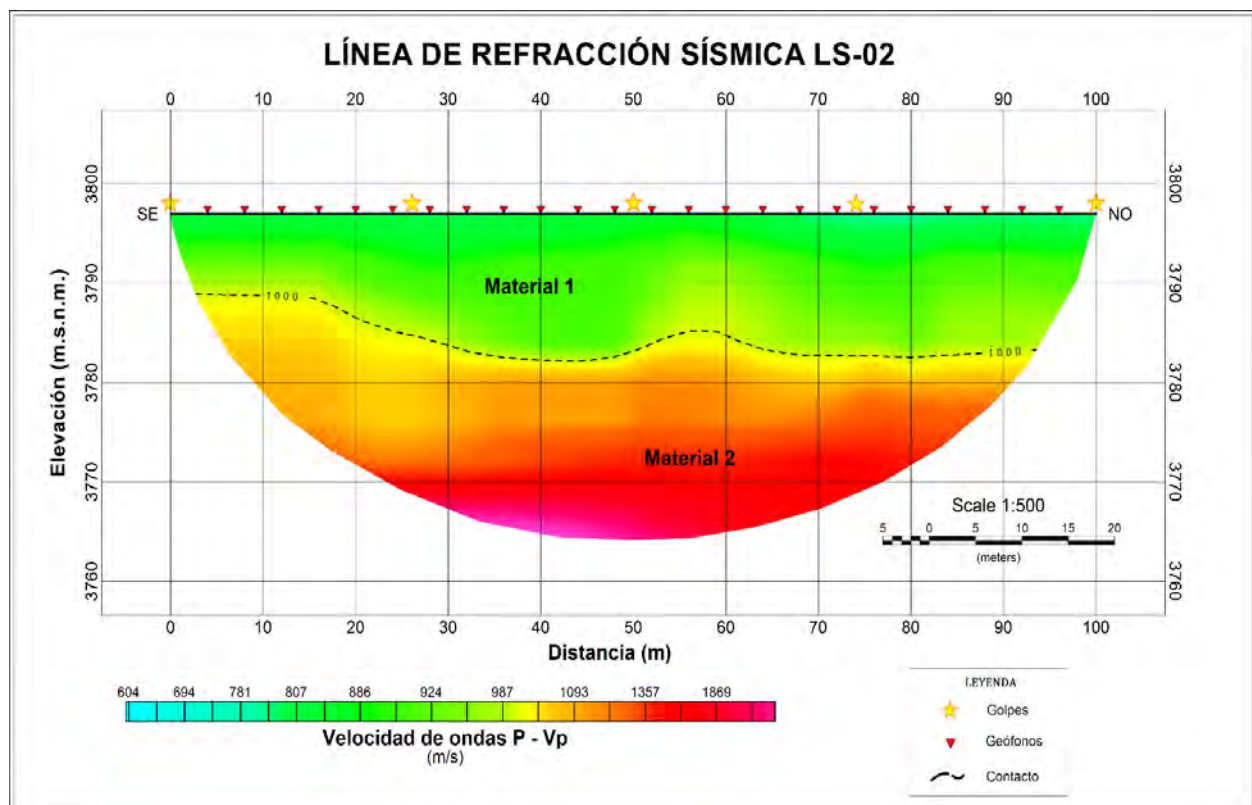


Tabla 11. Identificación de Materiales encontrados en la línea LS-02.

MATERIAL	V _p	ESPESOR	DESCRIPCIÓN *
	(m/s)	(m)	
1	700 – 1000	8.4 – 14.8	Suelo granular medianamente denso a denso compuesto por arenas, limos, arcillas y gravas de diferente tamaño.
2	1000 – 1800	19.2 – ?	Posiblemente asociado a Suelo granular muy denso compuesto por arenas y gravas compactas o Roca Blanda.

Línea de refracción sísmica LS-03

Figura 40. Línea de Refracción Sísmica LS-03.

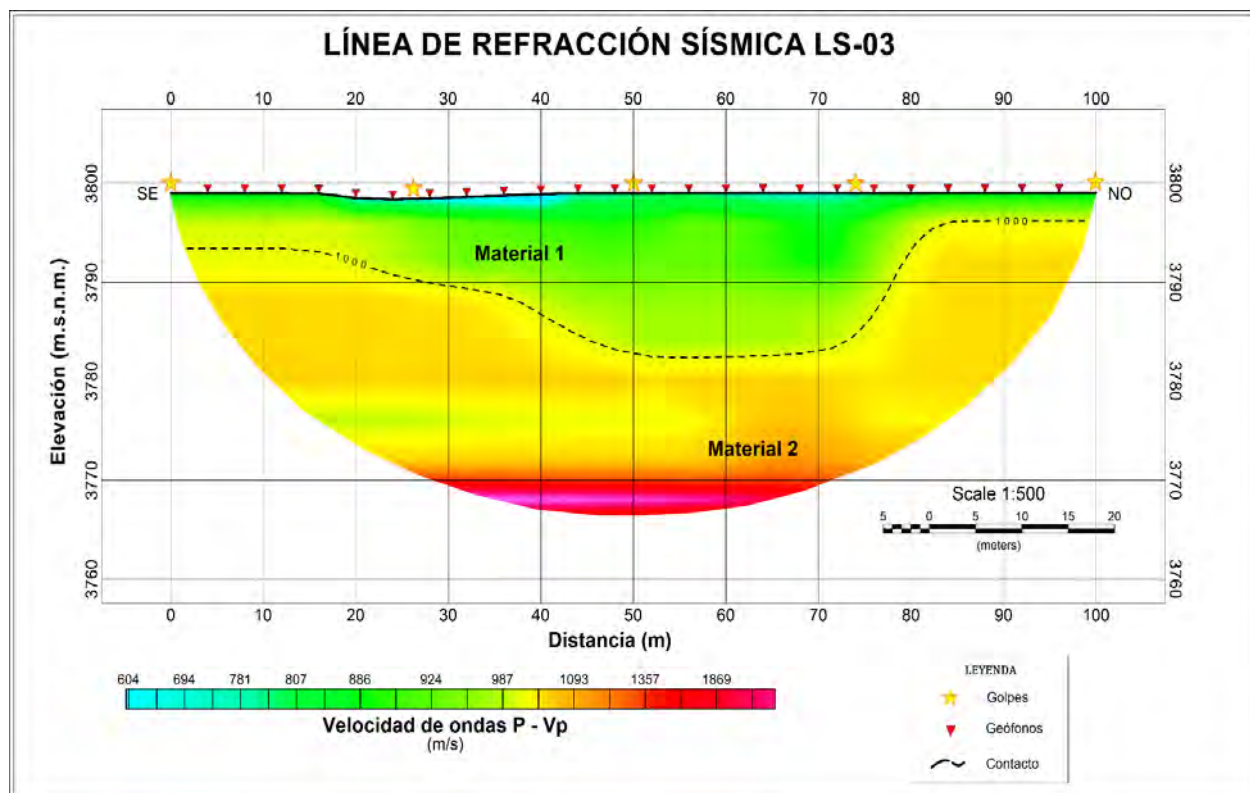


Tabla 12. Identificación de Materiales encontrados en la línea LS-03.

MATERIAL	Vp	ESPESOR	DESCRIPCIÓN *
	(m/s)	(m)	
1	700 – 1000	5.1 – 16.6	Suelo granular denso compuesto por arcillas, arenas, limos y gravas de diferente tamaño.
2	1000 – 1800	16.2 – ?	Posiblemente asociado a Suelo granular muy denso compuesto por arenas y gravas compactas o Roca Blanda.

Línea de refracción sísmica LS-04.

Figura 41. Línea de Refracción Sísmica LS-04.

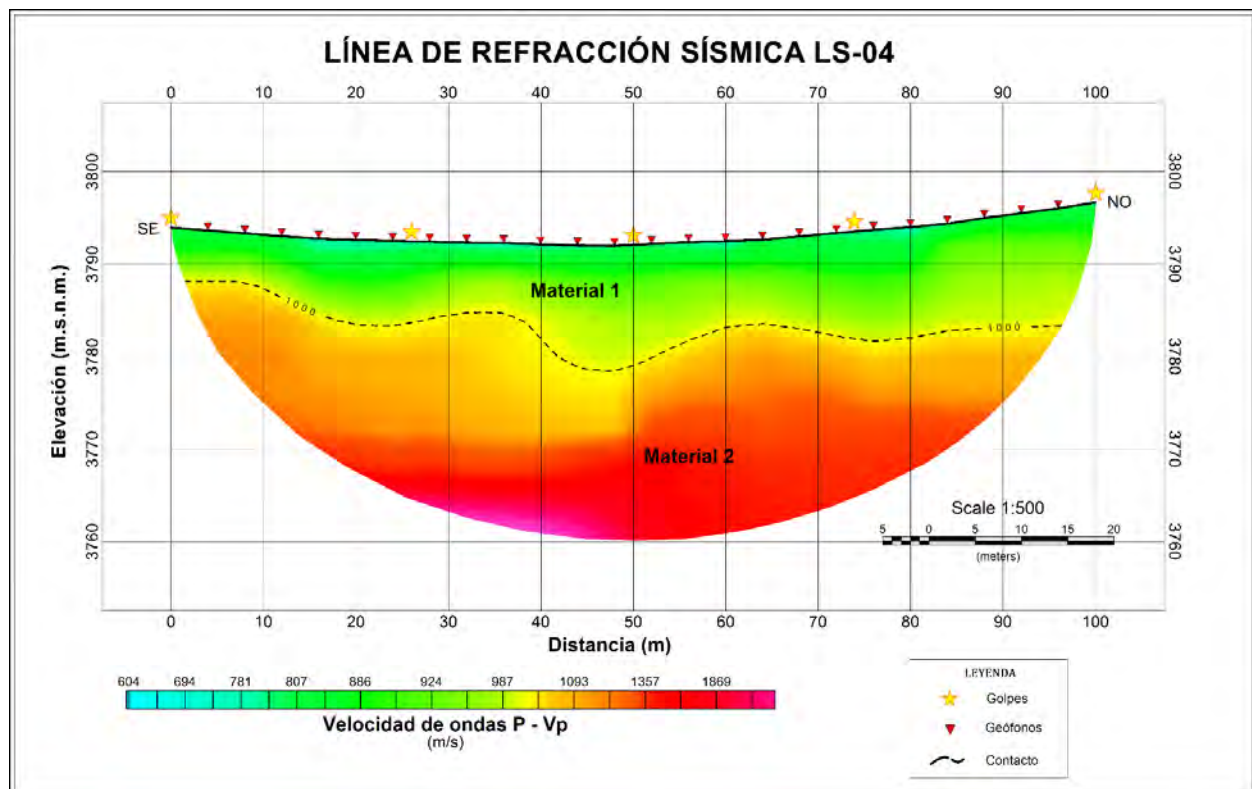


Tabla 13. *Identificación de Materiales encontrados en la línea LS-04.*

MATERIAL	Vp	ESPESOR	DESCRIPCIÓN *
	(m/s)	(m)	
1	700 – 1000	5.5 – 12.4	Suelo granular medianamente denso a denso compuesto por arenas, limos y gravas de diferente tamaño.
2	1000 – 1800	18.9 – ?	Posiblemente asociado a Suelo granular muy denso compuesto por arenas y gravas compactas o Roca Blanda.

Ensayo de Análisis de múltiples canales de Ondas Superficiales

El ensayo MASW (Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal) es una técnica geofísica que interpreta ondas Rayleigh registradas mediante un sistema multicanal. Estas ondas se generan con una fuente de energía impulsiva ubicada en puntos estratégicos a lo largo de una línea sobre la superficie del terreno. Con los datos recolectados, se construye un perfil de velocidades de onda de corte (V_s) para los primeros 30 metros de profundidad, con el objetivo de clasificar sísmicamente el suelo en el punto central de la medición. Este método permite investigar profundidades que, en promedio, van de 25 a 30 m.

Procedimiento en campo y toma de datos

Para la obtención de datos en campo se utilizó el sismógrafo marca Subsuelo 3D y modelo SEISMEX24 de 24 canales, con un total de 24 geófonos de 4.5 Hz.

Los parámetros de levantamiento de campo para este ensayo se muestran a continuación:

Tabla 14. *Parámetros de MASW 2D.*

MEDICIONES	TIEMPO DE ARRIBO DE ONDAS P
Configuración del arreglo	Lineal
Intervalo entre geófonos	4 m
Numero de geófonos	24
intervalo de muestreo	1 s y 0.5 ms
Fuente de golpe	Perturbador sísmico
Localización del golpe	13 golpes, 1 en cada extremo de la línea y 11 dentro de ella
Staking	Según sea necesario para mejorar la calidad de los datos

Se realizó una línea de MASW 2D a lo largo de la corona de la presa con la finalidad de hallar el perfil de velocidades de ondas de corte y clasificar sísmicamente el sitio de los primeros 30 metros, con este resultado se podrá hacer análisis de sus propiedades elásticas del suelo.

A continuación, se presenta en la tabla 15 las ubicaciones de las líneas de MASW 2D realizadas en el dique de la presa y como también en la figura 37:

Tabla 15. *Ubicación de las líneas de MASW2D en coordenadas UTM.*

ENSAYO DE MASW 2D						
ITEM	CODIGO	LONGITUD (m)	COORDENADAS UTM-WGS84/19S			
			INICIO		FINAL	
			ESTE(m)	NORTE(m)	ESTE(m)	NORTE(m)
1	MASW2D-01	100	227812.9	8486152.5	227722.8	8486195.9

Interpretación de datos de campo

Línea de MASW2D-01.

Figura 42. Línea de MASW2D-01.

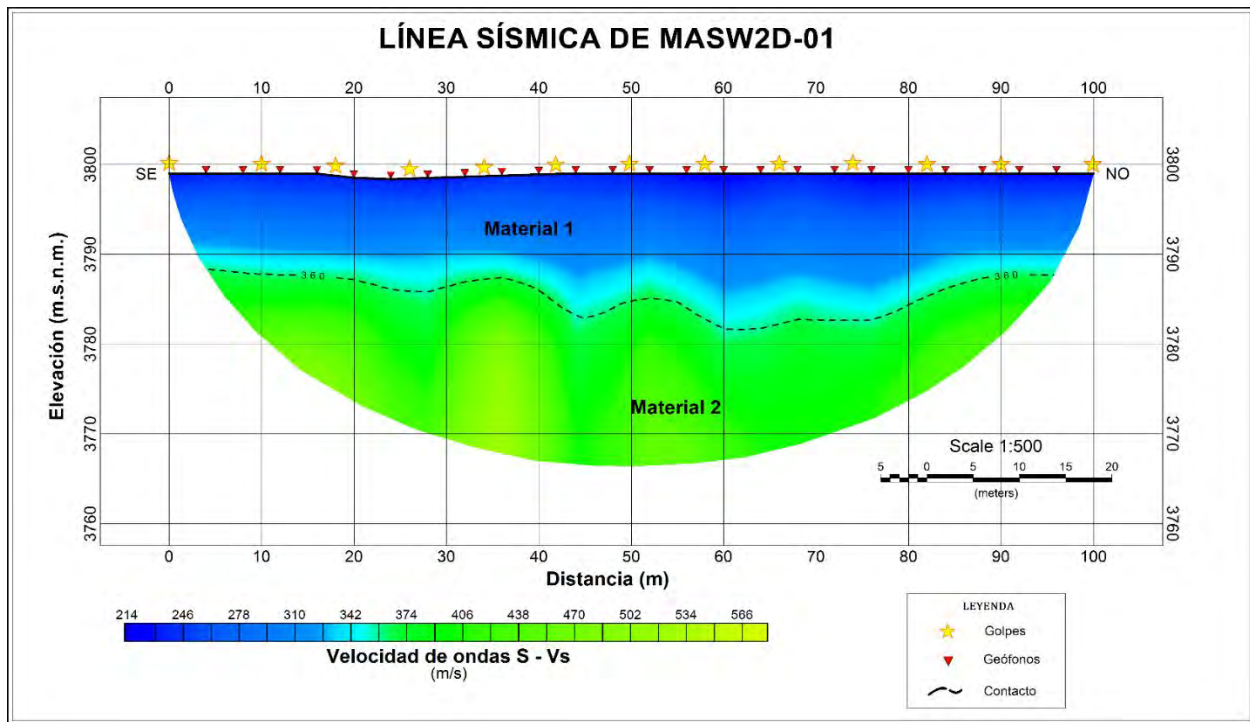


Tabla 16. Identificación de Materiales encontrados en la línea MASW2D-01.

MATERIAL	Vs	ESPESOR	DESCRIPCIÓN *
	(m/s)	(m)	
1	180 – 360	10.7 – 17.4	Suelo granular denso compuesto por arcillas, arenas, limos y gravas de diferente tamaño.
2	360 – 760	18.5 – ?	Posiblemente asociado a Suelo granular muy denso compuesto por arenas y gravas compactas o Roca Blanda.

Clasificación del tipo de suelo según el ensayo MASW2D

El cálculo de la velocidad promedio de ondas de corte Vs30 a partir de los sondeos MASW en la zona de estudio se ha realizado conforme a los criterios establecidos en el Código Internacional de Construcción (IBC). Este procedimiento permite caracterizar sísmicamente el tipo de suelo en función de los perfiles unidimensionales de ondas de corte y sus velocidades respectivas promedio hasta una profundidad de 30 m (Vs30).

Según esta normativa, los suelos se clasifican en cinco categorías, tal como se muestra en el Cuadro 10, dependiendo de la velocidad de propagación de las ondas de corte en el estrato de 30 m de profundidad. La clasificación se basa en la siguiente ecuación:

$$\bar{v}_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Donde:

Vs30= Velocidad promedio de ondas de corte hasta 30 m de profundidad (m/s).

d_i =Espesor de cada capa entre 0.0 m y 30.0 m

v_{si} =Velocidad de ondas de corte de cada capa (m/s)

Tabla 17. *Clasificación del Sitio.*

Tipo de Suelo	Denominación del Suelo	Velocidad de ondas de corte Vs 30(m/s) *	Resistencia a la penetración Estándar SPT (N)*
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca o suelo muy rígido	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

Nota. Los resultados muestran que el comportamiento elástico del suelo en el área de estudio del sonduje MASW, corresponde a suelo Tipo C (Suelo muy denso o roca blanda), cuyas velocidades promedio de ondas de corte Vs30 es de 379.9 m/s. Los valores exactos de este cálculo se aprecian en la tabla 18. Estos valores fueron adoptados de IBC (2015).

Tabla 18: *Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad.*

Sondaje	VS30	Tipo de suelo	Nombre del Tipo de suelo
			(IBC)
MASW2D-01	379.9	C	Suelo muy denso o roca blanda

Clasificación del tipo de suelo según norma técnica E030-2019

En el caso del diseño sísmico estructural, de acuerdo con la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente, se considera que los suelos de la zona de estudio se clasifican en el tipo de suelo S2.

Figura 43. *Zonas sísmicas.*



Nota. Tomado de la Norma E.030 (2019).

Tabla 19. *Periodos T_P y T_L .*

PERIODOS " T_P Y T_L "				
	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_P (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Nota. Para el caso del suelo tipo S2 le corresponde un periodo predominante $TP(s)=0.6s$. y un $TL(s)=2.0s$. Como el proyecto se encuentra ubicada en el distrito de Urcos, Quispicanchi, Cusco, que pertenece a la Zona Sísmica 2, le corresponde un factor de Zona $Z=0.25$ y un factor de amplificación sísmica $S=1.20$. Tomado de E.030 (2019).

Tabla 20. *Factores de suelo.*

FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z_3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z_2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z_1	0.80	1.00	1.60	2.00

Nota. De acuerdo con la Norma E-030 de la tabla 20, los resultados muestran que el comportamiento elástico del suelo en el área de estudio, corresponde a suelo tipo S2 (Suelo intermedio) cuyas velocidades promedio de ondas de corte V_{s30} es de 379.9 m/s como se muestra en la tabla 22. Tomado de E.030 (2019).

Tabla 21. *Clasificación del Sitio.*

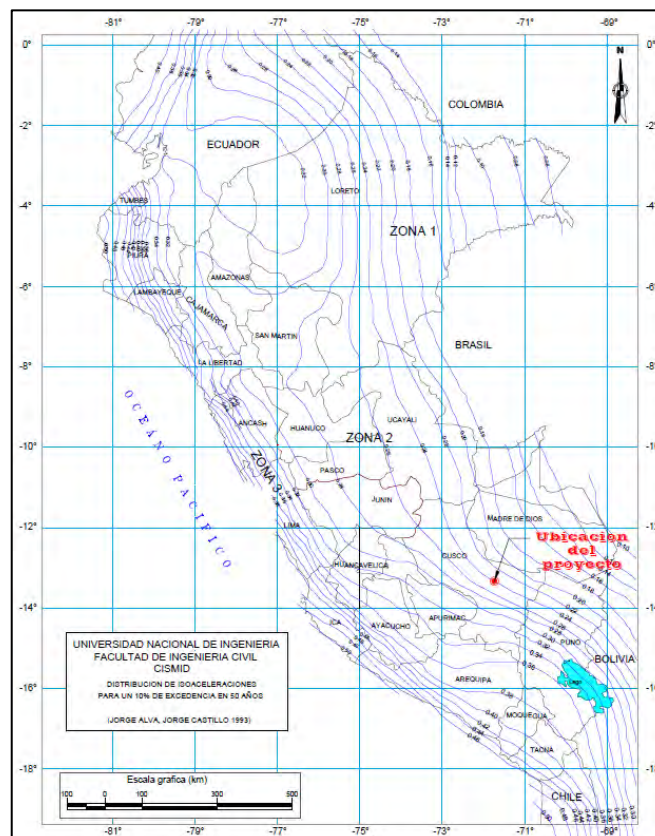
Tipo de Suelo	Vs 30(m/s) *	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Suelo muy rígido
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo intermedio
S3	$V_s < 180$	Suelo blando

Nota. Tomado de la Norma E.030 (2019).

Tabla 22. *Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad.*

Sondaje	VS30	Tipo de suelo (E.030, 2019)	Nombre del Tipo de suelo
			(E.030, 2019)
MASW2D-01	379.9	S2	Suelo intermedio

Figura 44. *Mapa de distribución de isoaceleraciones.*



Nota. Para el análisis de estabilidad mediante métodos pseudoestáticos en muros y taludes, se recomendó utilizar un coeficiente sísmico equivalente a la mitad de la aceleración máxima del terreno (PGA - Peak Ground Acceleration). En el caso de presas y reservorios, este coeficiente debe ser de dos tercios de la PGA, de acuerdo con (Kramer, 1996), quien señala que la aceleración pseudoestática utilizada en simulaciones debe ser significativamente menor que la aceleración máxima. Basándonos en el mapa de Isoaceleraciones de la figura 49, se adoptó un valor de 0.24g, lo que implica 0.12g para taludes y 0.16g para el cuerpo de la presa. Tomado de (CISMID).

Parámetros elásticos

En la teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996), la velocidad de las ondas P y S se representan en forma de ecuación de movimiento, para un cuerpo elástico isotrópico de la siguiente manera:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad , \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad ($$

Dónde:

V_p = Velocidad de ondas de compresión

V_s = Velocidad de ondas de corte

Λ = Constante de Lamé

μ = Rigidez

ρ = Densidad

Relacionando las velocidades de ondas de corte, ondas de compresión y la densidad de los materiales por donde se propagan las ondas se pueden obtener los siguientes parámetros Elásticos:

Relación de Poisson (ν)

$$\nu = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2((V_p/V_s)^2 - 1)}$$

Módulo de Young (E)

$$E_d = 2(1 + \nu)G$$

Módulo de Corte (G)

$$G_{max} = \rho V_s^2$$

Módulo de Bulk (K)

$$K = E/3(1 - 2\nu)$$

Densidad (ρ)

La relación entre la velocidad de las Ondas P y la densidad de los terrenos que atraviesa, ha sido investigada por numerosos autores. Según Gardner (1974), se verifica la siguiente relación empírica:

$$\rho = a \times V_p^{0.25}$$

Donde:

a = constante igual a 1670

ρ = densidad de la roca (Kg/m³)

V_p = velocidad de propagación de las ondas P, en (Km/s)

Figura 45. Correlación de las Velocidades de Ondas P y S (LS-03 / MASW2D-01).

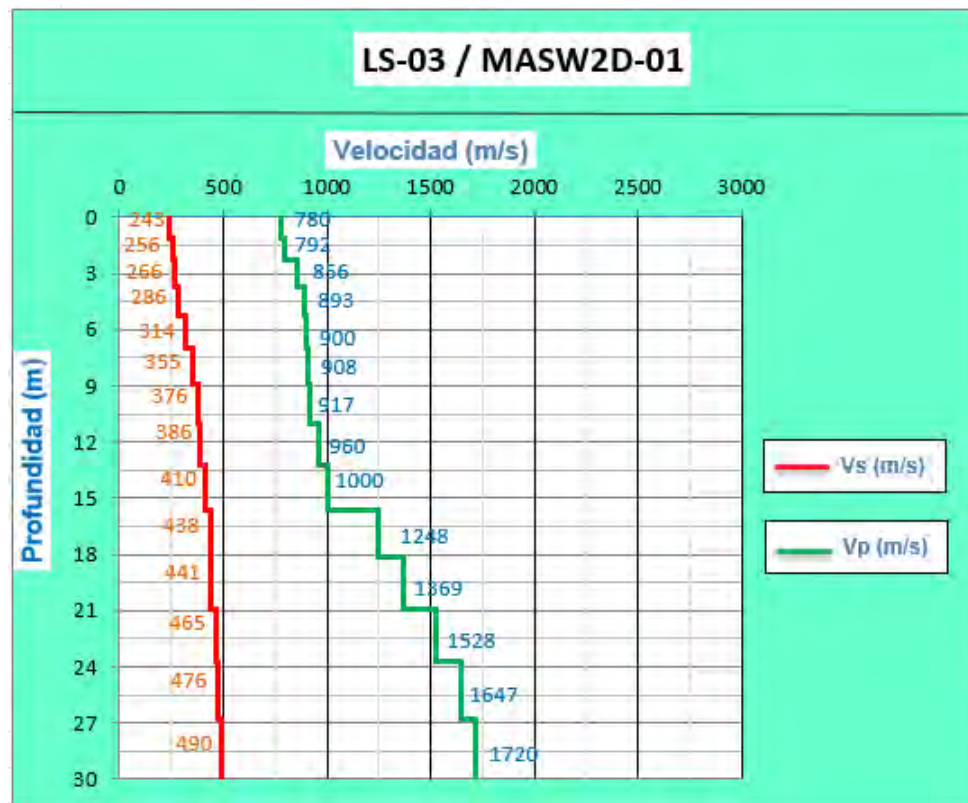


Tabla 23. Cálculo de Parámetros Elásticos (LS-03 / MASW2D-01).

LS-03 / MASW2D-01											
Prof. (m)		Espesor del estrato	Vs	Vp	Densidad ρ	Relación de Poisson (μ)	Modulo de Corte (Gmax)	Modulo de Corte (Gmax)	Modulo de Young (E)	Modulo de Young (E)	Modulo de Bulk (K)
Desde	Hasta		(m/s)	(m/s)	(Tn/m3)	(Poisson)	(Tn/m2)	(Kg/cm2)	(Tn/m2)	(Kg/cm2)	(Tn/m2)
0.0	1.1	1.1	243	780	1.57	0.45	9446.78	959.79	27324.91	2776.21	84737.34
1.1	2.3	1.2	256	792	1.58	0.44	10524.67	1069.31	30346.13	3083.17	86701.81
2.3	3.7	1.4	266	856	1.61	0.45	11585.88	1177.13	33519.29	3405.56	104533.42
3.7	5.3	1.6	286	893	1.62	0.44	13536.06	1375.26	39061.08	3968.61	113918.28
5.3	7.0	1.7	314	900	1.63	0.43	16348.10	1660.97	46778.57	4752.70	112507.82
7.0	8.9	1.9	355	908	1.63	0.41	20942.36	2127.74	59048.28	5999.31	109083.18
8.9	11.0	2.1	376	917	1.63	0.40	23551.33	2392.82	65894.12	6694.84	108678.98
11.0	13.2	2.2	386	960	1.65	0.40	25106.71	2550.84	70478.34	7160.60	121819.48
13.2	15.6	2.4	410	1000	1.67	0.40	28616.41	2907.43	80066.79	8134.79	132079.24
15.6	18.1	2.5	438	1248	1.77	0.43	34518.29	3507.06	98705.85	10028.51	234215.71
18.1	20.9	2.8	441	1369	1.81	0.44	35811.75	3638.47	103288.79	10494.14	297359.16
20.9	23.7	2.8	465	1528	1.86	0.45	40924.58	4157.94	118596.88	12049.44	387334.92
23.7	26.8	3.1	476	1647	1.89	0.45	43695.30	4439.44	127103.54	12913.72	464867.71
26.8	30.0	3.2	490	1720	1.91	0.46	46808.18	4755.71	136290.10	13847.07	514337.59

Ensayo de Tomografía Eléctrica 2D

Este ensayo se realizó con la finalidad de obtener los niveles freáticos, la estratigrafía del subsuelo y determinar las posibles anomalías asociadas a la presencia de cavidades o filtraciones por debajo de la estructura de la presa.

Procedimiento en campo y toma de datos

Para la ejecución de este ensayo el equipo utilizado fue un resistivímetro de la marca IRIS INSTRUMENTS, de modelo SYSCAL PRO STANDARD con una potencia de 250 W, con un total de 20 electrodos de acero inoxidable de fabricación francesa como se puede observar en la figura 46.

Figura 46. Resistivímetro Syscal pro de la marca Iris Instruments.



Los parámetros de levantamiento de campo para este ensayo se muestran a continuación:

Tabla 24. *Parámetros de adquisición del ensayo de Tomografía Eléctrica.*

PARAMETROS DE TOMOGRAFIA ELECTRICA	DESCRIPCION
Configuración del arreglo	Polo-Dipolo
Intervalo entre electrodos	5 a 10 m
Stacks Min/Max	03-May
Quality Factor	5
Reading	Averaged
Voltaje	200V – 300V
Numero de ediciones por lectura	3 a 4

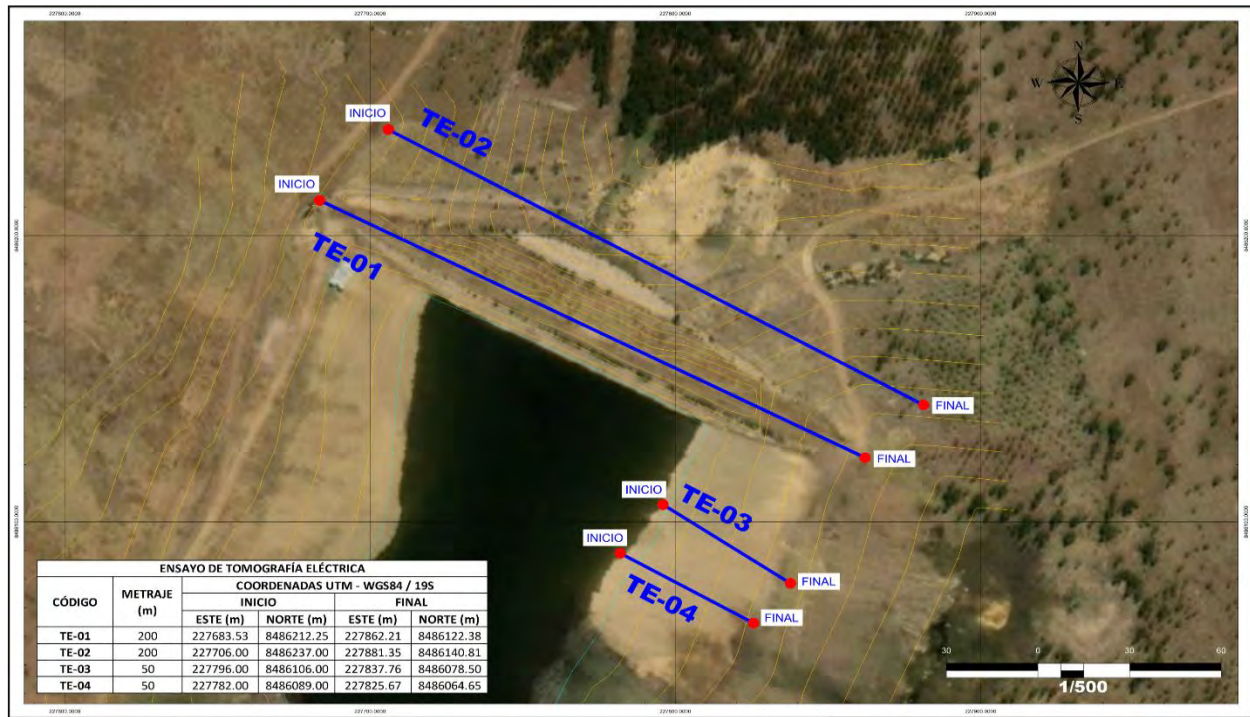
Con el propósito de identificar la profundidad de filtraciones y de hallar cuerpos de agua en la presa Qochaqocha se realizaron cuatro líneas de Tomografía eléctrica. La primera línea (TE-01) se realizó de manera longitudinal a la corona de la presa, esto para identificar a la profundidad de filtración. La segunda (TE-02) se hizo en la parte aguas abajo de la presa, también con la finalidad de detectar la filtración aguas abajo.

Las dos últimas lecturas (TE-03 y TE-04), se ejecutaron en la margen derecha del vaso de la presa aguas arriba, esto con la finalidad de detectar algún manante o cuerpo de agua, ya que esta área representa un área crítico por la presencia de manantes. A continuación, se presenta la tabla 25 de las ubicaciones de las líneas de Tomografía Eléctrica realizadas en la presa y como también en la figura 47:

Tabla 25. *Ubicación de las líneas de Tomografía Eléctrica en coordenadas UTM.*

ENSAYO DE TOMOGRAFIA ELECTRICA						
ITEM	CODIGO	LONGITUD (m)	COORDENADAS UTM-WGS84/19S			
			INICIO		FINAL	
			ESTE(m)	NORTE(m)	ESTE(m)	NORTE(m)
1	TR-01	200	227683.53	8486212.25	227862.21	8486122.38
2	TR-02	200	227706.00	8486237.00	227881.35	8486140.81
3	TR-03	50	227796.00	8486106.00	227837.76	8486078.50
4	TR-04	50	227782.00	8486089.00	227825.67	8486064.65

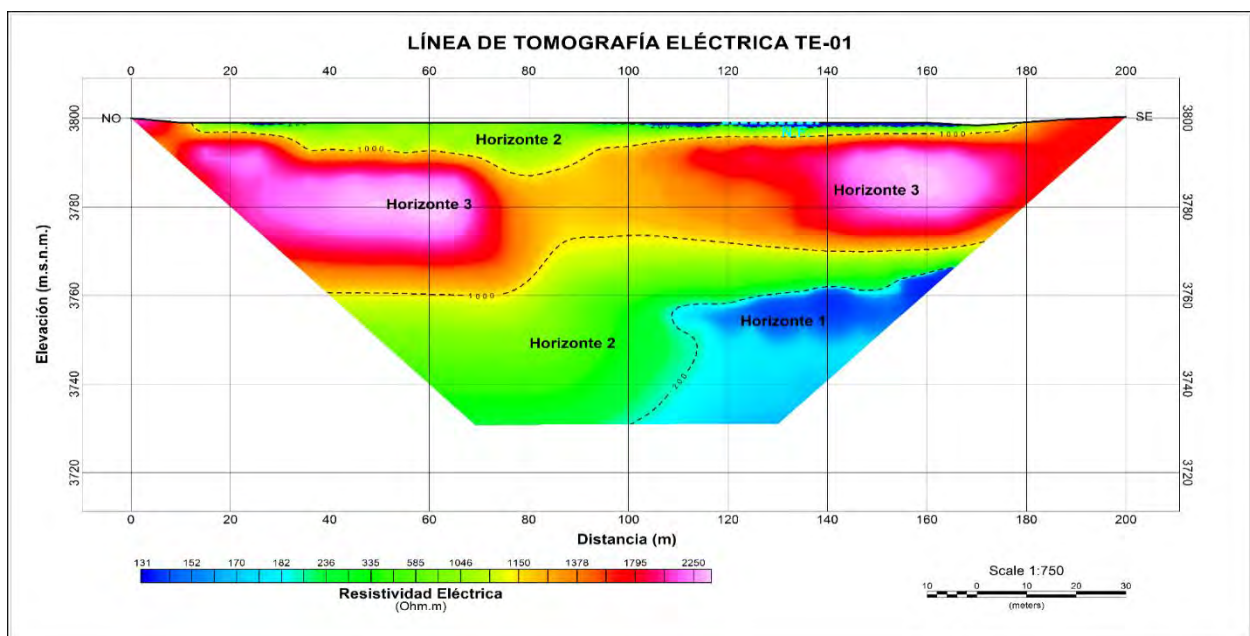
Figura 47. Ubicación de los ensayos de Tomografía Eléctrica.



Interpretación de datos de campo

Tomografía Eléctrica (TE-01)

Figura 48. Línea de Tomografía Eléctrica TE-01.



La línea de Tomografía Eléctrica TE-01, de 200 metros de longitud y orientación Noroeste-Sureste, revela tres horizontes con distintas características geológicas y niveles de resistividad eléctrica.

El horizonte 1 presenta baja resistividad (130-200 Ohm.m) está compuesto por pizarras fracturadas de la Formación Ccatca, con alta humedad e indicios de filtraciones. Su espesor varía entre 7.5 y 29.2 metros, mientras que en superficie se observan capas delgadas con humedad (0.6-0.8 metros), asociadas a la saturación del dique de la presa.

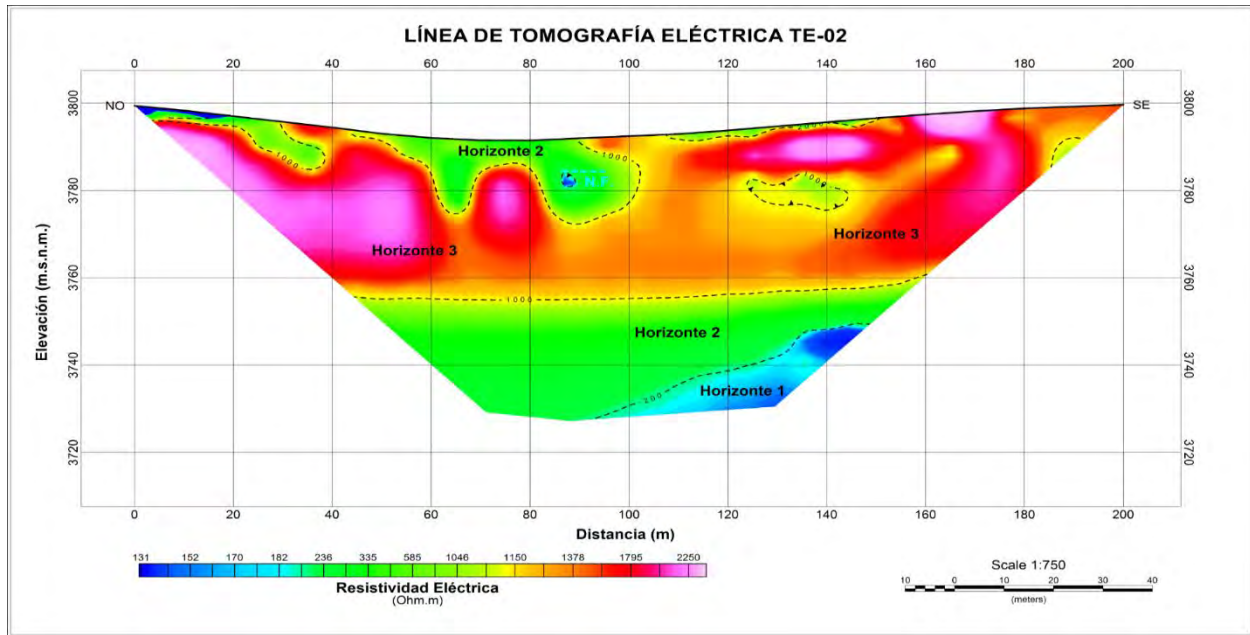
El horizonte 2 muestra resistividad media (180-480 Ohm.m) y un espesor de 6,2 a 11,6 metros en superficie. Está compuesto por materiales del dique, como arcillas, fragmentos de cuarcitas y arenas compactadas. En la base del vaso de la presa hay una delgada capa de arcilla (10-20 cm), que ayuda a impermeabilizar, aunque no completamente, lo que permite filtraciones.

En profundidad, predominan pizarras fracturadas con resistividad de 200-1000 Ohm.m y un espesor de 6.8 a 42.1 metros.

El horizonte 3 presenta alta resistividad (1000-2400 Ohm.m) y espesor variable (16,5-33,1 metros). Está compuesto por depósitos de cuarcitas fracturadas en la parte superior y más compactas en la inferior, con mejor consolidación y menor contenido de humedad a mayor profundidad. En la base, se encuentra la zona de contacto entre pizarras consolidadas y cuarcitas compactas de la Formación Ccatca.

Tomografía Eléctrica (TE-02)

Figura 49. Línea de Tomografía Eléctrica TE-02.



La línea de Tomografía Eléctrica TE-02, de 200 metros de longitud y orientación Noroeste-Sureste, revela la presencia de tres horizontes con distintas características geológicas y niveles de resistividad.

El horizonte 1 presenta baja resistividad (130-200 Ohm.m) y está compuesto por pizarras de la Formación Ccatca, con un alto a moderado grado de fracturamiento. Se infiere la presencia de humedad o filtraciones debido a su buena transmisividad. Su espesor varía entre 5,1 y 11,5 metros, mientras que en la superficie se identifican capas delgadas con humedad entre 1,0 y 4,0 metros.

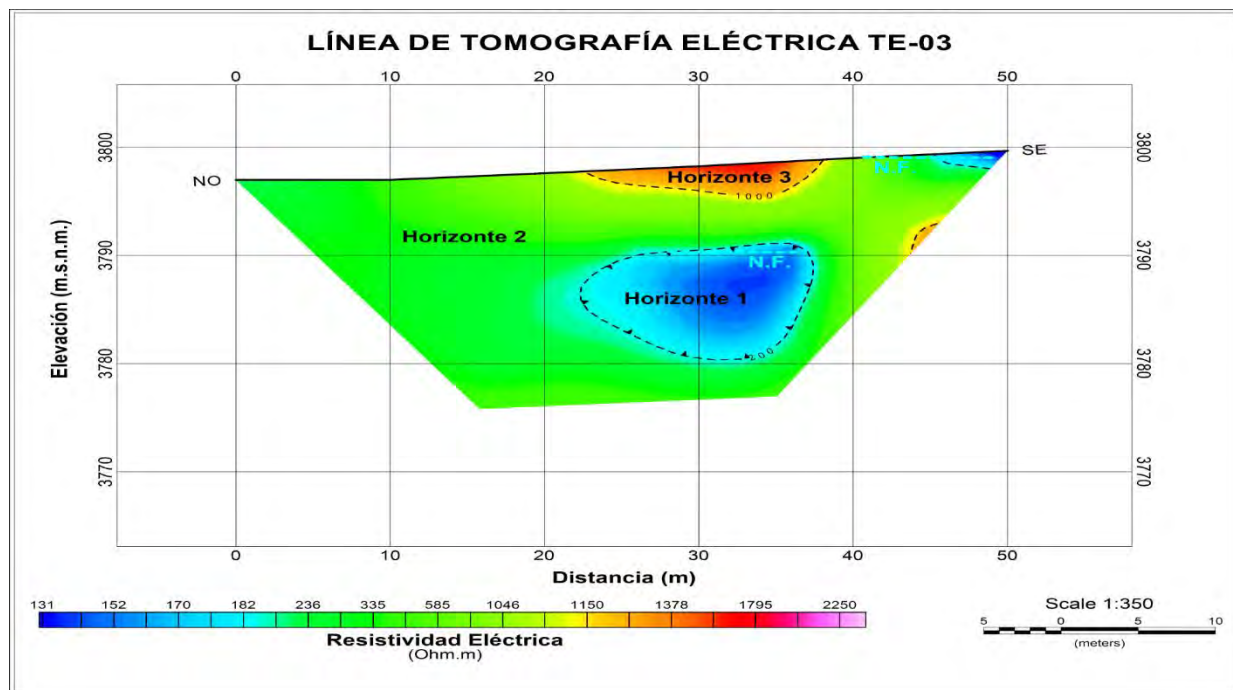
El horizonte 2 tiene una resistividad media (200-1000 Ohm.m) y un espesor de 3,1 a 19,9 metros en superficie. Está compuesto probablemente por pizarras con distintos niveles de fracturamiento y menor humedad. Se observa la presencia de bloques transportados por morenas,

lo que indica un origen caótico en la superficie del terreno. Esta capa podría representar la transición entre las cuarcitas y las pizarras de la Formación Ccatca. También se identificó una zona con alta saturación de humedad, posiblemente vinculada a filtraciones en el dique de la presa, cuya dirección de infiltración coincide con la quebrada y manantiales ubicados aguas abajo. En profundidad, el horizonte contiene pizarras moderadamente fracturadas con espesores de 9,9 a 27,3 metros y resistividad media (200-1000 Ohm.m).

El horizonte 3 presenta alta resistividad (1000-2400 Ohm.m) y un espesor variable de 10,5 a 36,4 metros. Se compone principalmente de cuarcitas, que muestran un mayor grado de consolidación y menor humedad a mayor profundidad. Este horizonte se distribuye uniformemente en la parte profunda de la tomografía, marcando un contacto geológico definido en profundidad.

Tomografía Eléctrica (TE-03)

Figura 50. Línea de Tomografía Eléctrica TE-03.



La línea de Tomografía Eléctrica TE-03, con una longitud de 50 metros y orientación Noroeste-Sureste, revela la presencia de tres horizontes con diferentes características geológicas y resistividades.

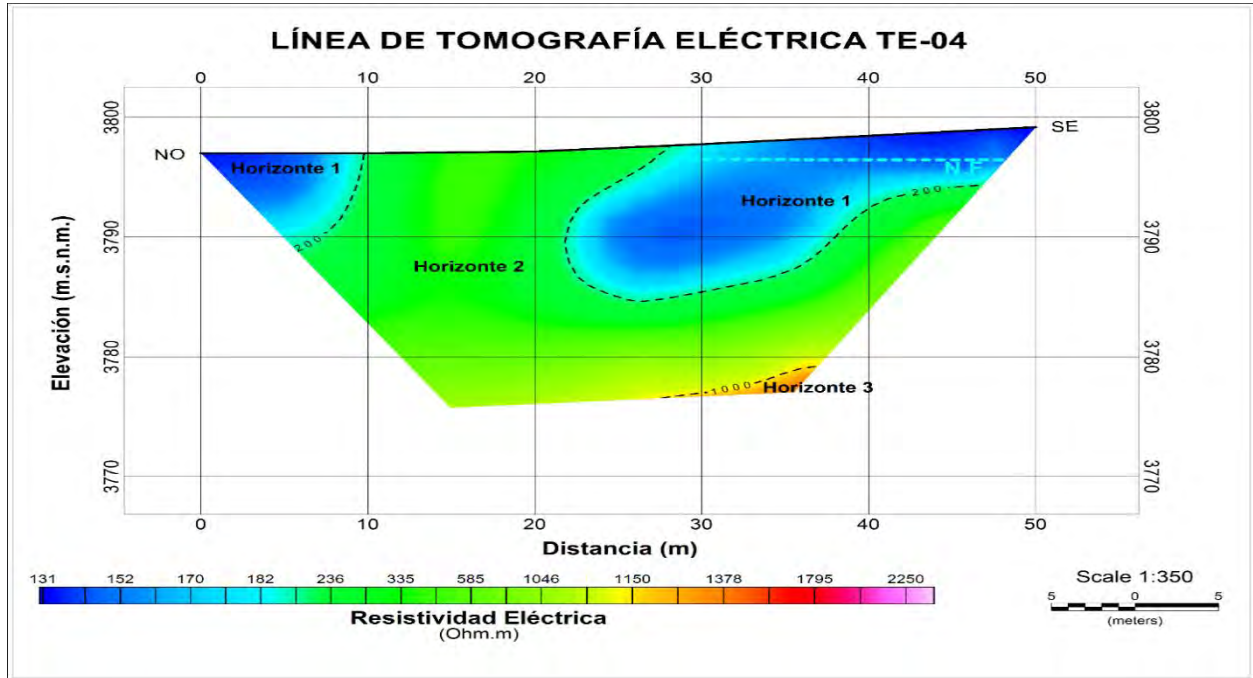
El horizonte 1 muestra una baja resistividad (130-200 Ohm.m) y está conformado por pizarras de la Formación Ccatca, con grado de fracturación de moderado a alto. Se ha identificado humedad o filtraciones transversales a aproximadamente 12 metros de profundidad. Su espesor varía entre 1,6 y 10,3 metros. Esta línea de tomografía evidencia la transición entre pizarras y cuarcitas, los dos materiales clave en la presa: el dique se asienta sobre un sustrato de cuarcitas fracturadas en superficie y más compactas en profundidad, mientras que el vaso de la presa está compuesto por pizarras compactas e hidratadas, proporcionando una impermeabilización natural.

El horizonte 2 presenta una resistividad media (200-1000 Ohm.m) y un espesor que varía entre 6,4 y 21,0 metros. Está conformado probablemente por pizarras y fragmentos de cuarcitas con distintos niveles de fracturamiento, intercalados con depósitos de morrenas y menor contenido de humedad. Su ubicación en la zona de contacto entre las formaciones sugiere que esta capa representa la transición entre las cuarcitas y las pizarras de la Formación Ccatca.

El horizonte 3 exhibe una alta resistividad (1000-2400 Ohm.m) y un espesor variable entre 1,5 y 3,2 metros o más. Se compone principalmente de cuarcitas compactas con menor contenido de humedad. Sin embargo, debido a la profundidad alcanzada ya la curvatura de estas cuarcitas, su delimitación no es completamente clara.

Tomografía Eléctrica (TE-04)

Figura 51. Línea de Tomografía Eléctrica TE-04.



La línea de Tomografía Eléctrica TE-04, con una longitud de 50 metros y orientación Noroeste-Sureste, revela tres horizontes con distintas características geológicas y niveles de resistividad.

El horizonte 1 presenta una baja resistividad (130-200 Ohm.m) y está compuesto por pizarras de la Formación Ccatca, con un grado de fracturación de moderado a alto. Se ha identificado la presencia de humedad o filtración transversal a aproximadamente 12 metros de profundidad. Su espesor varía entre 4,5 y 12,3 metros.

El horizonte 2 exhibe una resistividad media (200-1000 Ohm.m) y un espesor que oscila entre 8,5 y 21,1 metros en superficie. probablemente esté conformado por pizarras y pequeñas cantidades de cuarcitas, con distintos grados de fracturamiento, intercaladas con depósitos de

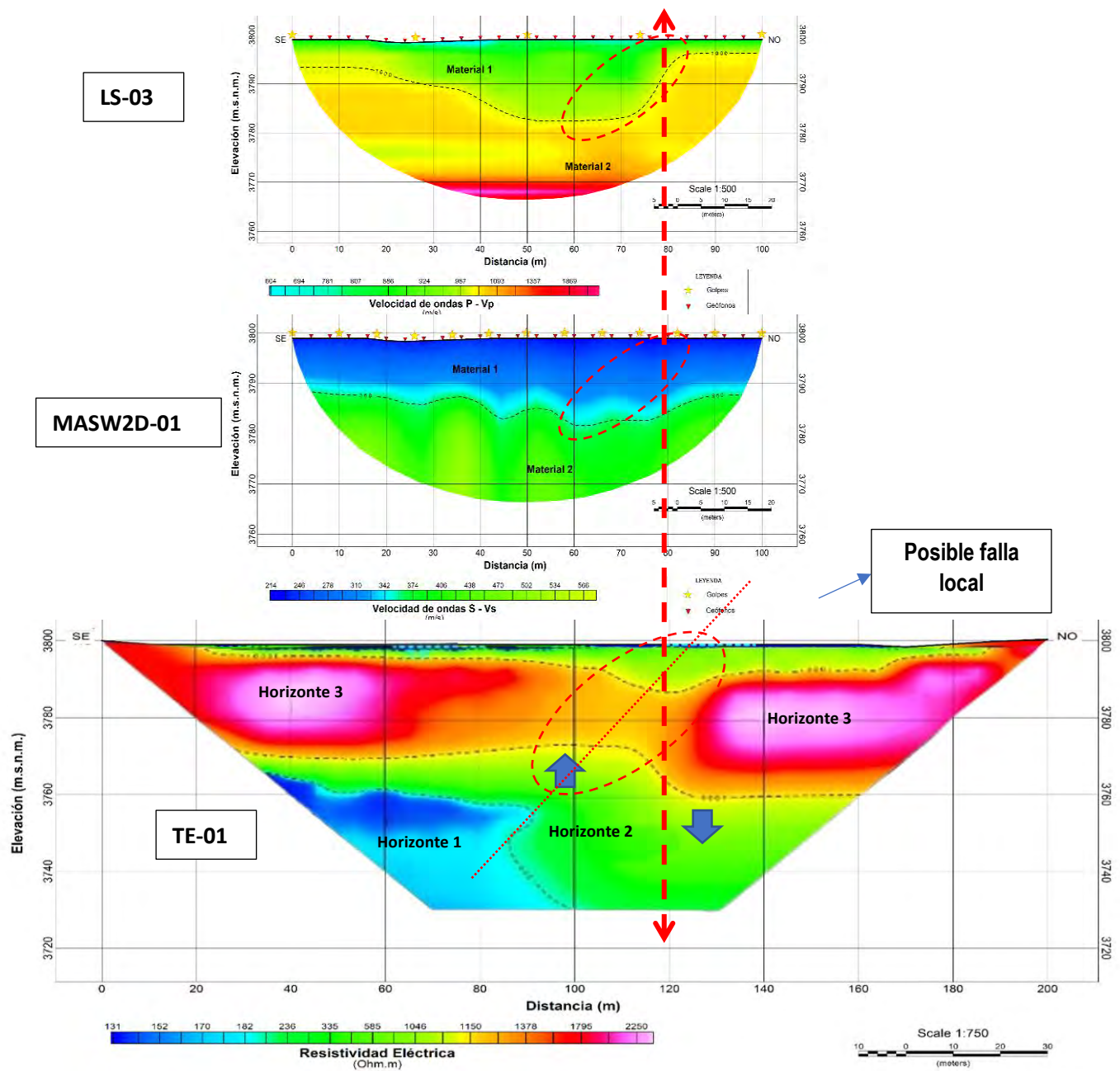
morrenas y un menor contenido de humedad. Esta capa representa la transición entre las cuarcitas y las pizarras de la Formación Ccatca.

El horizonte 3 muestra una alta resistividad (1000-2400 Ohm.m) y un espesor que inicia en los 1,9 metros, extendiéndose en profundidad. Es posible que esté compuesto por depósitos de cuarcitas compactas con un bajo contenido de humedad. Sin embargo, debido a la profundidad alcanzada, su delimitación no es completamente clara.

3.5.1.7.2. Análisis de exploraciones indirectas

Según las exploraciones indirectas realizadas en el cuerpo y la cimentación de la presa Qochaqocha, se evidenció la presencia de una posible discontinuidad estructural, probablemente asociada a una falla local. Esta interpretación se fundamentó en los cambios bruscos observados en los valores registrados en los tres perfiles, señalados con círculos de trazo rojo interlineado en los perfiles LS-03, MASW2D-01 y TE-01, respectivamente, como se observa en la figura 52. Asimismo, en el horizonte 1 del perfil TE-01, se identificó un cuerpo anómalo que podría corresponder a una acumulación de agua, posiblemente alojada sobre una matriz de cuarcitas intensamente fracturadas

Figura 52: Interpretación de los perfiles LS-03, MASW2D-01 y TE-01.



3.5.1.7.3. Exploraciones directas

La siguiente etapa consistió en determinar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los materiales que conforman el cuerpo y la cimentación de la presa Qochaqocha. Para ello, se realizó la apertura de calicatas en puntos estratégicos del cuerpo y del cimientó de la presa, a partir de las cuales se obtuvieron muestras representativas. Posteriormente, dichas muestras fueron sometidas a los ensayos correspondientes de mecánica de suelos en laboratorio.

Ensayos geotécnicos in situ

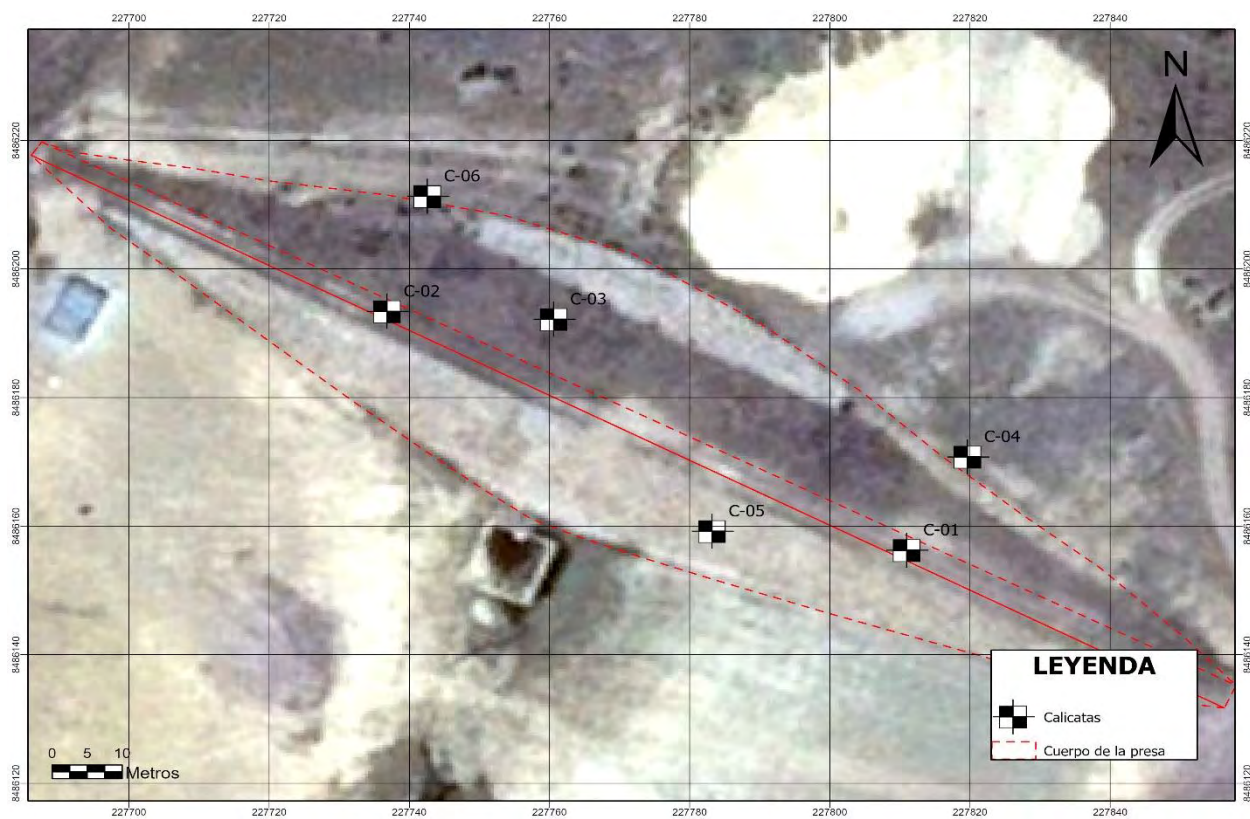
Apertura de calicatas

La apertura de las calicatas se realizó de acuerdo con lo establecido en la Norma E-050 Suelos y Cimentaciones. En total, se ejecutaron seis (06) excavaciones de calicatas, conforme al procedimiento ASTM D420, ubicadas en puntos estratégicos de la presa, con la finalidad de obtener muestras representativas para su posterior análisis en laboratorio. En la tabla 26 y en la figura 53 siguientes se presentan las ubicaciones de las calicatas realizadas.

Tabla 26. *Ubicación de las calicatas.*

CODIGO	UBICACION	COORDENADAS UTM		
		ESTE	NORTE	ALTITUD (m.s.n.m)
C-01	Núcleo	227802	8486156	4145
C-02	Núcleo	227733	8486190	4145
C-03	Espaldón	227765	8486184	4141
C-04	Cimiento	227805	8486171	4136
C-05	Espaldón	227770	8486160	4142
C-06	Cimiento	227738	8486200	4135

Figura 53. *Ubicación de calicatas.*



A continuación, se evidencian algunas fotografías de las aperturas de calicatas.

Figura 54. *Apertura de calicata C-01 en el núcleo de la presa.*



Figura 55. *Apertura de calicata C-03 en el espaldón de la presa.*



Figura 56. *Apertura de calicata C-04 en el cimientó de la presa.*



Figura 57. Apertura de calicata C-06 en el cimiento de la presa.



Extracción de muestras representativas

La extracción de las muestras representativas se procedió según la Norma NTP 339.151, realizándose la siguiente codificación de la tabla 27.

Tabla 27. Norma NTP 339.151 para extracción de muestras de las calicatas.

TIPO DE MUESTRA	NORMA APLICABLE	FORMAS DE OBTENER Y TRANSPORTAR	ESTADO DE LA MUESTRA	CARACTERISTICAS
Muestra alterada en bolsas de plástico (Mab).	Practicas normalizadas para la preservación y transporte de suelos.	Con bolsas de plástico	Alterada	Debe mantener inalterada la granulometría del suelo en su estado natural al momento de muestreo.
Muestra alterada para humedad en lata sellada (Mah).	Practicas normalizadas para la preservación y transporte de suelos.	En lata sellada	Alterada	Debe mantener inalterado el contenido de agua.

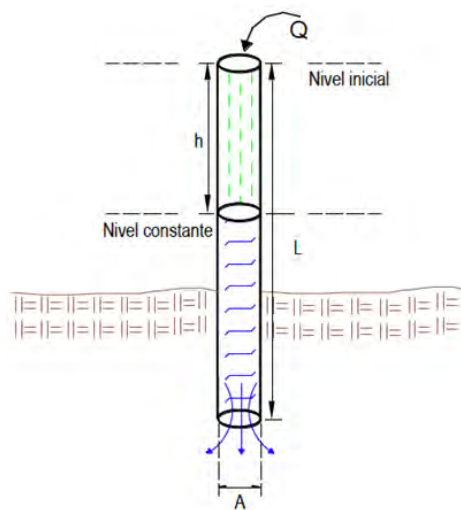
La extracción de muestras se llevó a cabo mediante el método de muestreo tipo M, incluyendo: M(ab), que corresponde a muestras alteradas en bolsas de 20 kg para el análisis granulométrico del suelo, y M(ah), que consiste en muestras alteradas almacenadas en latas

selladas para calcular sus propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.

Ensayo de infiltración

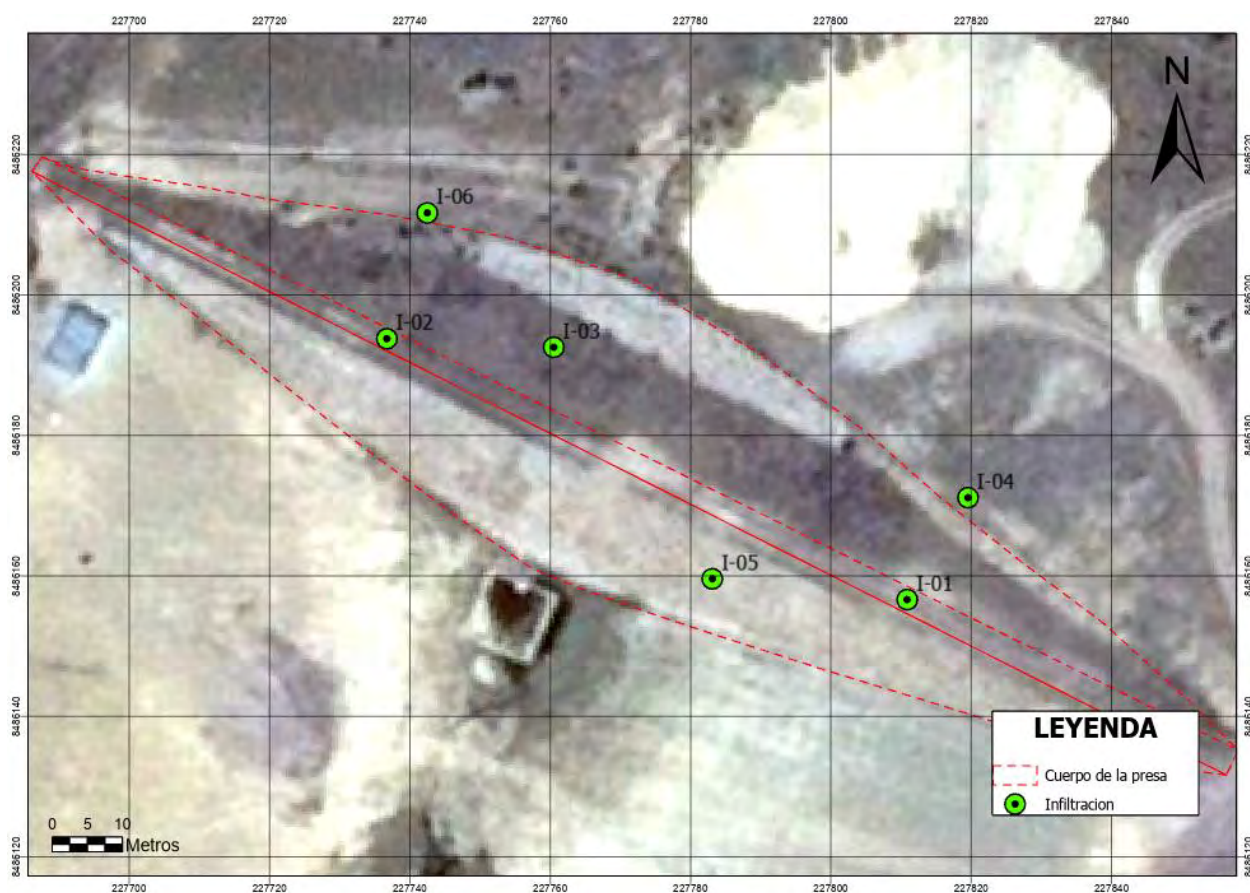
Este ensayo tuvo la finalidad de calcular la permeabilidad del suelo a carga constante, de esa manera poder calcular la conductividad hidráulica para desarrollar el análisis de filtración de la presa Qochaqocha. Este ensayo consiste en inducir la infiltración del agua aplicando una carga específica a través de un tubo de diámetro uniforme (permeámetro de 2”), el cual se introduce en el suelo. Durante la prueba, se mide el volumen de agua absorbida, registrando el descenso del nivel en función de la carga aplicada y el tiempo transcurrido.

Figura 58. *Esquema de ensayo de infiltración a carga constante.*



En esta exploración se llevaron a cabo (06) ensayos de infiltración como se puede ver en la figura 59 con el propósito de estimar la permeabilidad de los materiales que conforman el cuerpo y el cimiento de la presa Qochaqocha.

Figura 59. *Ubicación de los ensayos de infiltración.*



El procedimiento detallado y los cálculos correspondientes a estas pruebas se encuentran en el anexo, mientras que el resumen de los resultados del ensayo se presenta en la siguiente tabla 28. También se muestran algunas fotos tomadas del ensayo realizado a continuación:

Tabla 28. Resultados del ensayo de infiltración.

CODIGO	UBICACION	COORDENADAS UTM			CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA K (cm/s)
		ESTE	NORTE	ALTITUD (m.s.n.m)	
I-01	Núcleo	227802	8486156	4145	1.30E-05
I-02	Núcleo	227733	8486190	4145	1.70E-05
I-03	Espaldón	227765	8486184	4141	1.80E-04
I-04	Cimiento	227805	8486171	4136	4.25E-04
I-05	Espaldón	227770	8486160	4142	2.20E-04
I-06	Cimiento	227738	8486200	4135	3.75E-04

Figura 60. Ensayo de infiltración.



Ensayo de densidad de campo

Este ensayo se realizó según la normativa NTP 339.143 (SUELOS. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método de cono de arena). El ensayo nos permite determinar la densidad seca y la humedad del suelo compactado y también verificar el grado de compactación en campo.

Cada ensayo de densidad se realizó en las calicatas aperturadas, en total (06) ensayos para poder obtener una uniformidad de resultados que se muestran en el anexo. A continuación, se muestra algunas fotografías tomadas en campo:

Figura 61. *Ensayo de densidad campo con el cono de arena.*



Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio tuvieron como objetivo clasificar los materiales que componen el cuerpo y el cimientto de la presa según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y determinar sus propiedades. Para ello, se emplean los ensayos correspondientes y se aplican las normativas mencionadas a continuación.

Tabla 29. *Lista de ensayos y normas utilizados en laboratorio con su respectiva fotografía.*

ITEM	ENSAYO	NORMA	FOTOGRAFÍA
1	Determinación del contenido de humedad del suelo	Norma NTP 339.127 (ASTM D- 2216)	
2	Análisis granulométrico de suelos por tamizado	Norma NTP 339.128 ASTM D-422	

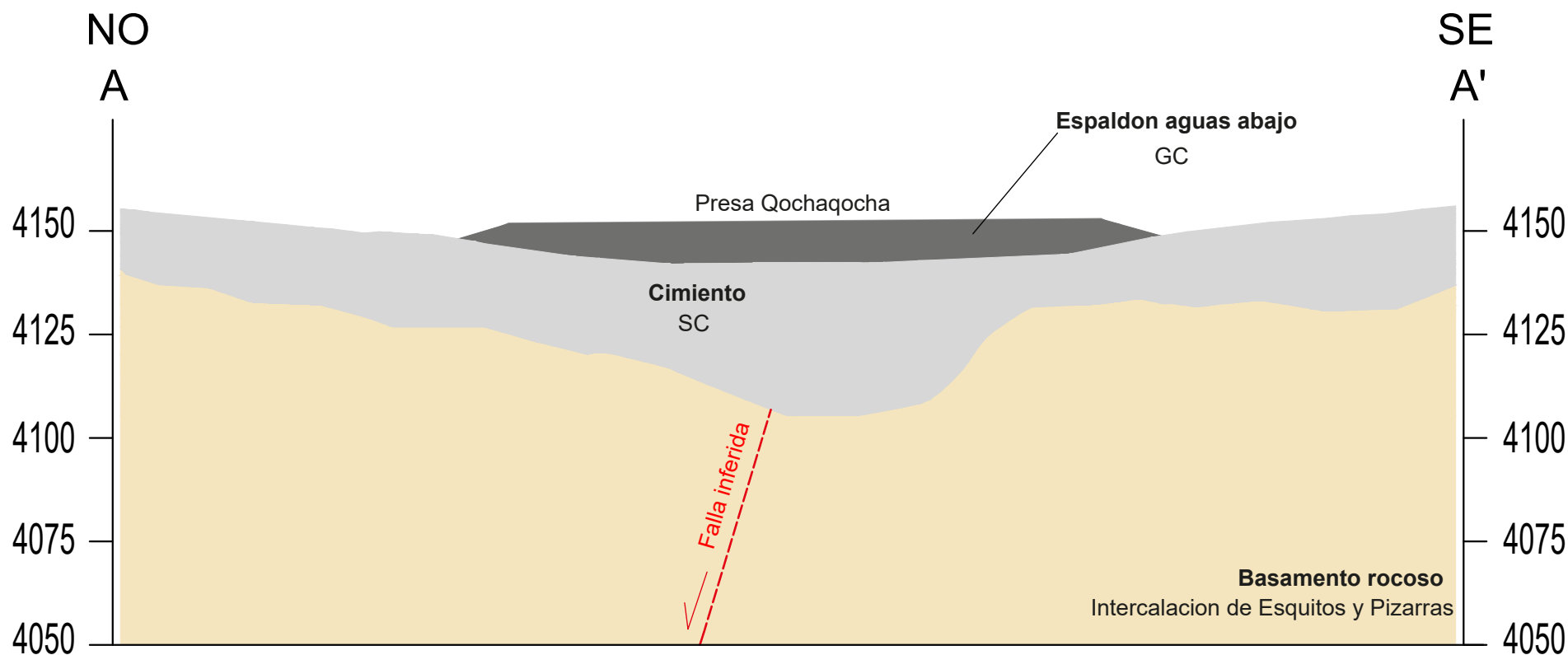
ITEM	ENSAYO	NORMA	FOTOGRAFÍA
3	Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	Norma NTP 339.129 ASTM D-4318	
4	Ensayo de corte directo (Consolidado drenado)	NTP 339.159	

Los ensayos geotécnicos fueron ejecutados en el Laboratorio de Suelos y Materiales BEC PERU INGENIEROS S.A.C., cumpliendo estrictamente con las normativas técnicas vigentes aplicables a cada tipo de prueba.

Las hojas de cálculo correspondientes a los ensayos realizados en cada calicata se presentan en la sección de anexos. A continuación, se muestra el cuadro de resumen de los ensayos, los cuales serán empleados como parámetros de entrada para la modelación y simulación numérica en el software Plaxis 2D.

Tabla 30. Cuadro de resumen de los ensayos realizados en campo y laboratorio.

CAL.	ZONA	GRAVA	ARENA	FINOS	LL	LP	IP	SUCS	HUMEDAD	Densidad natural (gr/cm3)	f INTERNA	COHESION (kg/cm2)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/s)	MODULO DE ELASTICIDAD (kPa)	v
C-01	Núcleo	13.53%	39.81%	46.66%	29%	20%	9%	SC (Arena arcillosa)	11.77%	1.92	24.04 °	0.102	1.30E-05	20500	0.31
C-02	Núcleo	29.76%	32.93%	37.31%	32%	20%	12%	SC (Arena arcillosa con grava)	9.39%	1.97	28.01 °	0.092	1.70E-05	19500	0.35
C-03	Espaldón	43.77%	28.96%	27.27%	28%	18%	10%	GC (Grava arcillosa con arena)	10.63%	2.07	29.02 °	0.052	1.80E-04	45000	0.29
C-04	Cimiento	19.58%	35.51%	44.91%	26%	18%	8%	SC (Arena arcillosa con grava)	16.97%	1.95	28.81 °	0.121	4.25E-04	17000	0.33
C-05	Espaldón	32.97%	29.52%	37.51%	27%	18%	9%	GC (Grava arcillosa con arena)	13.22%	2.03	31.37 °	0.050	2.20E-04	55000	0.31
C-06	Cimiento	19.04%	33.55%	47.41%	26%	18%	8%	SC (Arena arcillosa con grava)	16.24%	2.05	27.02 °	0.110	3.75E-05	19000	0.33



REALIZADO POR:

- Br. Ronald Cutipa Apaza
- Br. Washington Rubén Parque Choquetocro

REVISADO POR: Dra. Josefina Escalante Gutierrez

FECHA: Febrero, 2026

ESCALA: 1/250

ACOTACIONES: Metros

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA , MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

PLANO:

SECCIÓN GEOTÉCNICA DE LA PRESA QOCHAQOCHA

PLANO N°:

03

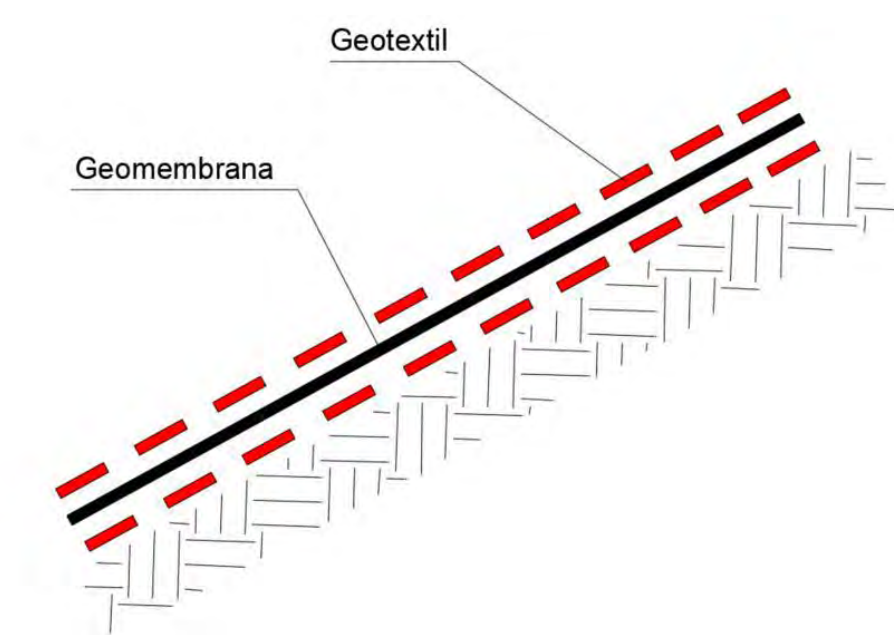
NOMBRE DEL PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO - 2024"

3.5.2. Procedimiento de la medición de las variables

3.5.2.1. Procedimiento de la medición de la variable (Geosintéticos)

La incorporación de geosintéticos a la presa Qochaqocha se realizó mediante el revestimiento por el talud aguas arriba y una cortina al pie del talud aguas arriba con un arreglo de un geotextil de 270 g/m² y geomembrana HDPE de 1.5 mm como se muestra a continuación en la siguiente figura.

Figura 62. Arreglo de geosintéticos para la incorporación a la presa.



Se adoptó dicha configuración debido a que la geomembrana de HDPE de 1.5 mm cumple la función principal de impermeabilización del cuerpo de la presa, mientras que el geotextil de 270 g/m² actúa como capa de protección mecánica para evitar el punzonamiento o daño de la geomembrana. Esta disposición se consideró adecuada dadas las condiciones geológicas del área de estudio, donde se presenta la presencia de rocas duras, como cuarcitas, las cuales podrían generar esfuerzos concentrados sobre la membrana si no existiera una capa protectora adecuada.

3.5.2.1.1. Propiedades mecánica e hidráulicas de los geosintéticos

Para la simulación numérica en el software Plaxis 2D fue necesario definir las propiedades mecánicas e hidráulicas del geotextil y de la geomembrana, con el fin de representar adecuadamente su comportamiento dentro del modelo de la presa. Los valores utilizados en la simulación fueron obtenidos y estimados a partir de la ficha técnica proporcionada por el fabricante, a partir de la cual se derivaron los parámetros requeridos para su incorporación en el modelo numérico.

Geotextil de 270 g/m²

En el modelado numérico, este material fue representado mediante su rigidez axial, dado que el software PLAXIS 2D lo considera como un elemento estructural lineal (Geogrid) con comportamiento predominantemente rígido.

Tabla 31. Especificaciones técnicas del geotextil 270 g/m².

PROPIEDADES	ENSAYO	UND	VALOR TÍPICO
Masa por Unidad de Área	ASTM D 5261	gr/m ²	270
Método Grab			
Resistencia a la tracción	ASTM D 4832	N	1070
Elongación		%	>50
Método Tira Ancha			
Sentido Longitudinal	ASTM D 4595	KN /m	17
Elongación		%	>50
Sentido transversal	ASTM D 4595	KN /m	16
Elongación		%	>50
Resistencia al desgarre trapezoidal	ASTM D 4533	N	400
Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	N	615
Resistencia al punzonamiento CBR	ASTM D 6241	KN	2.90
Resistencia al estallido	ASTM D 3786	Kpa	2575
Permitividad	ASTM D 4491	S ⁻¹	1.70
Permeabilidad	ASTM 14491	cm/seg	0.33
Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0.15
Tasa de flujo	ASTM D 4491	L/min/m ²	4200
Estabilidad a los rayos ultravioletas	ASTM D 4355	%	>70
Ancho de Rollo	Medido	m	Igual o mayor a 4.0
Largo de Rollo	Medido	m	Igual o mayor a 100

Nota. En la tabla 31 se presentan las especificaciones técnicas del geotextil de 270 g/m², las cuales serán empleadas para la determinación de sus propiedades mecánicas, principalmente la rigidez axial y el peso unitario, parámetros necesarios para su incorporación en el modelo de simulación numérica desarrollado en el software Plaxis 2D. Adoptado de (IMA).

Rigidez axial

Datos: $T_{long} = 17 \text{ kN/m}$ (tensión ancha, dirección longitudinal) y $\varepsilon_{ruptura} > 50\%$. Para obtener EA se usa la relación directa (válida cuando se toma una pendiente secante entre tensión y deformación):

$$EA = \frac{T(\varepsilon_{ref})}{\varepsilon_{ref}}$$

Si tomamos $\varepsilon_{ref} = 0.50$ (50 %) —valor proporcionado en la ficha como elongación—:

$$EA = \frac{17 \text{ kN/m}}{0.50} = 34 \text{ kN/m}.$$

Peso unitario

Tomando el geotextil no tejido de 270 g/m², el peso unitario (γ) se obtiene de:

$$\gamma = \frac{G}{1000}$$

donde:

- G = gramaje (g/m²).
- el denominador convierte g/m² a kN/m³ considerando la relación con el peso específico del agua (9.81 kN/m³ $\approx$ 1000 kg/m³).

Cálculo:

$$\gamma = \frac{270 \text{ g/m}^2}{1000} = 0.27 \text{ kg/m}^2$$

Expresado como peso unitario volumétrico aproximado, considerando un espesor medio de 2 mm (0.002 m):

$$\gamma = \frac{0.27}{0.002} = 135 \text{ kg/m}^3 = 1.32 \text{ kN/m}^3$$

Geomembrana de HDPE de 1.5 mm

En el modelado numérico, este material fue representado en Plaxis 2D como un material tipo suelo con propiedades hidráulicas y mecánicas específicas, las cuales fueron extraídas de la ficha técnica del fabricante. Las propiedades incorporadas como la permeabilidad, el peso unitario, el módulo de elasticidad y la relación de Poisson se definieron en función del comportamiento de la geomembrana como barrera impermeable, siguiendo las recomendaciones de (Koerner, 2012b) y de la norma ASTM D5322, que establece los procedimientos para la caracterización de geomembranas.

Tabla 32. Especificaciones técnicas de la geomembrana de HDPE de 1.5 mm.

PROPIEDADES	NORMA	UNID	FRECUENCIA	VALOR
Espesor Promedio	ASTM D 5199	[mm]	Por Rollo	1,500
Mínimo Individual más bajo				1,350
Densidad	ASTM D 792	[g/cc]	18,000 kg	0,940
Propiedades Tensiles:	ASTM D 6683		9,000 kg	
Tensión de Fluencia	Tipo IV	[KN/m]		22
Tensión de Rotura		[KN/m]		40
Elongación de Fluencia		[%]		12
Elongación de Rotura		[%]		700
Resistencia al Rasgado	ASTM D 1004	[N]	18,000 kg	187
Resistencia al Punzonado	ASTM D 4833	[N]	18,000 kg	480
Resistencia al Agrietamiento	ASTM D 5397	[hr]	Por GRI GM10	500
Contenido de Carbón	ASTM D 4218	[%]	9,000 kg	2.0 – 3.0
Dispersión de carbón	ASTM D 5595	Categoría	18,000 kg	1.0 ó 2.0
Tiempo de Inducción				
Oxidación (OIT)				
OIT Estándar	ASTM D 3895	[min]	90,000 kg	100
Alta Presión OIT	ASTM D 5885	[min]	90,000 kg	400
Envejecimiento en Horno a 85 °C	ASTM D-5721			
Retención 90 días OIT estándar	ASTM D-3895	[%]	Por cada Formulación	65
Retención 90 días Alta presión	ASTM D-5885	[%]		80
Resistencia UV	ASTM D 7238	[%]	Por cada Formulación	50
Retención 1920 hr. OIT-HP	ASTM D-5885			
Ancho de Rollo	Medido	M	Medido	Mayor o igual a 8,5
Largo de Rollo	Medido	M	Medido	Mayor o igual a 180

Nota. De igual forma todos los parámetros para simular la geomembrana en el software Plaxis 2D se calcularon en base a las especificaciones técnicas de la tabla 32. Adoptado de (IMA).

Peso unitario

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Donde:

- $\rho = 940 \text{ kg/m}^3$ (densidad típica del HDPE según Koerner, 2012)
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$$\gamma = 940 \cdot 9.81 = 9221.4 \text{ N/m}^3 = 9.22 \text{ kN/m}^3$$

Módulo de elasticidad

De acuerdo con Koerner (2012a), el módulo de elasticidad puede aproximarse mediante:

$$E = \frac{\sigma_y}{\varepsilon_y}$$

De la ficha técnica:

- Tensión de fluencia ($\sigma_{_y}$) = 14.67 MPa = $14.67 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
- Deformación a la fluencia ($\varepsilon_{_y}$) = 12% = 0.12

$$E = \frac{14.67 \times 10^6}{0.12} = 122.25 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 1.22 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$$

Coefficiente de Poisson

Para geomembranas de HDPE, el valor típico se encuentra entre 0.40 – 0.49 según Koerner (2012a), entonces se tomara $v=0.45$.

Coefficiente de permeabilidad

El HDPE se considera prácticamente impermeable, entonces el valor promedio según Rowe (2012) se va a considerar el valor de: $k=10\text{e-}13 \text{ m/s}$.

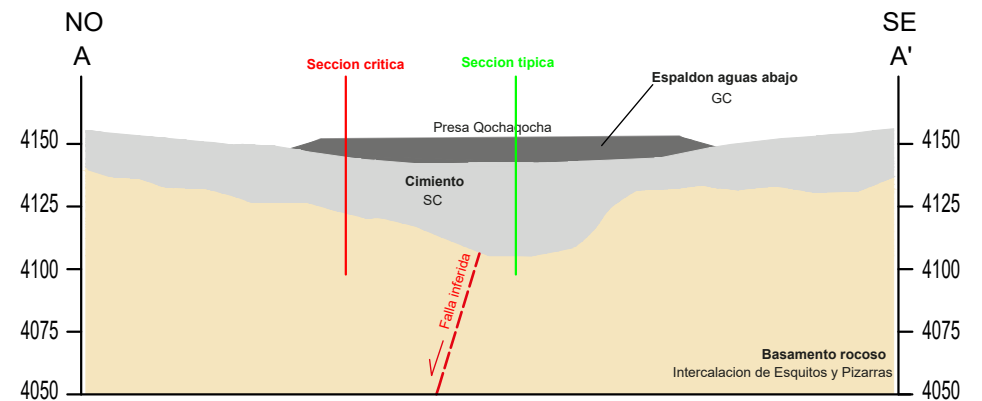
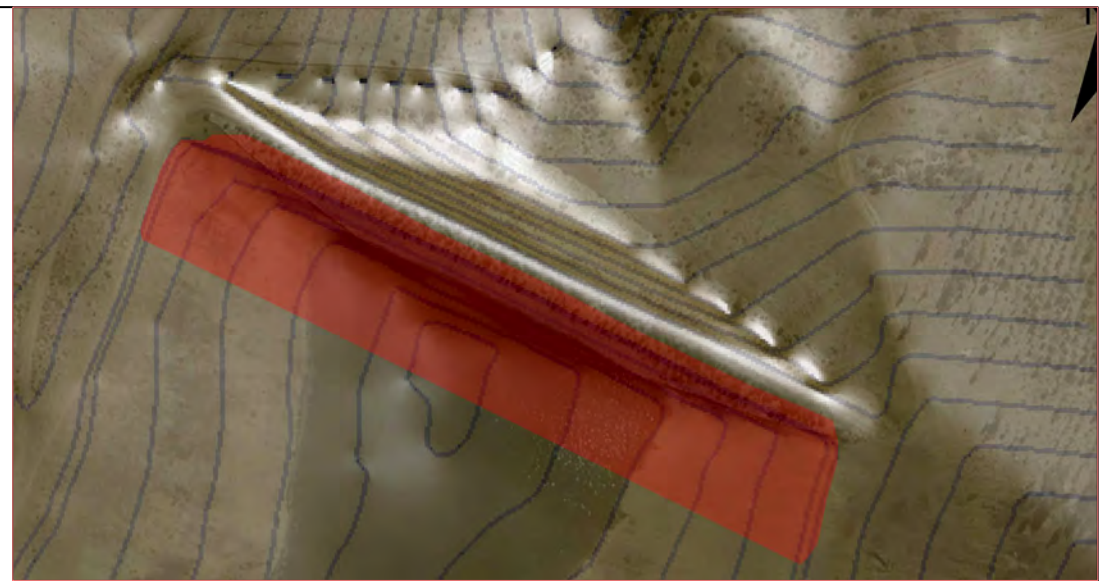
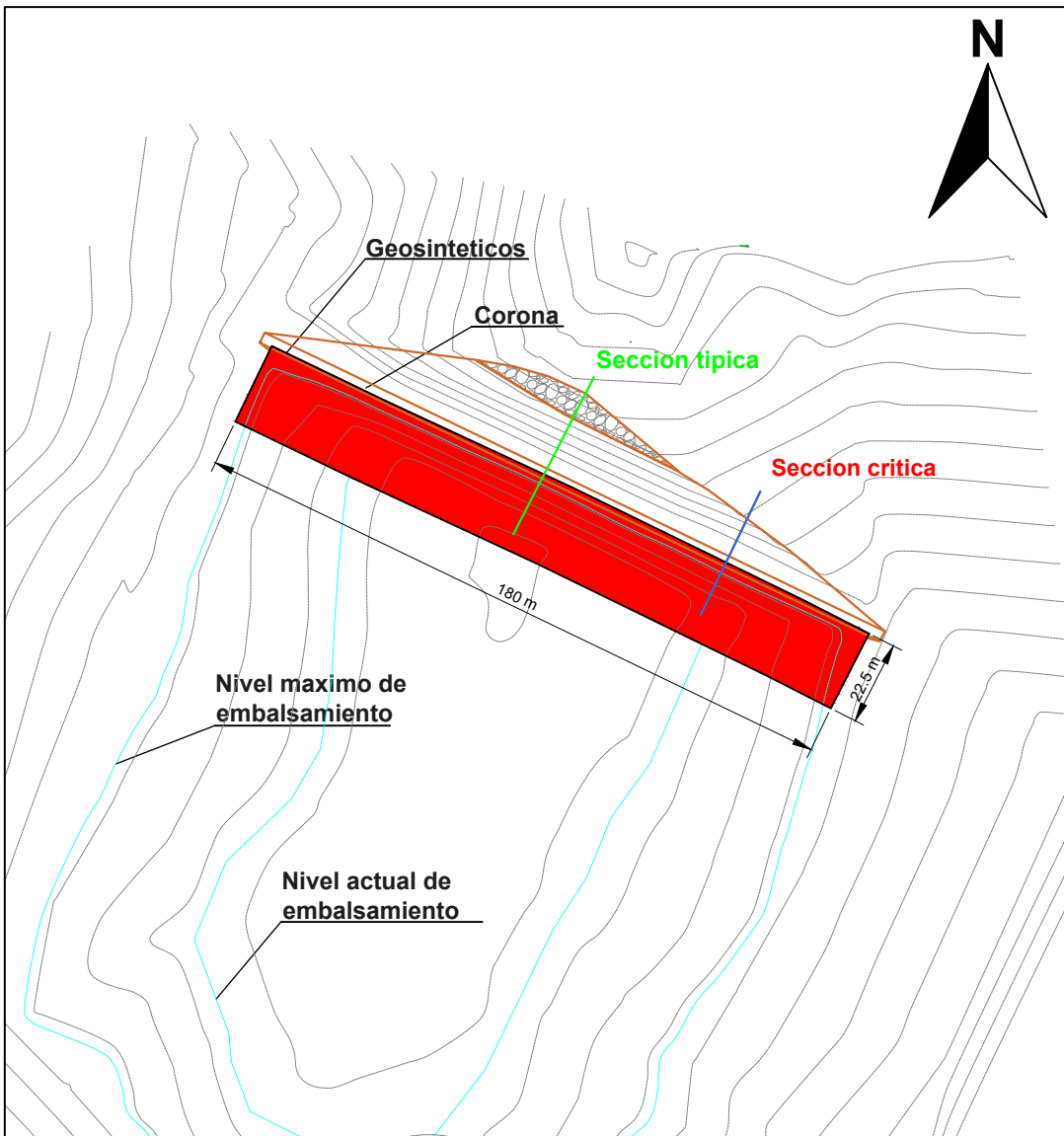
3.5.2.1.2. Secciones de análisis

Para evaluar el efecto de la incorporación de geosintéticos en la estabilidad de taludes y en las filtraciones internas de la presa Qochaqocha mediante simulación numérica, se definieron dos (02) secciones de análisis, cada una con dos escenarios de evaluación: sin incorporación y con incorporación de geosintéticos. La incorporación de geosintéticos se plantea en forma de revestimiento en el talud o espaldón aguas arriba, complementado con una cortina impermeable de la misma configuración dispuesta verticalmente a aproximadamente 5 m del pie del talud aguas arriba, con la finalidad de reducir las filtraciones y mejorar la estabilidad de la presa. Las dos secciones fueron seleccionadas estratégicamente para analizar su comportamiento frente a la implementación de esta solución. La primera corresponde a la sección central típica del cuerpo de la presa, considerada representativa en este tipo de análisis, ya que suele concentrar condiciones críticas de esfuerzo y comportamiento estructural. La segunda sección fue definida en la zona donde se evidencian procesos de socavación y posibles trayectorias de fuga de agua, por lo que se considera la sección crítica de análisis.

A continuación, se presentan los planos correspondientes:

- Plano 04: Ubicación de las secciones de análisis en planta y en perfil.
- Plano 05: Escenario 01, sección típica de análisis sin incorporación de geosintéticos.
- Plano 06: Escenario 02, sección típica de análisis con incorporación de geosintéticos.
- Plano 07: Escenario 03, sección crítica de análisis sin incorporación de geosintéticos.
- Plano 08: Escenario 04, sección crítica de análisis con incorporación de geosintéticos.

Los cuatro (04) escenarios definidos serán modelados y analizados mediante simulación numérica en el software Plaxis 2D.



REALIZADO POR:

- Br. Ronald Cutipa Apaza
- Br. Washington Rubén Parque Choquetocro

REVISADO POR: Dra. Josefina Escalante Gutierrez

FECHA: Febrero, 2026

ESCALA: 1/2000

ACOTACIONES: Metros

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA , MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

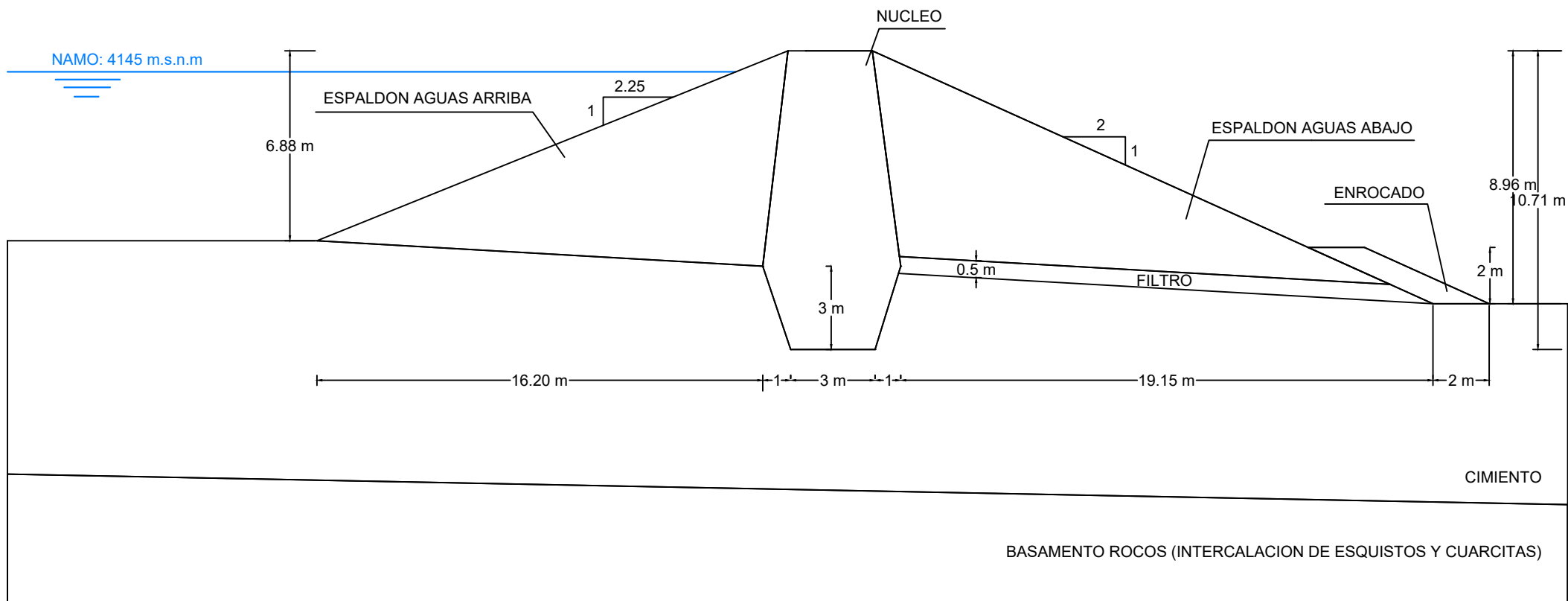
PLANO:

UBICACION DE LAS SECCIONES DE ANALISIS EN
PLANTA Y EN PERFIL

PLANO N°:

04

NOMBRE DEL PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO - 2024"



REALIZADO POR:

- Br. Ronald Cutipa Apaza
- Br. Washington Rubén Parque Choquetocro

REVISADO POR: Dra. Josefina Escalante Gutierrez

FECHA: Febrero, 2026

ESCALA: 1/200

ACOTACIONES: Metros

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA , MINAS Y METALURGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

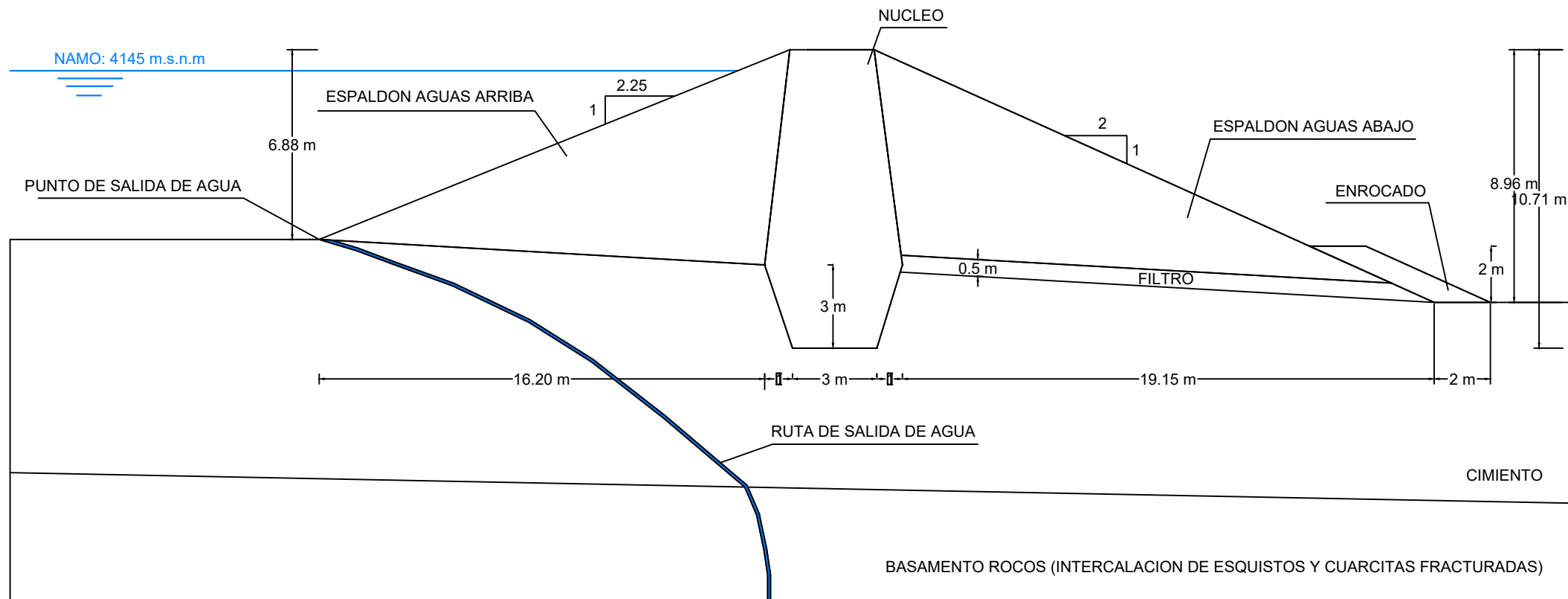
PLANO:

ESCENARIO 01: SECCIÓN TÍPICA SIN GEOSINTÉTICOS

PLANO N°:

05

NOMBRE DEL PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO - 2024"



REALIZADO POR:

- Br. Ronald Cutipa Apaza
- Br. Washington Rubén Parque Choquetocro

REVISADO POR: Dra. Josefina Escalante Gutierrez

FECHA: Febrero, 2026

ESCALA: 1/200

ACOTACIONES: Metros

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

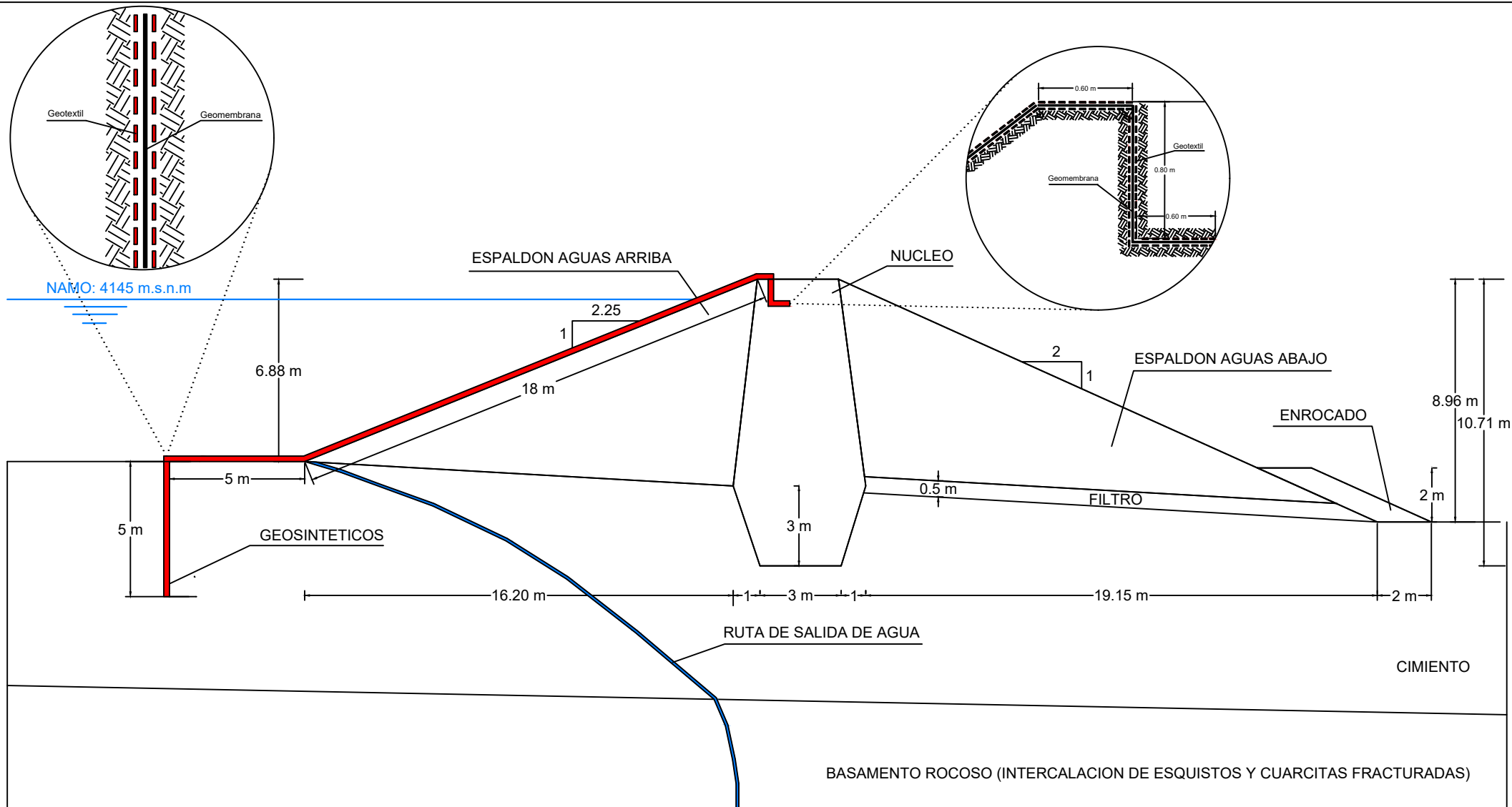
PLANO:

ESCENARIO 03: SECCIÓN CRÍTICA SIN GEOSINTÉTICOS

PLANO N°:

07

NOMBRE DEL PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO - 2024"



REALIZADO POR:

- Br. Ronald Cutipa Apaza
- Br. Washington Rubén Parque Choquetocro

REVISADO POR: Dra. Josefina Escalante Gutierrez

FECHA: Febrero, 2026

ESCALA: 1/200

ACOTACIONES: Metros

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA , MINAS Y METALURGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

PLANO:

ESCENARIO 04: SECCIÓN CRÍTICA CON GEOSINTÉTICOS

PLANO N°:

08

NOMBRE DEL PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO - 2024"

3.5.2.2. Procedimiento de la medición de las variables (Estabilidad y Filtraciones)

3.5.2.2.1. Parámetros de entrada al software Plaxis 2D

A continuación, se presentan las tablas con los parámetros geotécnicos e hidráulicos obtenidos a partir de los ensayos de campo y laboratorio realizados en la presa Qochaqocha. Estos parámetros constituyen datos fundamentales para la modelación y simulación numérica en el software Plaxis 2D.

Tabla 33. *Parámetros geotécnicos de los materiales que conforman la estructura de la presa.*

Componente	$\gamma_{\text{unsat}}(\text{kN/m}^3)$	$\gamma_{\text{sat}}(\text{kN/m}^3)$	C (kN/m ²)	Φ (°)	E (kN/m ²)	ν
Espaldones	20.00	21.50	5.00	30.00	50000	0.30
Núcleo	19.00	20.50	10.00	26.00	20000	0.33
Filtro	17.00	18.00	1.00	34.00	10000	0.33
Cimiento	19.50	21.00	12.00	28.00	18000	0.30
Enrocado	25.00	26.00	50.00	42.00	400000	0.20
Basamento	23.00	25.00	100.00	40.00	1000000	0.25

Tabla 34. *Parámetros hidráulicos de los materiales que conforman la estructura de la presa.*

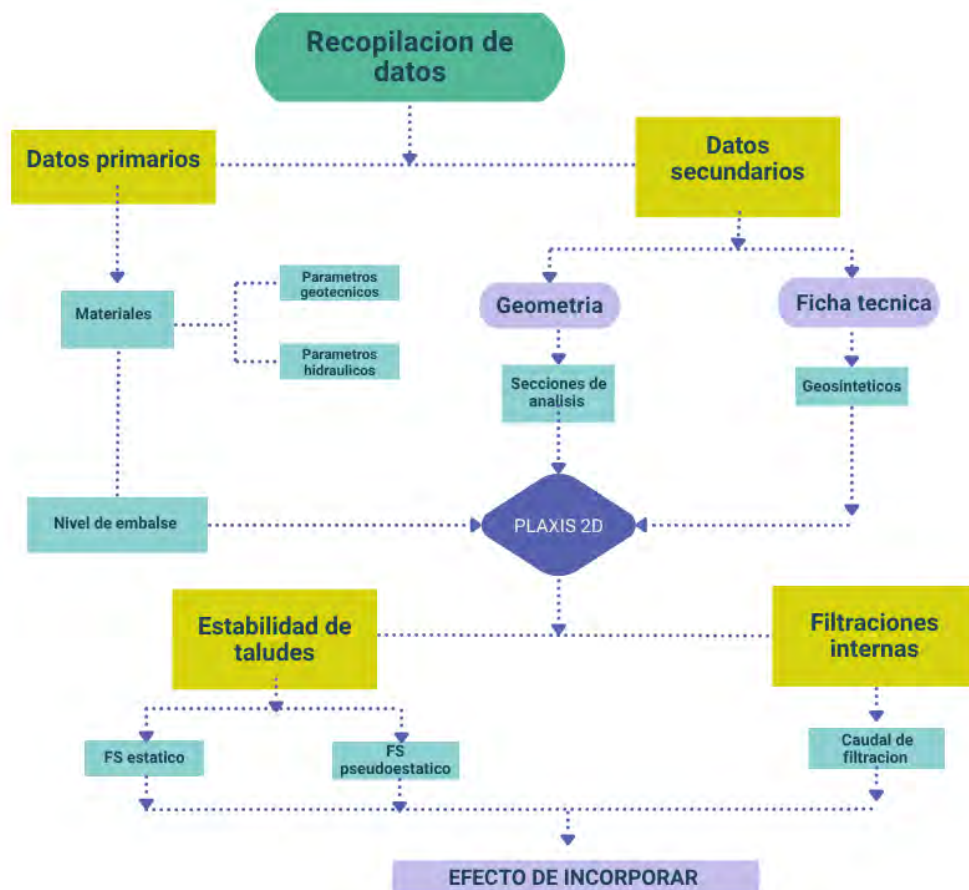
Componente	Permeabilidad (m/s)
Espaldones	2.00E-06
Núcleo	1.00E-08
Filtro	1.00E-03
Cimiento	4.00E-05
Enrocado	1.00E+00
Basamento	1.00E-04

3.5.2.2.2. Alcances y condiciones de análisis

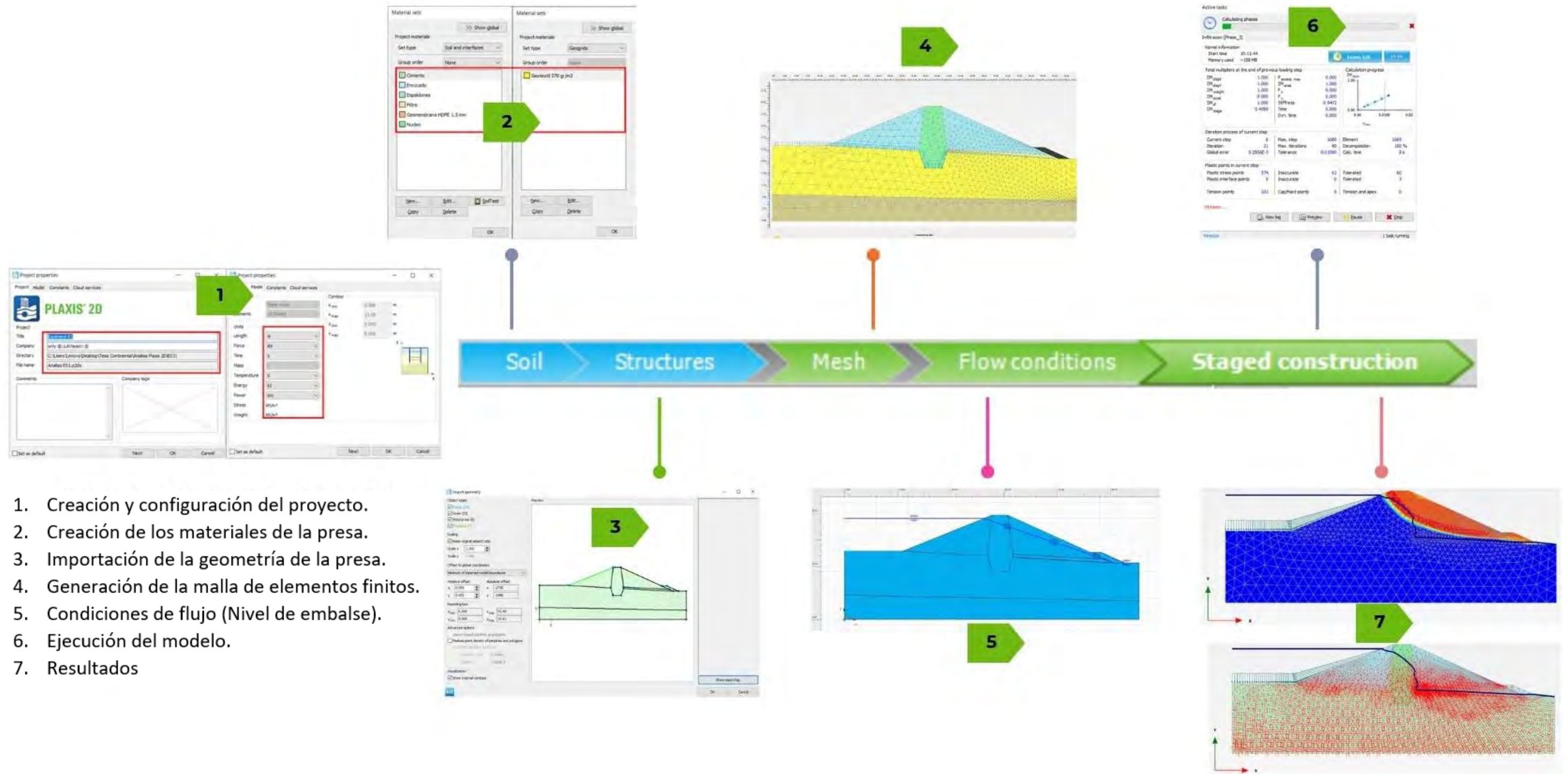
- El análisis se realizó bajo un enfoque estático, complementado con una evaluación pseudoestática considerando una aceleración horizontal (PGA) de 0.16 g.
- Se asumió que la presa opera bajo su nivel máximo de embalse (NAME), representando la condición más crítica de carga hidráulica.
- El software Plaxis 2D utilizado para la simulación numérica corresponde a su versión académica, la cual permite realizar simulaciones geotécnicas bidimensionales con precisión suficiente para fines de investigación.
- El procedimiento del análisis fue realizado según el tutorial manual Plaxis 2D 2025.1.

3.5.2.2.3. Procedimiento de análisis

Figura 63. Diagrama de flujo para alcanzar los objetivos de la investigación



Procedimiento de la simulación en el software Plaxis 2D



A continuación, se muestran los cálculos realizados en cada sección según al procedimiento de la simulación con el software Plaxis 2D.

Escenario 01: Sección típica sin incorporación de geosintéticos

Figura 64. *Desplazamientos incrementales del escenario 01.*

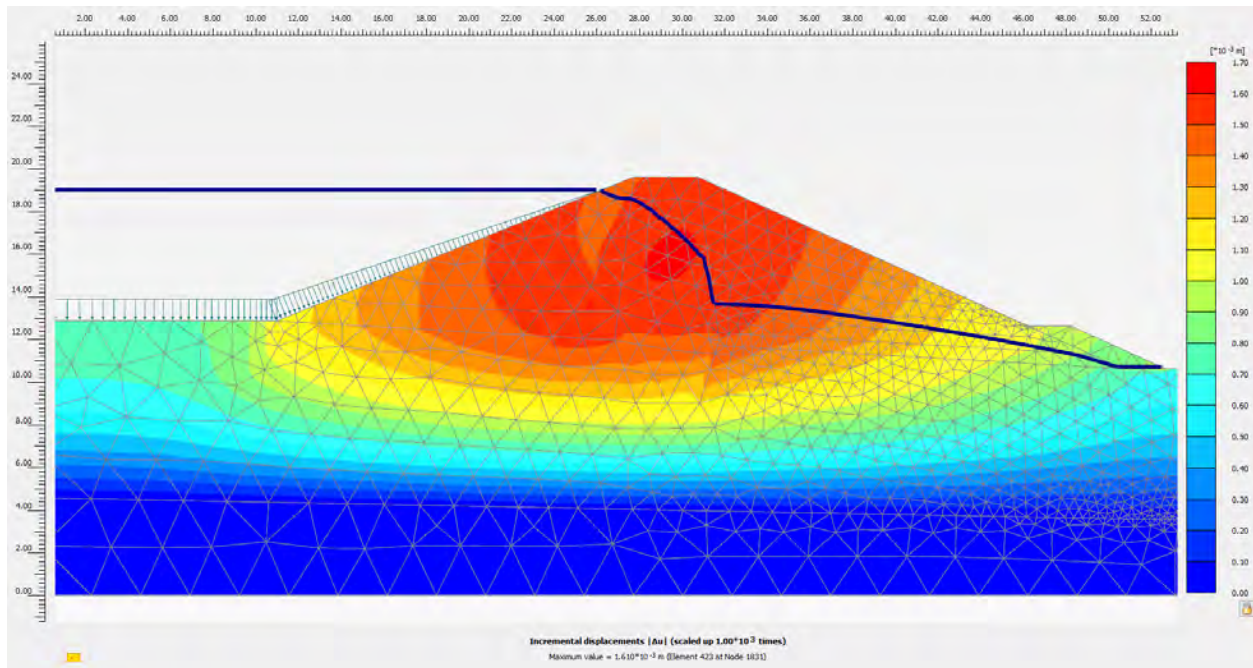


Figura 65. *Factores de seguridad con embalse lleno del escenario 01.*

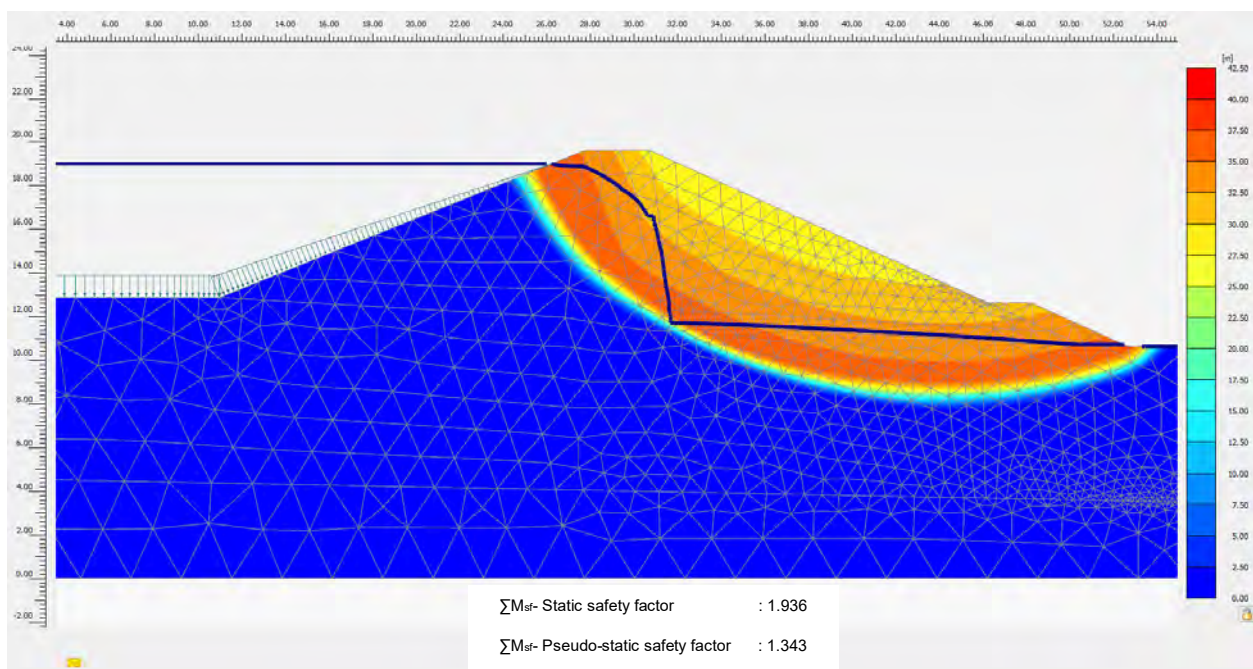


Figura 66. *Flujo de aguas subterráneas del escenario 01.*

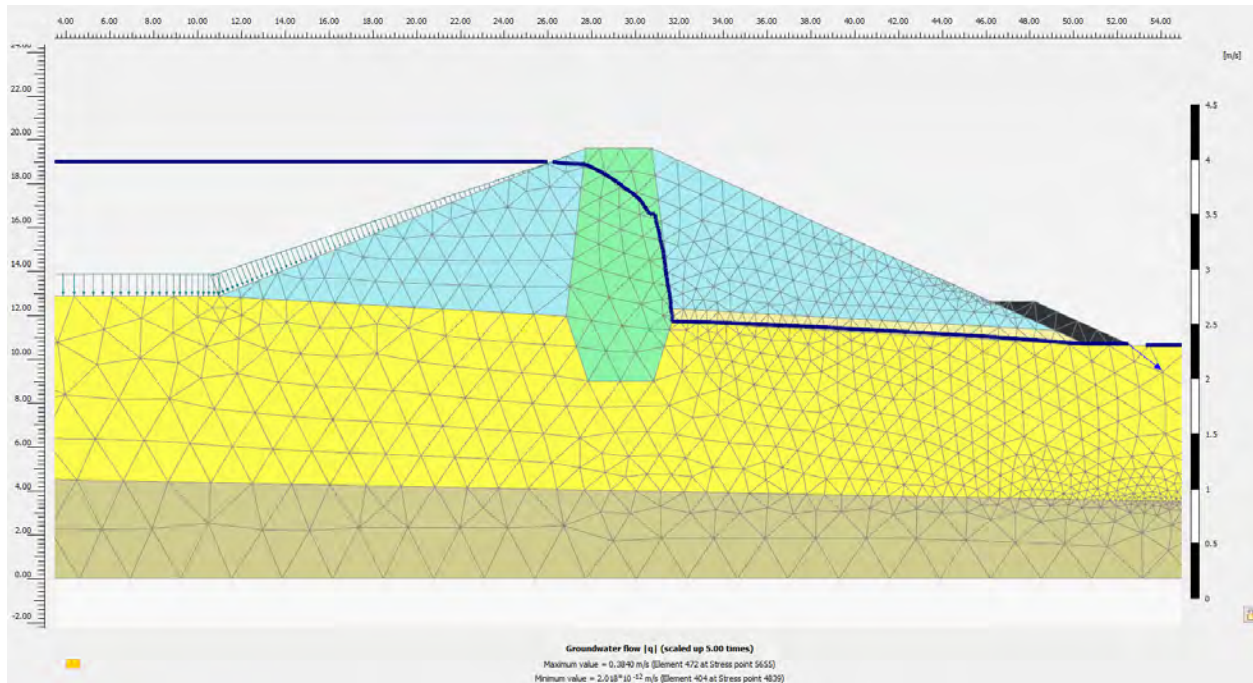
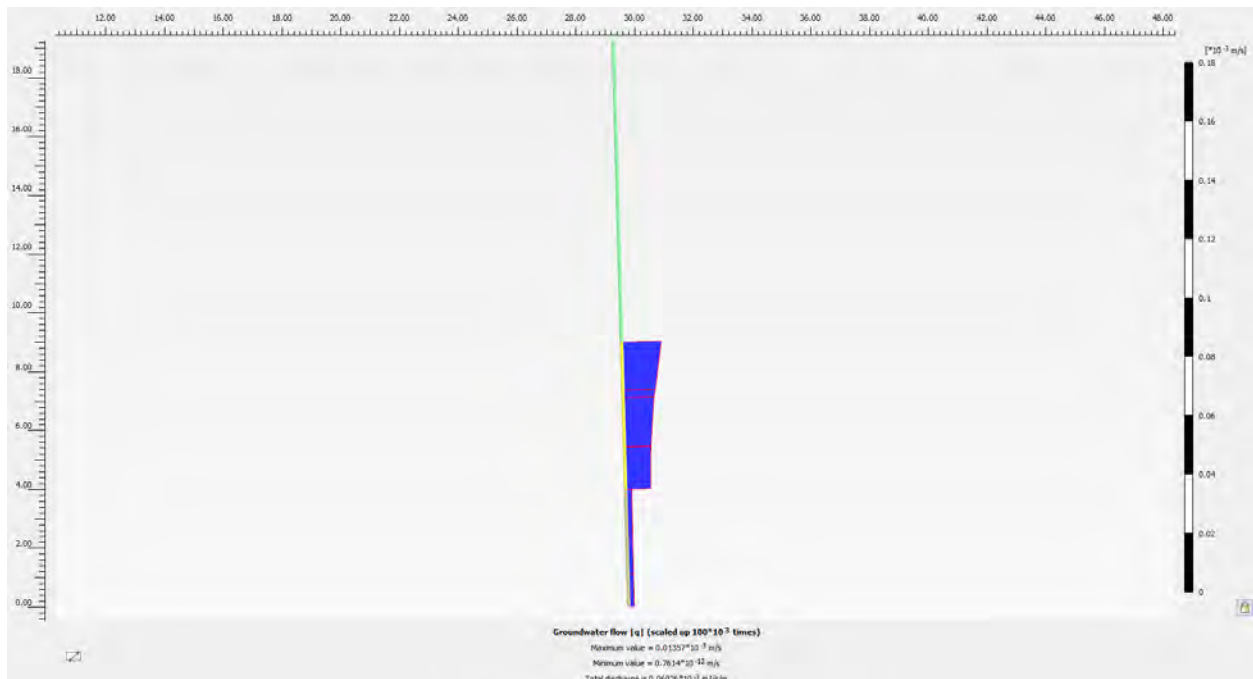


Figura 67. *Caudal total del agua mediante la sección de flujo del escenario 01.*



Escenario 02: Sección típica con incorporación de geosintéticos

Figura 68. *Desplazamientos incrementales del escenario 02.*

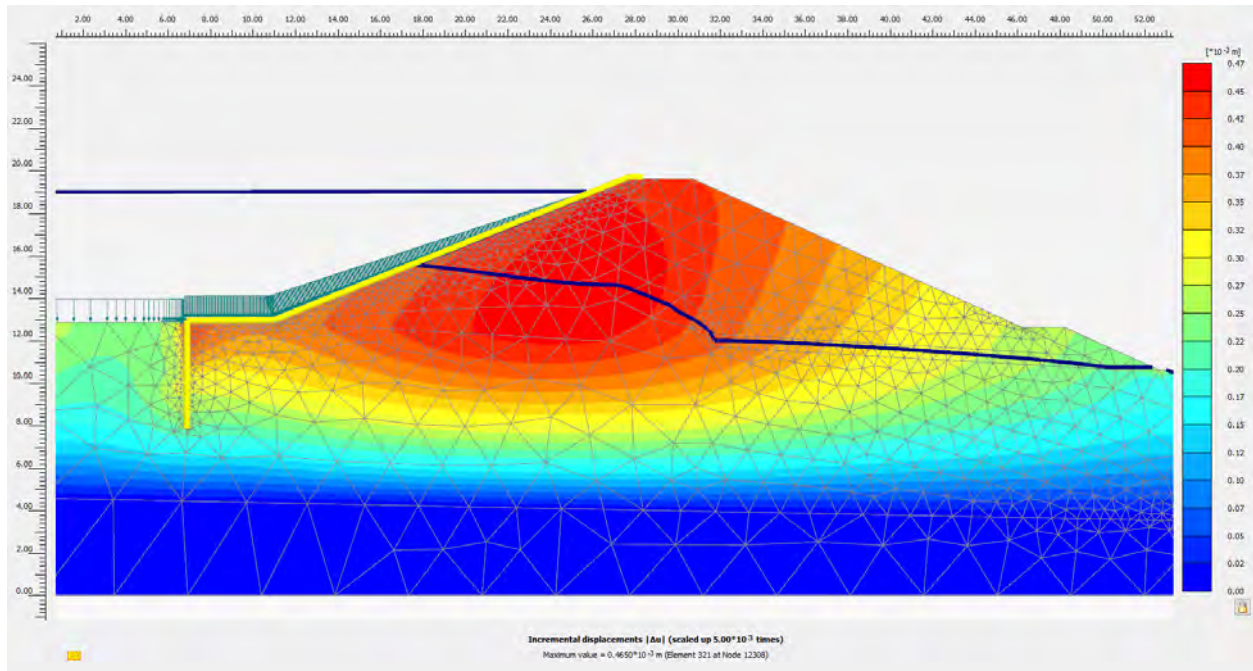


Figura 69. *Factores de seguridad con embalse lleno del escenario 02.*

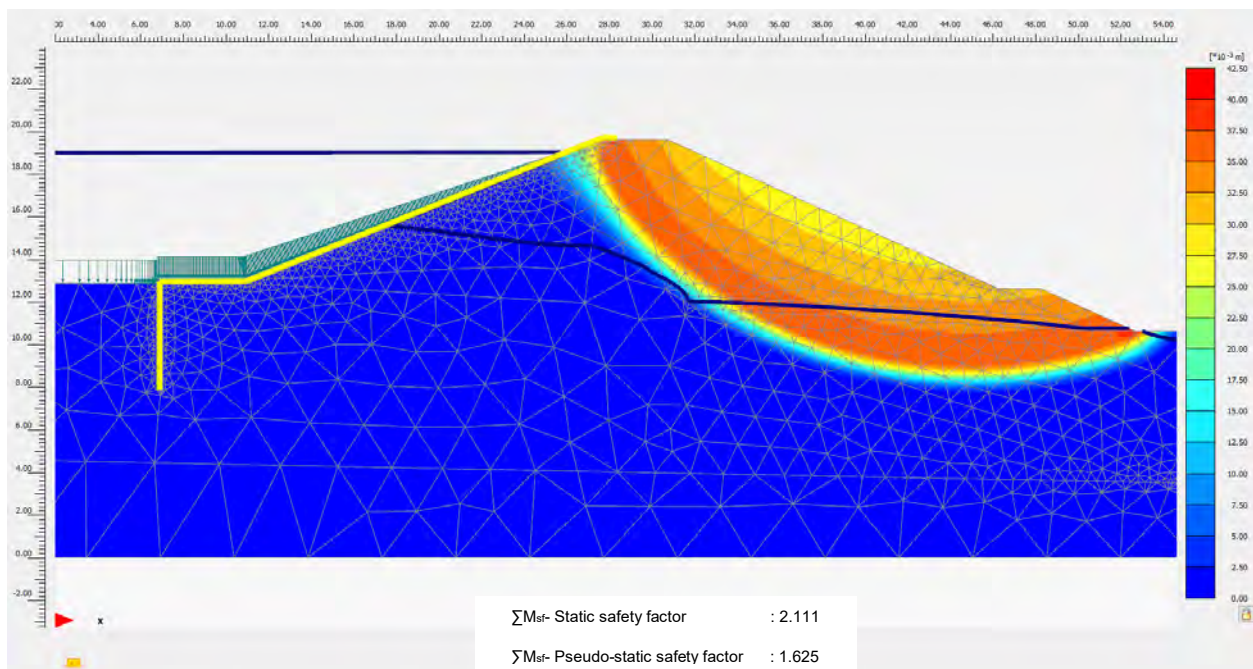


Figura 70. *Flujo de aguas subterráneas del escenario 02.*

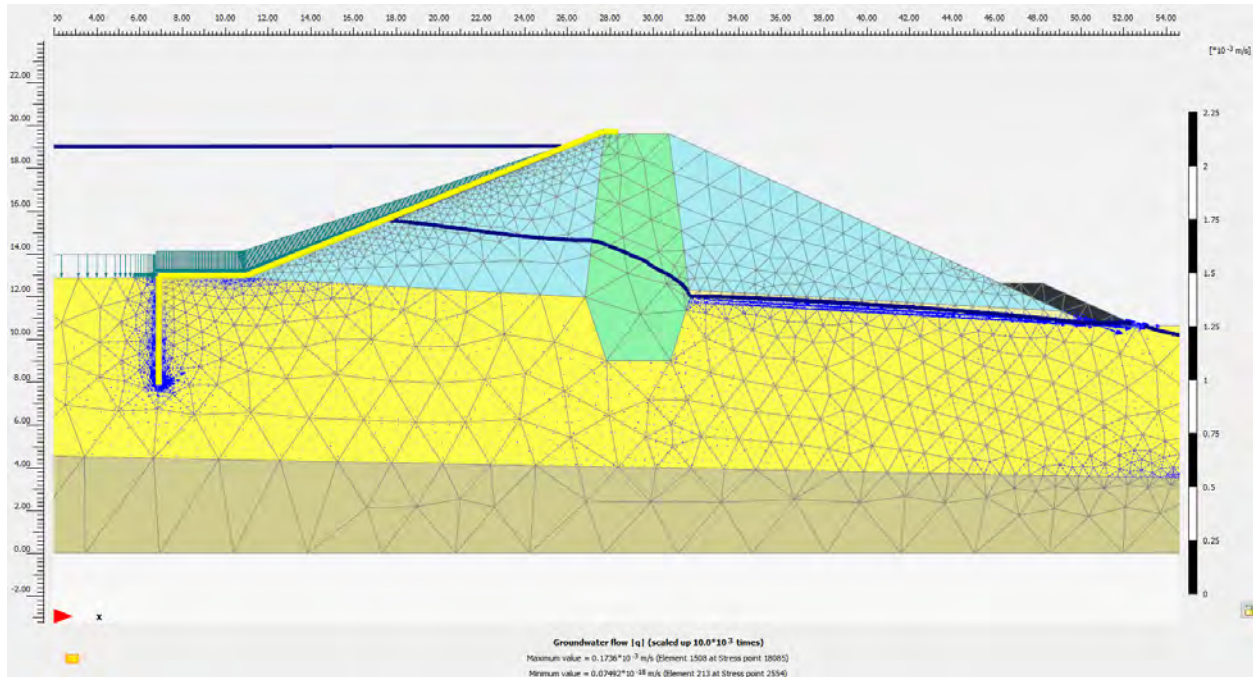
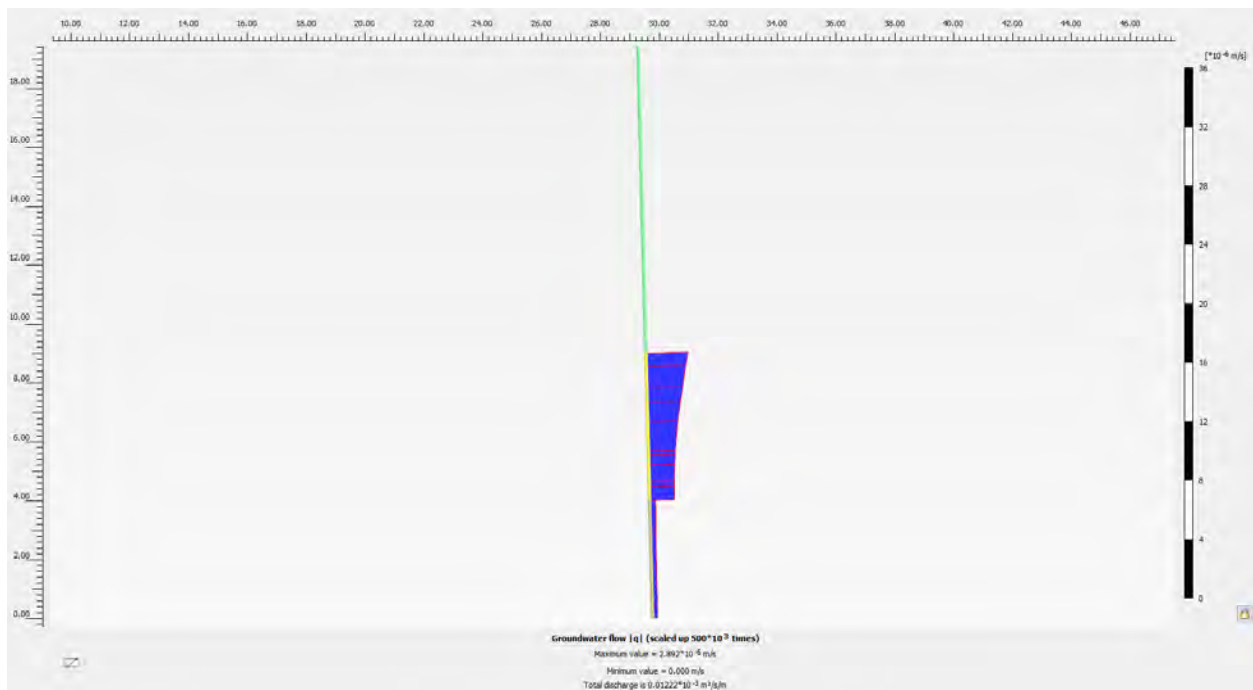


Figura 71. *Caudal total del agua mediante la sección de flujo del escenario 02.*



Escenario 03: Sección crítica sin incorporación de geosintéticos

Figura 72. *Desplazamientos incrementales del escenario 03.*

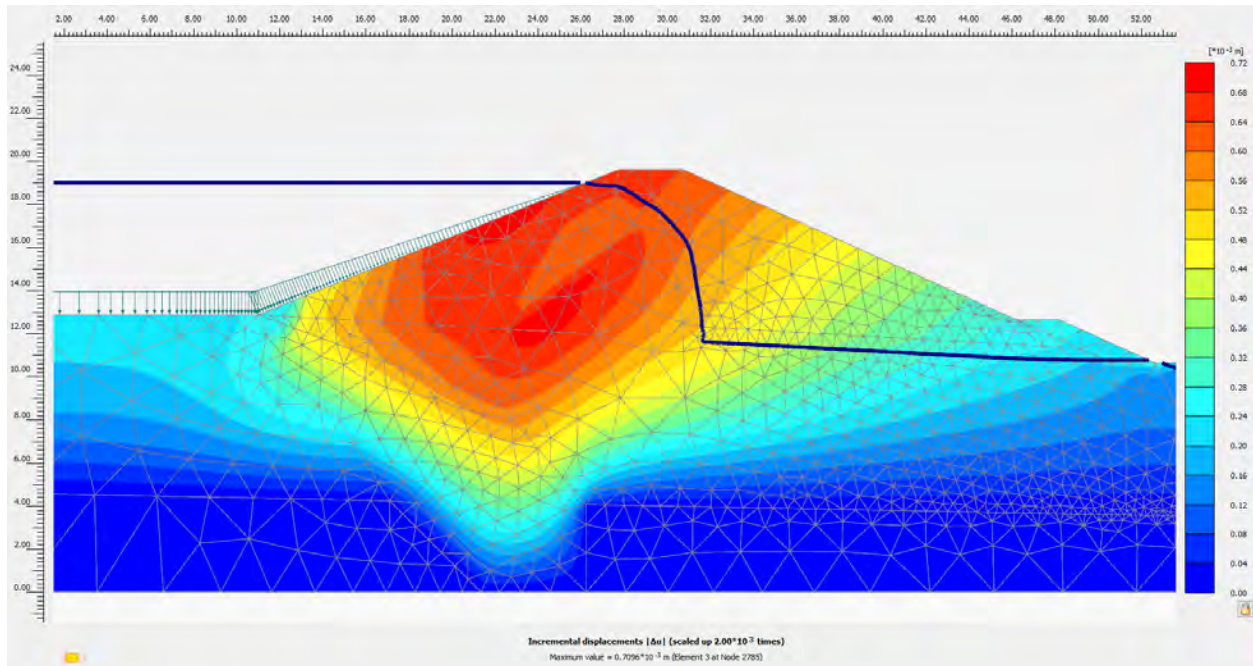


Figura 73. *Factores de seguridad con embalse lleno del escenario 03.*

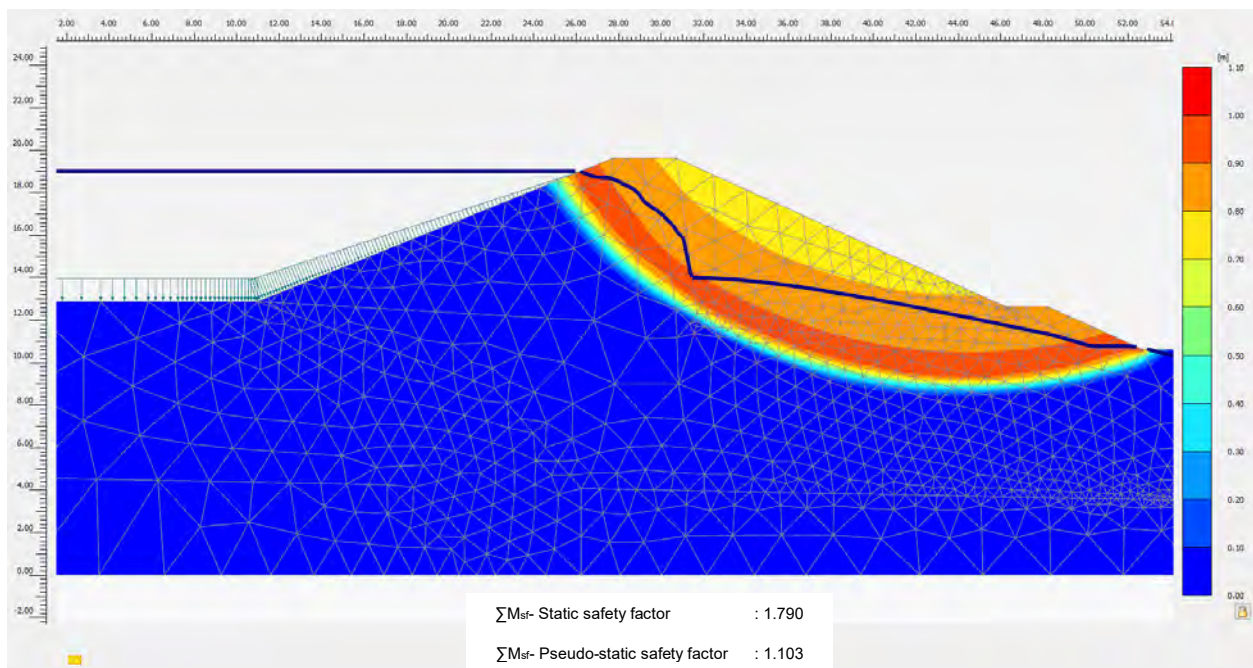


Figura 74. *Flujo de aguas subterráneas del escenario 03.*

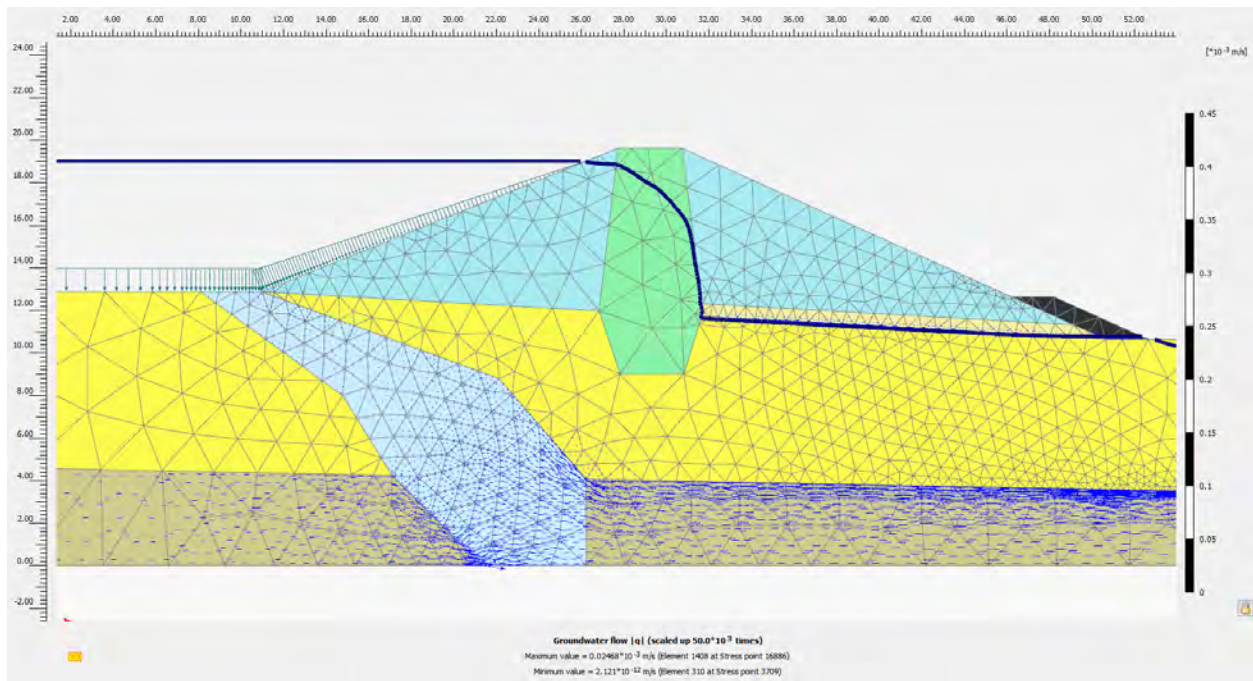
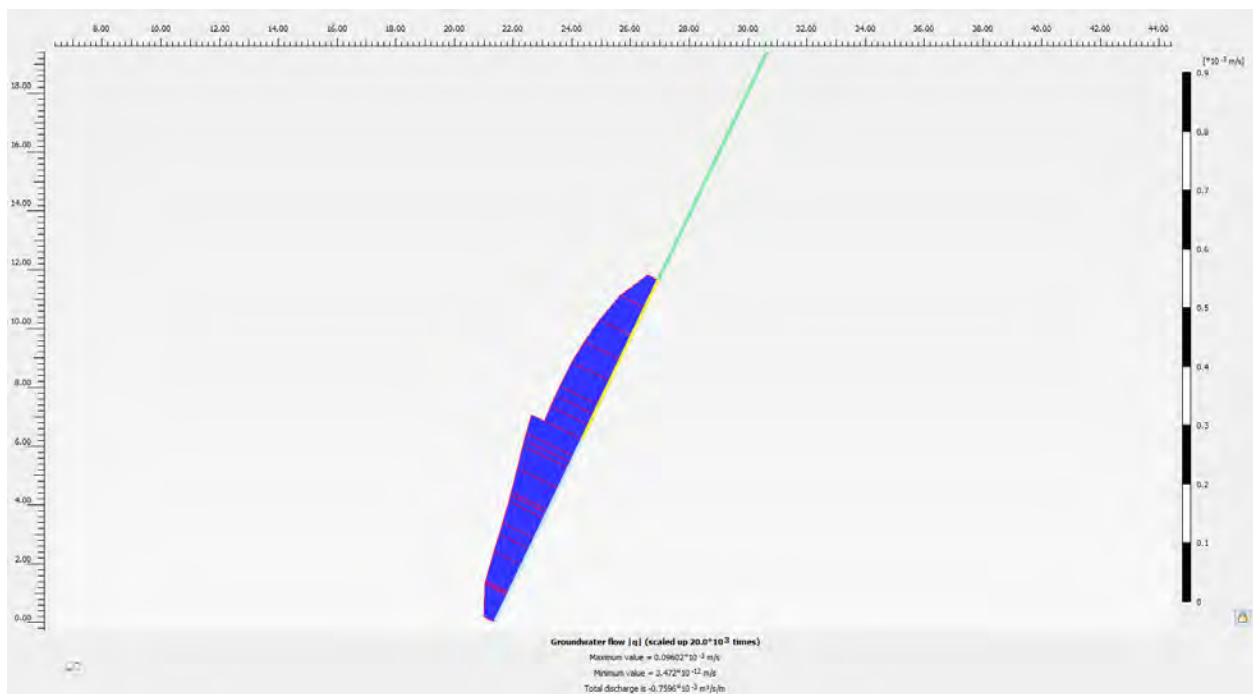


Figura 75. *Caudal total del agua mediante la sección de flujo del escenario 03.*



Escenario 04: Sección crítica con incorporación de geosintéticos

Figura 76. Desplazamientos incrementales del escenario 04.

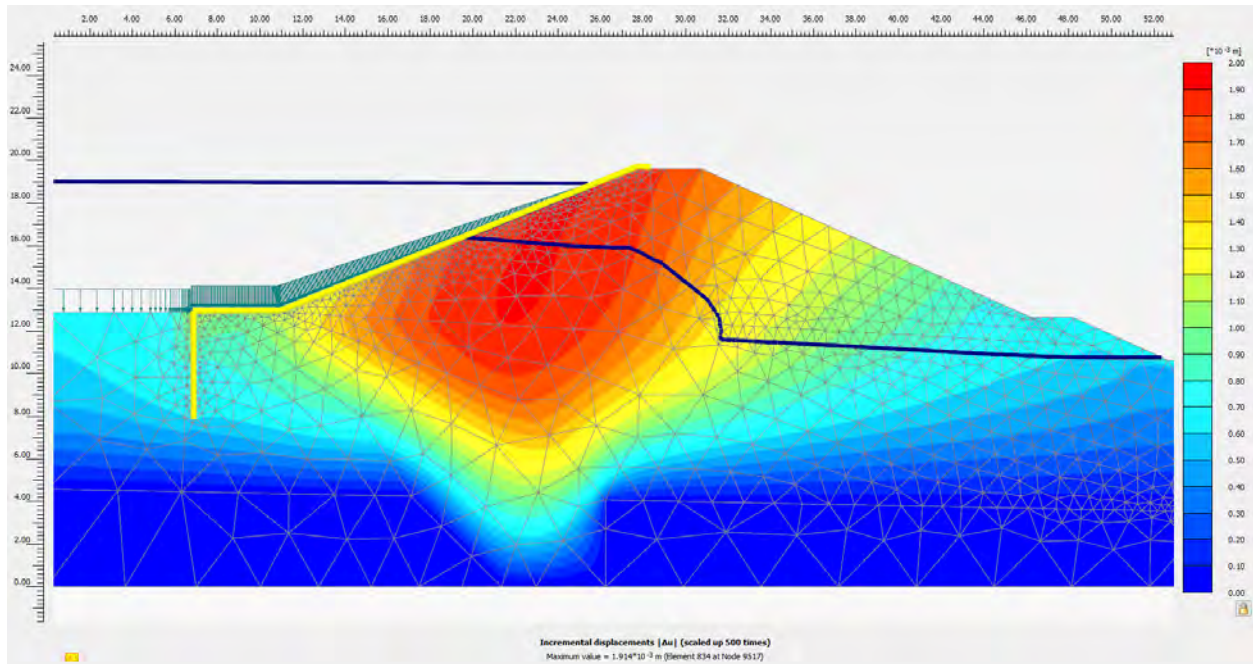


Figura 77. Factores de seguridad con embalse lleno del escenario 04.

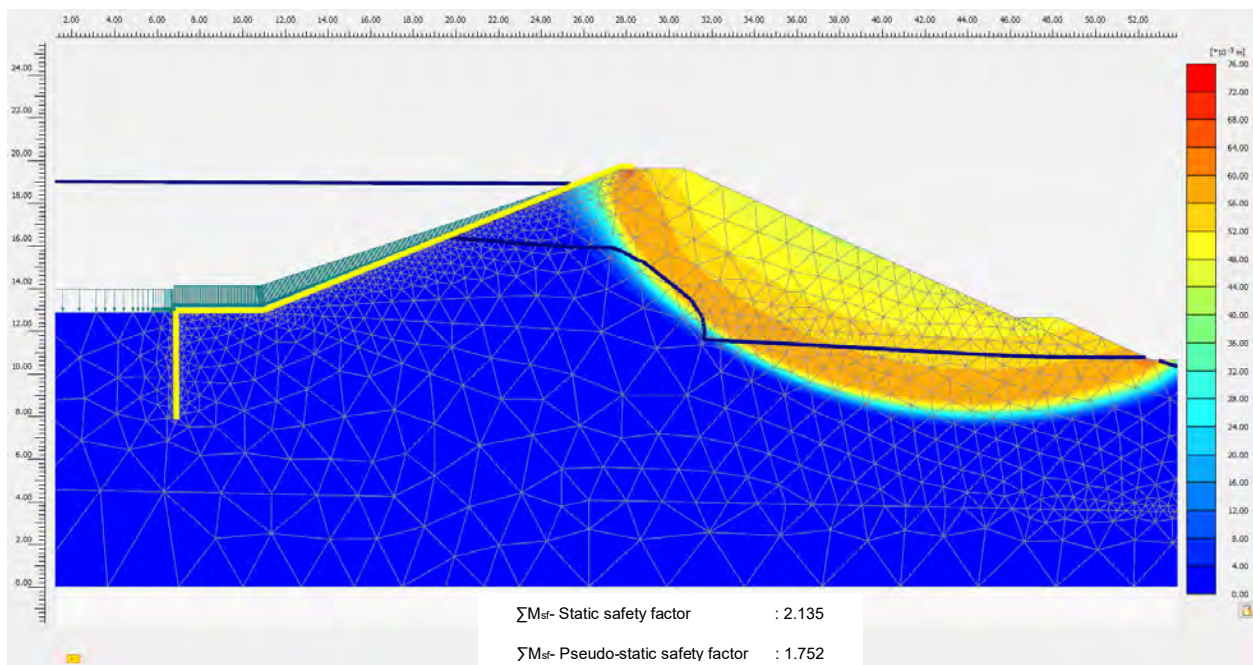


Figura 78. *Flujo de aguas subterráneas del escenario 04.*

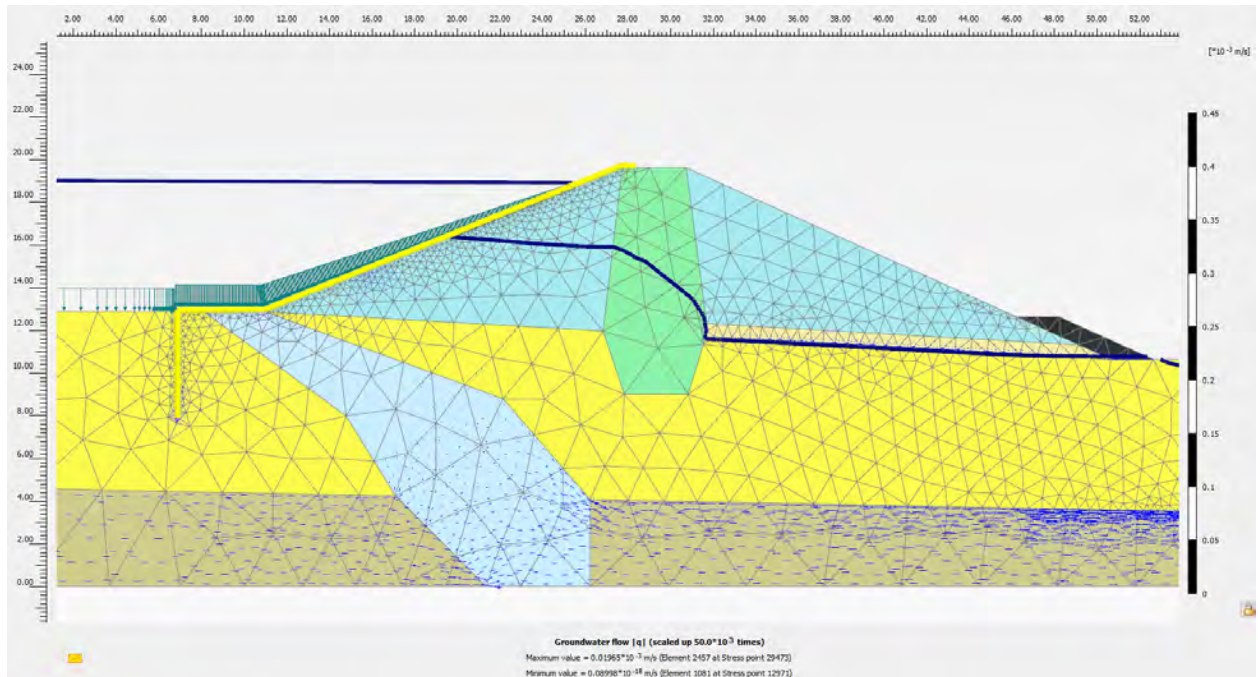
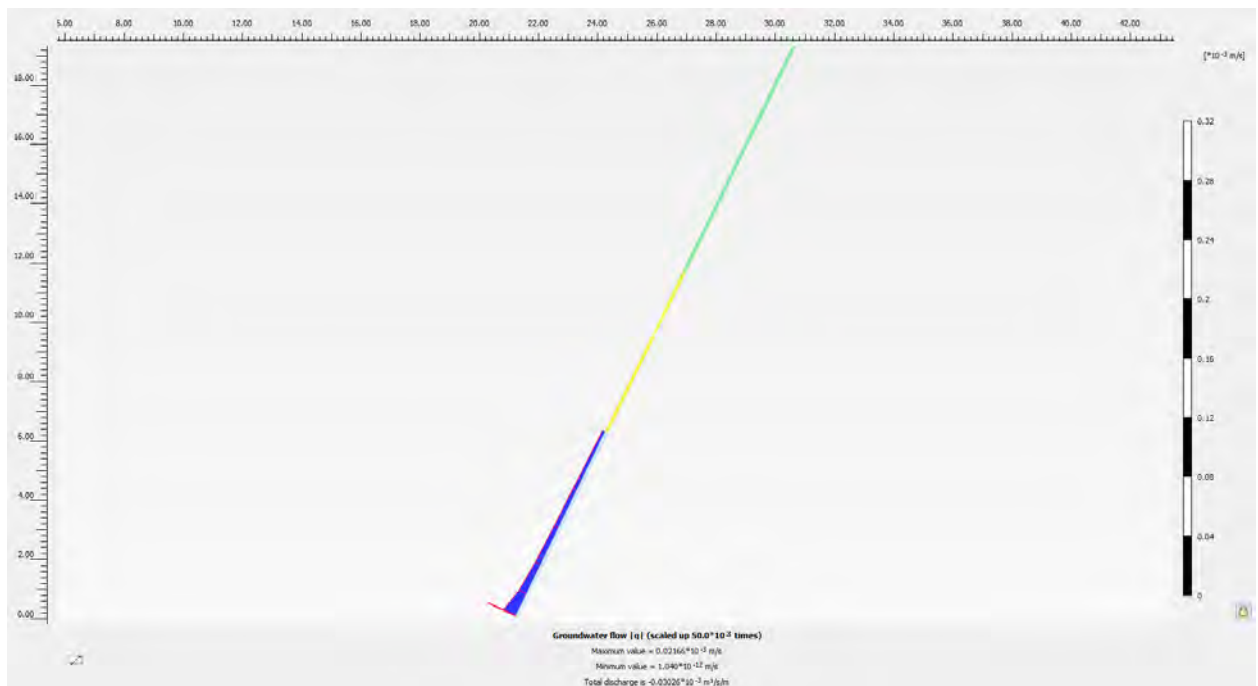


Figura 79. *Caudal total del agua mediante la sección de flujo del escenario 04.*



Ficha de registro de datos

VARIABLE DEPENDIENTE		B1. ESTABILIDAD DE TALUDES		B2. FILTRACIONES INTERNAS
INDICADORES		B1.1. FACTOR DE SEGURIDAD ESTATICO	B1.2. FACTOR DE SEGURIDAD PSEUDOESTATICO	B2.1. CAUDAL DE FILTRACION (lt/s)
SECCION TIPICA	ESCENARIO- 01	1.936	1.343	0.06026
	ESCENARIO- 02	2.111	1.625	0.01222
SECCION CRITICA	ESCENARIO- 03	1.790	1.103	0.75960
	ESCENARIO- 04	2.135	1.752	0.03026

Nota: En base a estos cálculos registrados se trabajó para el capítulo de resultados y discusiones.

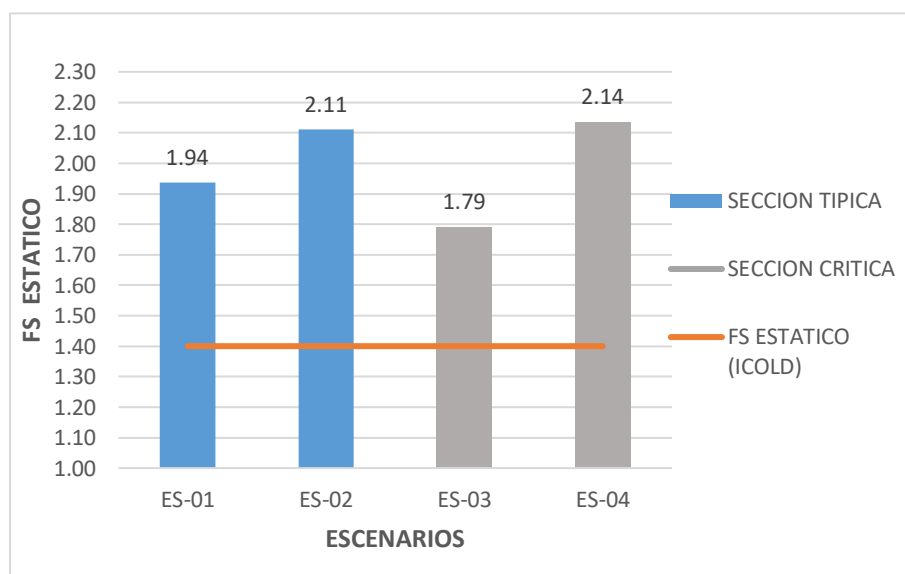
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1.1. Resultados de OE-01

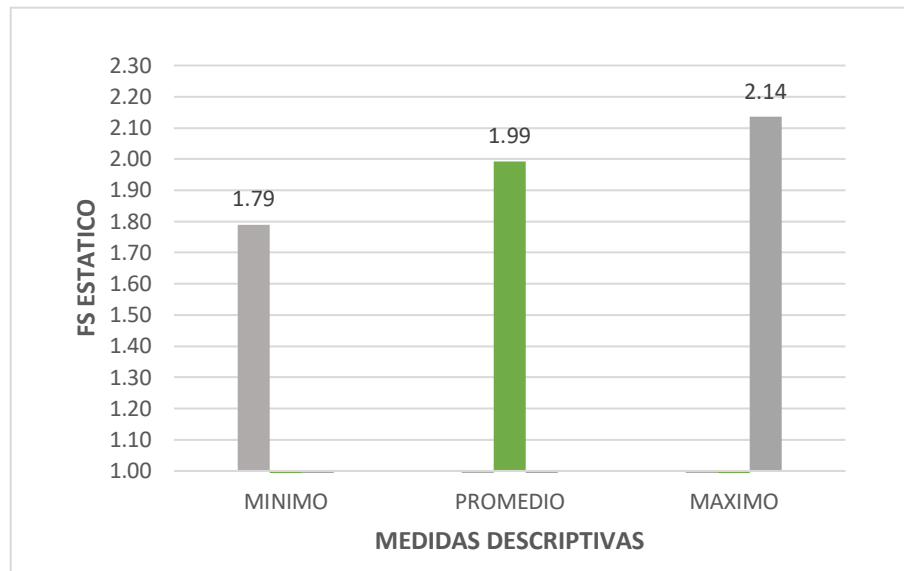
Evaluar la influencia de la incorporación de geosintéticos en el factor de seguridad estático de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024.

Figura 80. Factores de seguridad estáticos obtenidos en el software Plaxis 2D.



En la figura 80 se presentan los resultados de los factores de seguridad estáticos obtenidos de la simulación numérica realizada en el software Plaxis 2D para los cuatro escenarios de análisis. En todos los casos, los resultados indican condiciones de estabilidad, cumpliendo con el valor mínimo del factor de seguridad estático establecido por la normativa (1.4).

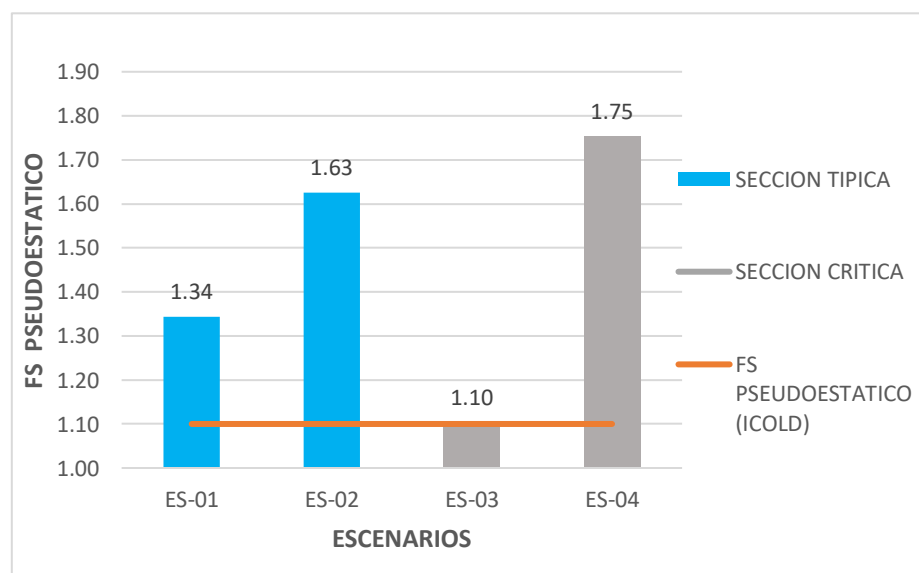
Figura 81. Medidas descriptivas de los factores de seguridad estáticos.



4.1.2. Resultados de OE-02

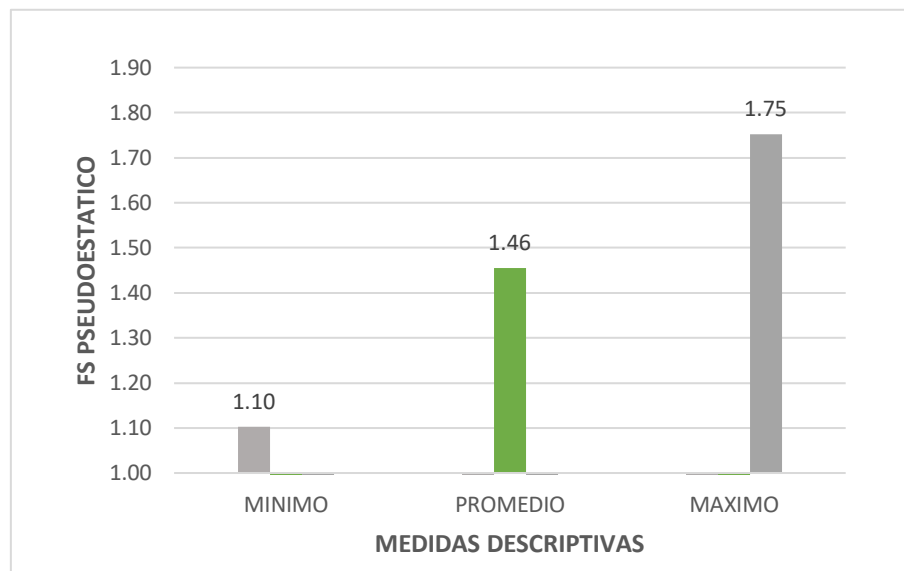
Analizar el efecto de la incorporación de geosintéticos sobre el factor de seguridad pseudoestático de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024.

Figura 82. Factores de seguridad pseudoestáticos obtenidos en el software Plaxis 2D.



En la figura 82 se presentan los resultados de los factores de seguridad pseudoestáticos obtenidos de la simulación numérica realizada en el software Plaxis 2D para los cuatro escenarios de análisis. En todos los casos, los resultados indican condiciones de estabilidad, sin embargo, el escenario 03 está al límite con el valor mínimo del factor de seguridad pseudoestático establecido por la normativa (1.1).

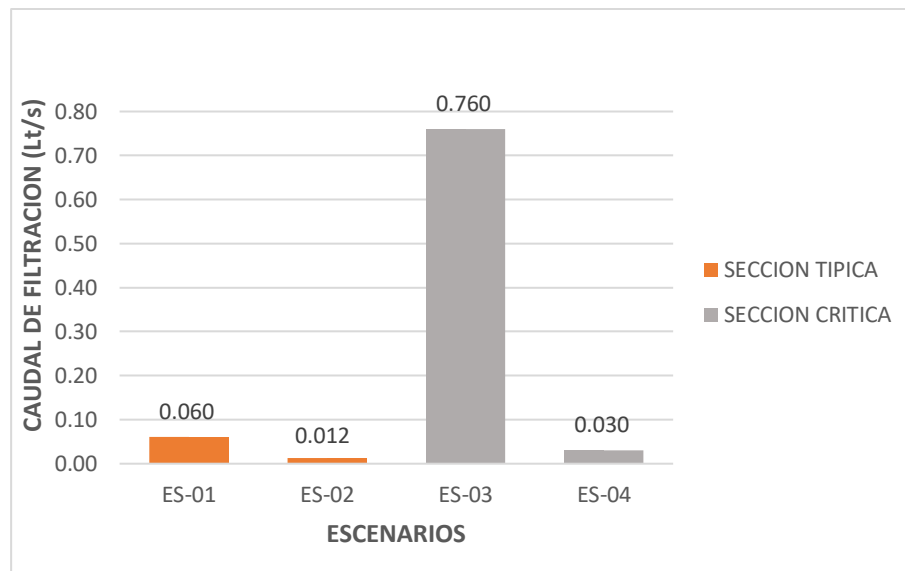
Figura 83. *Medidas descriptivas de los factores de seguridad pseudoestáticos.*



4.1.3. Resultados de OE-03

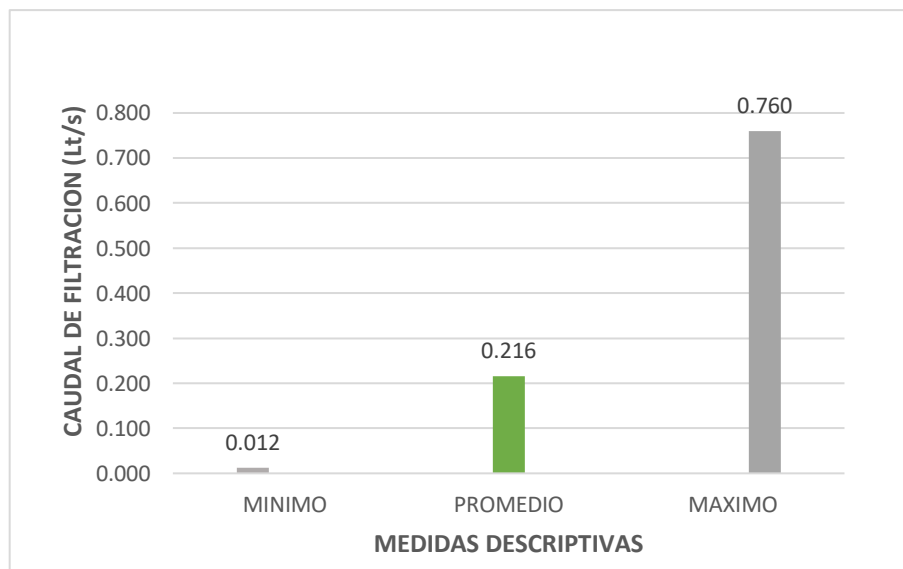
Determinar la influencia de la incorporación de geosintéticos en el caudal de filtración de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024.

Figura 84. Caudales de filtración obtenidos en el software Plaxis 2D.



En la figura 84 se presentan los resultados de los caudales de filtración obtenidos de la simulación numérica realizada en el software Plaxis 2D para los cuatro escenarios de análisis. Se puede apreciar que en el escenario 03 el desgaste del agua es considerable.

Figura 85. Medidas descriptivas de los caudales de filtración.

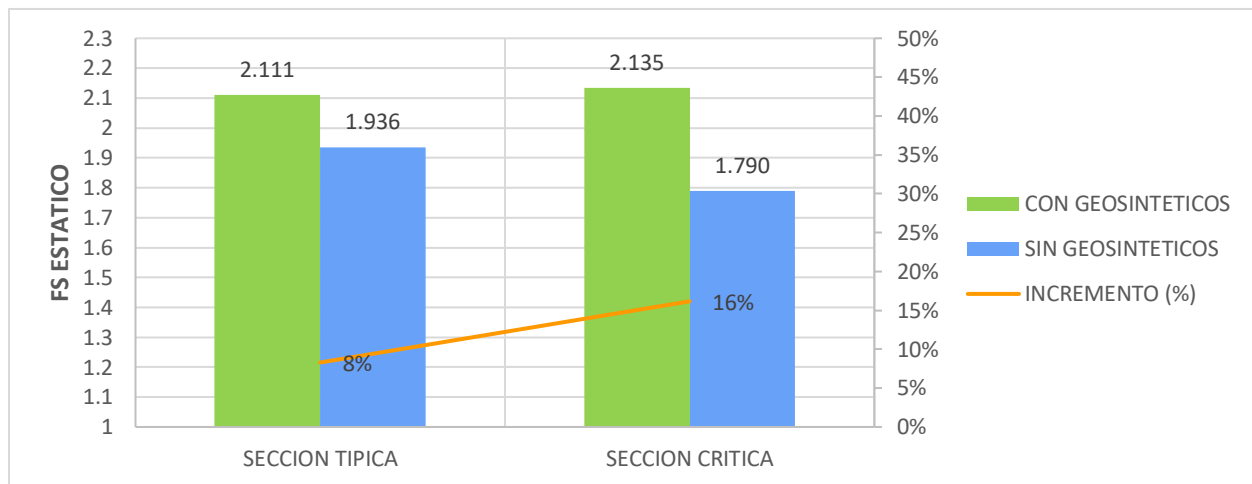


4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.2.1. Hipótesis específica-01

H_0 : La incorporación de geosintéticos incrementa significativamente el factor de seguridad estático de la presa de tierra Qochaqocha, comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024.

Figura 86. Incrementos porcentuales de los factores de seguridad estáticos.

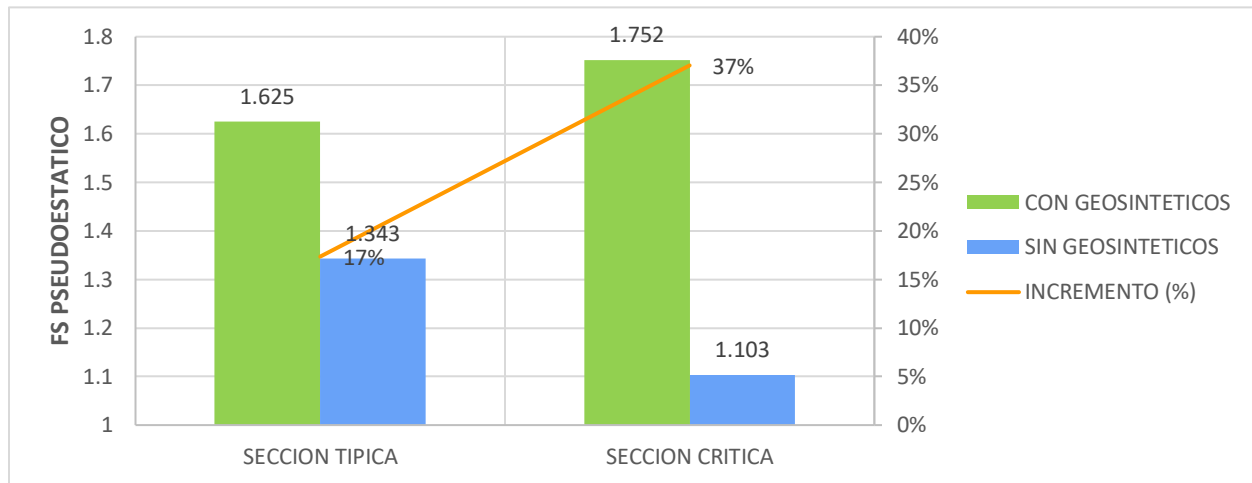


H_1 : Los resultados obtenidos evidenciaron que, en la sección típica, el factor de seguridad estático se incrementó en un 8% con la incorporación de geosintéticos respecto al escenario sin su incorporación. Asimismo, en la sección crítica, el incremento alcanzó el 16% bajo la misma condición de comparación, como se muestra en la figura 86. Si bien se observó una mejora en la estabilidad de los taludes, dicho incremento fue de carácter parcial y no significativo en términos del desempeño global de la presa. En consecuencia, los resultados obtenidos no concordaron con lo planteado en la hipótesis específica 01, evidenciando una discrepancia entre lo esperado y lo observado en la simulación numérica.

4.2.2. Hipótesis específica-02

H₀: La incorporación de geosintéticos incrementa significativamente el factor de seguridad pseudoestático de la presa de tierra Qochaqocha, comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024.

Figura 87. Incrementos porcentuales de los factores de seguridad pseudoestáticos.

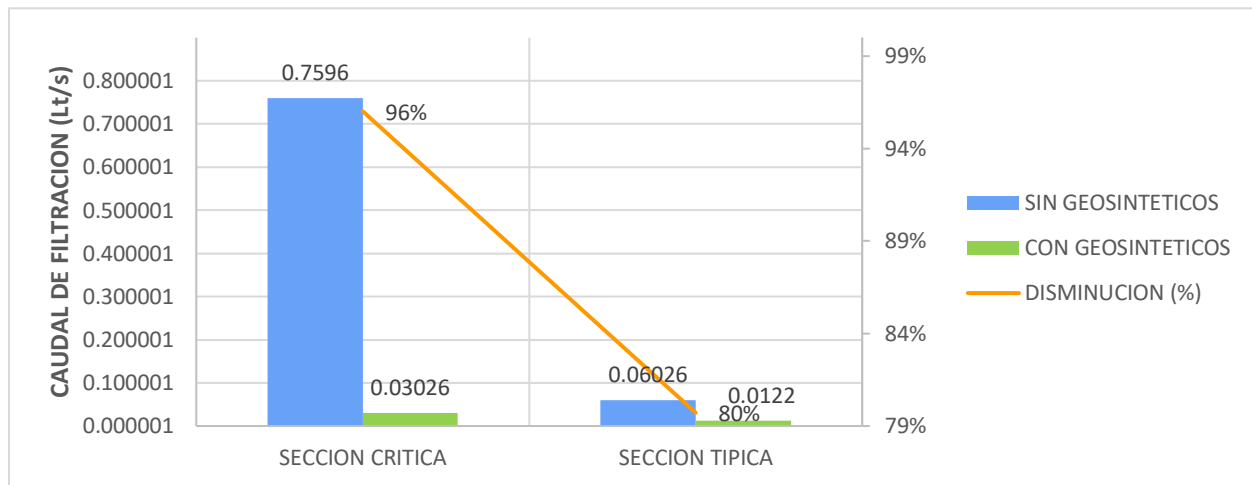


H₁: Los resultados obtenidos evidenciaron que, en la sección típica, el factor de seguridad pseudoestático se incrementó en un 17% con la incorporación de geosintéticos respecto al escenario sin su incorporación. Asimismo, en la sección crítica, el incremento alcanzó el 37% bajo la misma condición de comparación, como se observa en la figura 87. Estos resultados mostraron una mejora en la estabilidad sísmica de los taludes; sin embargo, dicho incremento fue de carácter parcial y no significativo en términos del desempeño global de la presa. En consecuencia, los resultados obtenidos no concordaron con lo planteado en la hipótesis específica 02, evidenciando una discrepancia entre lo esperado y lo observado en la simulación numérica.

4.2.3. Hipótesis específica-03

H_0 : La incorporación de geosintéticos disminuye significativamente el caudal de filtración de la presa de tierra Qochaqocha, comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024.

Figura 88. Disminuciones porcentuales de los caudales de filtración.



H_1 : Los resultados obtenidos evidenciaron que, en la sección típica, el caudal de filtración se redujo en un 80% con la incorporación de geosintéticos respecto al escenario sin su incorporación. Asimismo, en la sección crítica, la reducción alcanzó el 96% bajo la misma condición de comparación, como se observa en la figura 88. Estos resultados demostraron una disminución significativa de las filtraciones internas, evidenciando una mejora sustancial en el comportamiento hidráulico de la presa. En consecuencia, los resultados obtenidos concordaron con lo planteado en la hipótesis específica 03, confirmando lo esperado en la simulación numérica.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.3.1. Factor de seguridad estático

Los resultados de la evaluación evidenciaron que, en la sección típica, la incorporación de geosintéticos incrementó el factor de seguridad estático de 1.94 (ES-01) a 2.11 (ES-02). Asimismo, en la sección crítica, el factor de seguridad aumentó de 1.79 (ES-03) a 2.14 (ES-04). En todos los escenarios analizados, los valores obtenidos superaron el factor de seguridad mínimo exigido por ICOLD, establecido en 1.4, como se muestra en la figura 80. Adicionalmente, del conjunto de resultados se determinó un valor mínimo de 1.79 correspondiente a la sección crítica del escenario ES-03, un valor máximo de 2.14 asociado a la sección crítica del escenario ES-04, y un valor promedio de 1.99, tal como se observa en la figura 81, lo que reflejó un comportamiento globalmente estable de la presa bajo las condiciones evaluadas. Por otra parte, los resultados obtenidos mediante simulación numérica en el software PLAXIS 2D demostraron que la incorporación de geosintéticos influyó de manera parcial en la estabilidad de la presa, evidenciándose un incremento promedio limitado del 12% en el factor de seguridad estático, como se muestra en la figura 86. En este sentido, los resultados no confirmaron la hipótesis planteada, la cual proponía un incremento más significativo del factor de seguridad. Esta diferencia podría atribuirse al tipo de geosintéticos empleados y a su configuración y ubicación dentro del cuerpo de la presa. Finalmente, Zewdu, (2020), en su investigación sobre la estabilidad de presas de tierra mediante simulación numérica en PLAXIS 2D, obtuvo un factor de seguridad de 1.61 en condiciones de embalse lleno. Este valor resulta cercano al obtenido en la presente investigación, donde se determinó un factor de seguridad de 1.94 bajo condiciones similares, lo que evidencia consistencia en los resultados y valida el comportamiento del modelo analizado.

4.3.2. Factor de seguridad pseudoestático

Los resultados de la evaluación evidenciaron que, en la sección típica, la incorporación de geosintéticos incrementó el factor de seguridad pseudoestático de 1.34 (ES-01) a 1.64 (ES-02). Asimismo, en la sección crítica, el factor de seguridad aumentó de 1.10 (ES-03) a 1.75 (ES-04). En general, los valores obtenidos superaron el factor de seguridad mínimo exigido por ICOLD, establecido en 1.10; sin embargo, el escenario ES-03 correspondiente a la sección crítica se mantuvo en el límite mínimo permitido, como se muestra en la figura 82. Adicionalmente, del conjunto de resultados se determinó un valor mínimo de 1.10 correspondiente a la sección crítica del escenario ES-03, un valor máximo de 1.75 asociado a la sección crítica del escenario ES-04 y un valor promedio de 1.46, tal como se observa en la figura 83. En conjunto, estos resultados evidenciaron una mejora en la seguridad de la estabilidad de los taludes de la presa debido a la incorporación de geosintéticos. Por otra parte, los resultados de la simulación numérica demostraron que la incorporación de geosintéticos tuvo un efecto parcial en la estabilidad de la presa, observándose un incremento promedio limitado del 27% en el factor de seguridad pseudoestático, como se muestra en la figura 87. En este sentido, los resultados no confirmaron la hipótesis planteada, la cual proponía un incremento más significativo de dicho factor. Esta discrepancia podría atribuirse al tipo de geosintéticos empleados y a su configuración geométrica y ubicación dentro del cuerpo de la presa. Finalmente, Sabab et al. (2026), mediante una simulación numérica en PLAXIS 2D aplicada a la estabilidad de terraplenes en una zona con presencia de suelos arcillosos, reportaron que la incorporación de geotextiles generó un incremento del 35% en la estabilidad del terraplén. Este resultado es comparable con los incrementos obtenidos en la presente investigación al incorporar geosintéticos, evidenciando un comportamiento consistente en la mejora de la estabilidad.

4.3.3. Caudal de filtración

Los resultados de la evaluación evidenciaron que, en la sección típica, la incorporación de geosintéticos redujo significativamente el caudal de filtración de 0.060 L/s (ES-01) a 0.012 L/s (ES-02). Asimismo, en la sección crítica, donde se presentó el fenómeno de tubificación, el caudal disminuyó de manera considerable de 0.760 L/s (ES-03) a 0.030 L/s (ES-04), como se muestra en la figura 84. Adicionalmente, del conjunto de resultados se determinó un valor mínimo de 0.012 L/s correspondiente al escenario ES-02, un valor máximo de 0.760 L/s asociado al escenario ES-03 y un valor promedio de 0.216 L/s, tal como se observa en la figura 85.

Por otra parte, los resultados obtenidos mediante simulación numérica evidenciaron que la incorporación de geosintéticos influye de manera significativa en las filtraciones internas de la presa, observándose una reducción promedio del 88% en el caudal de filtración, como se muestra en la figura 88. En este sentido, los resultados obtenidos confirmaron la hipótesis planteada, la cual preveía una disminución significativa del caudal. Estos hallazgos evidencian la alta efectividad de los geosintéticos como sistema de impermeabilización, mejorando de forma notable el comportamiento hidráulico de la presa frente al proceso de tubificación.

Finalmente, en la investigación realizada por Huamaní Palomino (2021), sobre el análisis hidrogeológico mediante el método de elementos finitos utilizando el software GeoStudio–Seep/W, también se evidenció una reducción significativa de las pérdidas de agua bajo condiciones de embalse lleno, lo cual resulta consistente con los resultados obtenidos en la presente investigación. Asimismo, Mamani Meza y Mamani Reyes (2019) concluyen que el uso de geomembranas como sistema de impermeabilización es eficaz para el control de filtraciones y contribuye a garantizar la estabilidad de la presa bajo diversas condiciones operativas.

CONCLUSIONES

1. En relación con el factor de seguridad estático, se concluye que la incorporación de geosintéticos genera un incremento en la estabilidad de la presa; sin embargo, dicho aumento es moderado, por lo que la hipótesis correspondiente no se valida de manera concluyente. En consecuencia, se cumple el objetivo específico al demostrar que la influencia existe, pero es parcial, evidenciando que los geosintéticos no constituyen un factor determinante en la estabilidad estática global. Esto se debe al tipo de configuración geométrica de los geosintéticos aplicados a la presa Qochaqocha.
2. Respecto al factor de seguridad pseudoestático, se concluye que la incorporación de geosintéticos produce una mejora en la estabilidad bajo condiciones sísmicas, reflejada en el incremento de los factores de seguridad de la presa Qochaqocha. No obstante, esta mejora es limitada, por lo que la hipótesis se valida parcialmente. De este modo, se cumple el objetivo específico al evidenciar que los geosintéticos contribuyen a la estabilidad. De igual forma se debe al tipo de configuración geométrica que pueda tener los geosintéticos en la presa.
3. En cuanto al caudal de filtración, se concluye que la incorporación de geosintéticos reduce de manera significativa las pérdidas de agua en la presa Qochaqocha, validándose plenamente la hipótesis planteada. Por tanto, se cumple el objetivo específico al demostrar que los geosintéticos actúan como una barrera hidráulica eficiente, disminuyendo el riesgo de filtraciones y procesos de tubificación, lo cual constituye la principal implicancia del estudio.

4. Los resultados obtenidos mediante simulación numérica demuestran que el principal aporte del sistema geosintético radica en su capacidad para actuar como una barrera hidráulica eficiente, disminuyendo las pérdidas de agua y mitigando el riesgo de erosión interna o tubificación. En consecuencia, se concluye que los geosintéticos constituyen una alternativa técnica viable para la rehabilitación y optimización de presas de tierra; sin embargo, su influencia en la estabilidad global es complementaria y no determinante, por lo que su aplicación debe integrarse con otras medidas de diseño geotécnico.
5. Según la caracterización geológica y geofísica de la zona de estudio, la presa Qochaqocha se encuentra emplazada sobre una estructura geológica asociada a una falla que atraviesa el vaso de la presa y presenta una orientación aproximadamente perpendicular al eje del cuerpo de la presa. La presencia de esta discontinuidad geológica habría generado condiciones favorables para la ocurrencia de procesos de filtración y tubificación a través de la cimentación durante el funcionamiento de la estructura. Asimismo, la existencia de manantes que abastecen a la presa Qochaqocha estaría relacionada con el sistema de fracturamiento asociado a dicha falla, debido a que estos se encuentran distribuidos a lo largo de su lineamiento, evidenciando una posible conexión hidráulica entre el macizo rocoso fracturado y el vaso de la presa. En función de estas condiciones geológicas e hidrogeológicas identificadas, se propone la implementación de un sistema de impermeabilización mediante geosintéticos, considerando no solo el tratamiento del talud aguas arriba, sino también una extensión hacia parte del vaso de la presa, tal como se muestra en los planos de análisis. Esta solución busca reducir las pérdidas por filtración, controlar los flujos internos y prevenir la progresión de procesos de erosión interna que puedan comprometer la estabilidad y funcionamiento de la presa Qochaqocha.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda ejecutar pruebas de bombeo en campo para calibrar y validar los parámetros hidráulicos empleados en la modelación numérica, especialmente en las zonas críticas de la presa, como el núcleo impermeable, la cimentación y el basamento rocoso fracturado.
2. Se recomienda implementar un tratamiento en la zona afectada por procesos de tubificación mediante la colocación de una mezcla de arcilla y bentonita, con la finalidad de mejorar las propiedades impermeabilizantes del material, disminuir la permeabilidad del medio y controlar los flujos de filtración que atraviesan la cimentación. Este tratamiento permitirá reducir la posibilidad de erosión interna progresiva y contribuirá a mejorar el comportamiento hidráulico y la seguridad de la presa Qochaqocha durante su funcionamiento.
3. Previamente a la instalación del sistema de geosintéticos, se recomienda ejecutar trabajos de rehabilitación y acondicionamiento del vaso de la presa, orientados a recuperar la capacidad de almacenamiento proyectada y mejorar las condiciones superficiales del terreno. Estos trabajos permitirán obtener una plataforma uniforme, estable y libre de irregularidades que garantice una adecuada colocación, fijación y desempeño de los materiales geosintéticos, reduciendo posibles daños durante su instalación y operación.

4. Para garantizar la estabilidad y el adecuado desempeño del sistema de geosintéticos durante la etapa de operación de la presa, se recomienda implementar un sistema de anclaje en la zona de corona y disponer una capa de protección mediante enrocado o material pétreo seleccionado con diámetros comprendidos entre 10" y 15". Esta protección permitirá reducir los efectos producidos por la acción del viento, oleaje, variaciones del nivel del embalse y posibles esfuerzos de levantamiento, evitando el desplazamiento, punzonamiento o deterioro de los geosintéticos. Asimismo, contribuirá a incrementar la durabilidad del sistema impermeabilizante y asegurar su correcto funcionamiento hidráulico durante la vida útil de la presa Qochaqocha.
5. Si el problema de filtración persiste durante la etapa de operación de la presa, se recomienda evaluar una reestructuración integral del dique, considerando un nuevo diseño y la incorporación de materiales que se ajusten a las condiciones geológicas, geotécnicas e hidráulicas del emplazamiento. Esta alternativa deberá ser respaldada mediante un estudio de factibilidad que permita analizar su viabilidad técnica, económica y constructiva, garantizando la seguridad y funcionalidad del sistema de almacenamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Laue, J., & Knutsson, S. (2020, enero 1). *Dam Safety Problems Related to Seepage*. 10, 191-239.
- AECOM. (2021). *Seepage and slope stability modeling for embankment dams: A guidance document for planning, interpreting, verifying, and reporting results*. AECOM.
- Aliaga Cavalcanti, J. B., & Quintana Pozo, J. G. (2020). *Análisis de filtraciones y estabilidad física de la presa vizcachas— en dos fases de ejecución*.
- ANA. (2016). *Inventario de presas en el Peru* (p. 97).
- Carlotto, V. S., Cárdenas Roque, J. D., & Carlier, G. (2011). Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000—[Boletín A 138]. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/99>
- Cedergren, H. R. (1989). *Drainage and Flow Nets* (Third Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Chin, D. A. (2006). *Water-resources Engineering*. Prentice Hall.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1975). *Hidrología subterránea*. Omega.
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G., & Foster, M. (2015). *Geotechnical Engineering of Dams* (2nd Edition). CRC Press.
- FEMA. (2015). *Training Aids for Dam Safety, Module Q: Evaluation of Seepage Conditions* (Second Edition),).
- FEMA, F. E. M. A. (2008). *Geotextiles in Embankment Dams Status Report on the Use of Geotextiles in Embankment Dam Construction and Rehabilitation*.
- Flores Berrones, R., Hristov Vassilev, V., & Li Liu, X. (2019). *Geotecnia en ingeniería de presas*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- Foster, M., Fell, R., & Spannagle, M. (2000). *The statistics of embankment dam failures and accidents* (Volume 37, p. Issue 5, pp. 1000-1024). Canadian Geotechnical Journal.
- Geomembranas Lihar Perú SAC. (2021, julio 21). <https://lihar.com.pe/geomembranas/>
- Hernández, R., Hernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed). McGraw-Hill.
- Huamani Palomino, A. G. (2021). *Análisis numérico de la infiltración con el Software Slide en la represa de material suelto Pallca, Ayacucho 2020*.
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4991>
- Huang, Y. P. H. (2014). Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method: Fundamentals and Methods. En *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method: Fundamentals and Methods* (p. 365). <https://doi.org/10.1061/9780784412886>
- ICOLD, I. C. on L. D. (2010). *Use of geomembranes in dams and reservoirs*.
- ICOLD, I. C. on L. D. (2011). *Bulletin on embankment dams*.
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Investigación del comportamiento*. McGraw-Hill.
- Koerner, R. M. (2012a). *Designing with Geosynthetics—6Th Edition Vol. 1*. Xlibris Corporation.
- Koerner, R. M. (2012b). *Designing with Geosynthetics—6Th Edition Vol. 2*. Xlibris Corporation.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall.
- Mamani Meza, Alex. Y., & Mamani Reyes, E. (2019). *Estudio geotecnico definitivo para el analisis de filtracion y estabilidad en el modelo de impermeabilizacion con geomembrana del dique de la Presa Pallallaje, Coporaque-Espinar-Cusco 2019*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco].
https://drive.google.com/file/d/1ZM4GKgWOc4ApdPwvc4pfd4oYFACxFNhx/view?usp=chrome_ntp&usp=embed_facebook

- Martínez, R., Barrera, S., & Gómez, P. (2010). El método pseudoestático de estabilidad en presas: Un análisis crítico. *Obras y proyectos*, 30-37. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132011000100004>
- MPQ-CCAIJO. (2003). *Represamiento Qochaqocha*.
- Reclamation, U. S. D. of the I., Bureau of Reclamation. (1988). *Training Aids for Dam Safety, Module: Evaluation of Embankment Dam Stability and Deformation*.
- Rowe, R. K. (2012). *Geosynthetics and the minimization of contaminant migration through barrier systems*. *Geosynthetics International*, 19(1), 1–12.
- Sabab, S. R., Ashiq, H. M., Kabir, M. U., & Sakib, S. S. (2026). The impact of geosynthetics on embankment performance using finite element modelling—A case study. *Results in Materials*, 29, 100869. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2025.100869>
- Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.^a ed). McGraw-Hill Education.
- Sanchez Colin, R. A. (2015). *ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS TAPONES EN LOS TÚNELES DE LA OBRA DE DESVÍO DEL P.H. LAS CRUCES*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica* (5.^a ed). Limusa.
- Terzaghi, K. (1950). *Mechanisms of Landslides. In Engineering Geology (Berkeley)*. (Ed. S Paige).
- USACE. (2003). *Engineering and Design: Design and Construction of Levees (EM 1110-2-1913)*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Zewdu, A. (2020, octubre 26). *Seepage and Slope Stability Analysis of Earthen Dam: A Case Study of Koga Dam, Ethiopia*. 26, 191-217.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
General	General	General	
¿Cuál es el efecto de la incorporación de geosintéticos en la estabilidad de taludes y en las filtraciones internas de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024?	Analizar el efecto de la incorporación de geosintéticos en la estabilidad de taludes y filtraciones internas de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024	La incorporación de geosintéticos mejora significativamente en la estabilidad de taludes y reduce significativamente las filtraciones internas en la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco.	Tipo de Investigación:
			Aplicada
			Nivel de Investigación:
			Descriptivo-Explicativo
			Diseño de Investigación
			No experimental

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
Específicos	Específicos	Específicos	Población
¿Cómo influye la incorporación de geosintéticos en el factor de seguridad estático de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024?	Evaluar la influencia de la incorporación de geosintéticos en el factor de seguridad estático de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024	La incorporación de geosintéticos incrementa significativamente el factor de seguridad estático de la presa de tierra Qochaqocha, comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024	Presa de tierra Qochaqocha
¿Qué efecto tiene la incorporación de geosintéticos sobre el factor de seguridad pseudoestático de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024?	Analizar el efecto de la incorporación de geosintéticos sobre el factor de seguridad pseudoestático de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024.	La incorporación de geosintéticos incrementa significativamente el factor de seguridad pseudoestático de la presa de tierra Qochaqocha, comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024	Muestra: Sección crítica representativas de la estructura de la presa Qochaqocha
¿Cómo incide la incorporación de geosintéticos en el caudal de filtración de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024?	Determinar la incidencia de la incorporación de geosintéticos en el caudal de filtración de la presa de tierra Qochaqocha, ubicada en la comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024.	La incorporación de geosintéticos disminuye significativamente el caudal de filtración de la presa de tierra Qochaqocha, comunidad de Ccatacamara, distrito de Urcos, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2024.	Método: Hipotético-Deductivo



Proyecto: “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024”

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

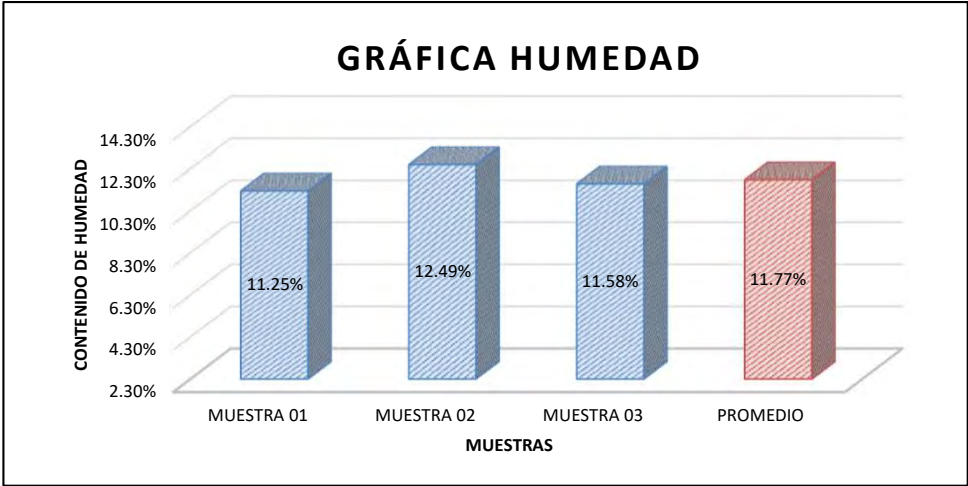
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:	C-01
Zona de la presa:	NUCLEO

NTP-339.127	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
-------------	--------------------------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	39.20	39.70	39.30
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	66.80	67.70	81.80
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	64.01	64.59	77.39
Peso del Agua (gr)	2.79	3.11	4.41
Peso de la Muestra Seca (gr)	24.81	24.89	38.09
Contenido de Humedad	11.25%	12.49%	11.58%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 11.77%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

CONTENIDO DE HUMEDAD

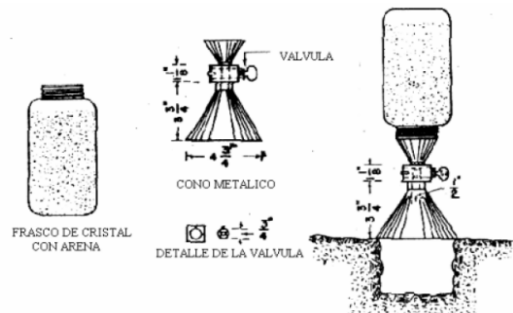
NTP 339.143

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA (gr)	39.20	39.70	39.30	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO (gr)	66.80	67.70	81.80	
PESO CAPS + MATERIAL SECO (gr)	64.01	64.59	77.39	
PESO DEL AGUA (gr)	2.79	3.11	4.41	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	24.81	24.89	38.09	
CONTENIDO DE AGUA (%)	11.25	12.49	11.58	11.77

PROMEDIO DE CONTENIDO DE AGUA = 11.77%

CONO DE ARENA

DESCRIPCION	VALOR
Peso equipo + arena inicial (g)	6202.00
Peso equipo + arena restante(g)	4823.00
Densidad de Arena (g/cm3)	1.37
Peso del suleo humedo (g)	2212.00
Peso de la arena que llena el hoyo(g)	1379.00
Volumen del hoyo (cm3)	1006.57
Peso del suelo seco (g)	2212.00
Densidad humeda in-situ(g/cm3)	2.20
Densidad seca in-situ(g/cm3)	1.97



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

NTP 339.128 **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Antes del Lavado
Peso de la Muestra Seca = 1452.00 gr

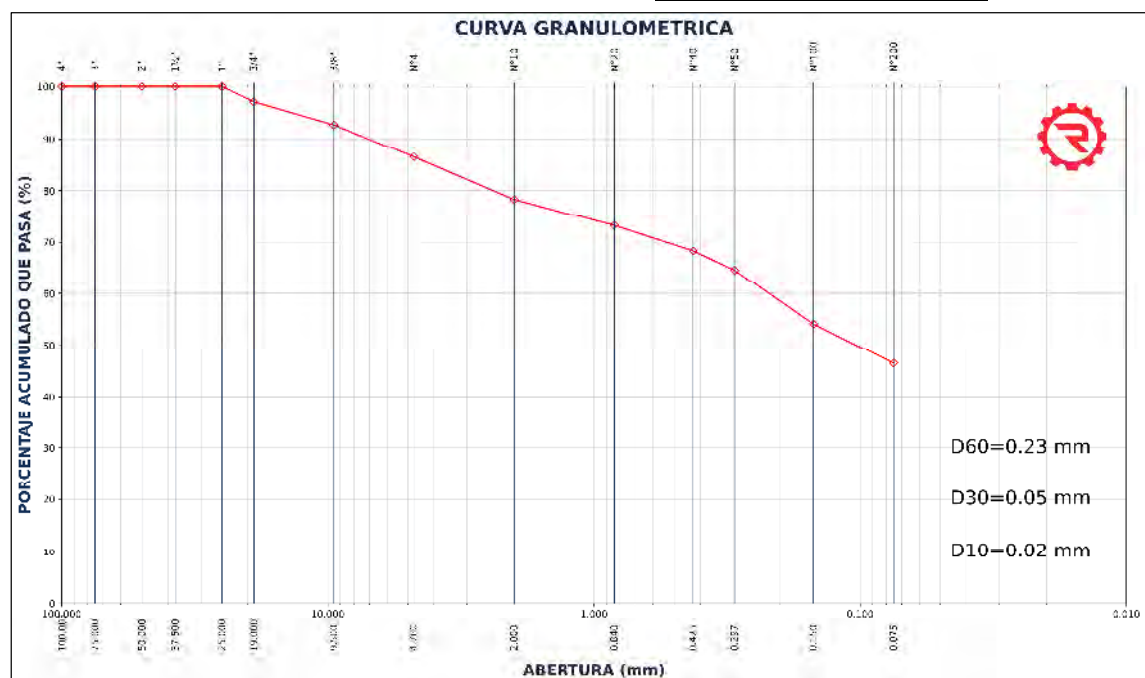
Despues del Lavado
Peso de la Muestra Seca = 787.00 gr
% de Error en Peso = 0.72% **Ok!**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	781.3	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	781.34	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	781.34	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	781.34	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	781.34	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	42.13	739.21	2.90%	2.90%	97.10%
3/8"	9.5	64.17	675.04	4.42%	7.32%	92.68%
Nº 4	4.76	90.22	584.82	6.21%	13.53%	86.47%
Nº 10	2	116.82	468.00	8.05%	21.58%	78.42%
Nº 20	0.840	73.77	394.23	5.08%	26.66%	73.34%
Nº 40	0.425	70.71	323.52	4.87%	31.53%	68.47%
Nº 50	0.297	54.05	269.47	3.72%	35.25%	64.75%
Nº 100	0.150	151.98	117.49	10.47%	45.72%	54.28%
Nº 200	0.075	110.65	6.84	7.62%	53.34%	46.66%
Cazuela	-	6.84	-	0.47%	53.81%	-
Lavado	-	665.00	-	46.19%	99.53%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		781.34		100.00%		

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) =	% de grava =	T. Max.Absoluto= 1"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)=	% de arena =	T. Max.Relativo= 3/8"
% de Finos(Pas Nº200)=	Total =	
Total=		

Coefficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 0.23 mm
D30 = 0.05 mm
D10 = 0.02 mm
Cu= 11.50

Coefficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 0.23 mm
D30 = 0.05 mm
D10 = 0.02 mm
Cc= 0.54





Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

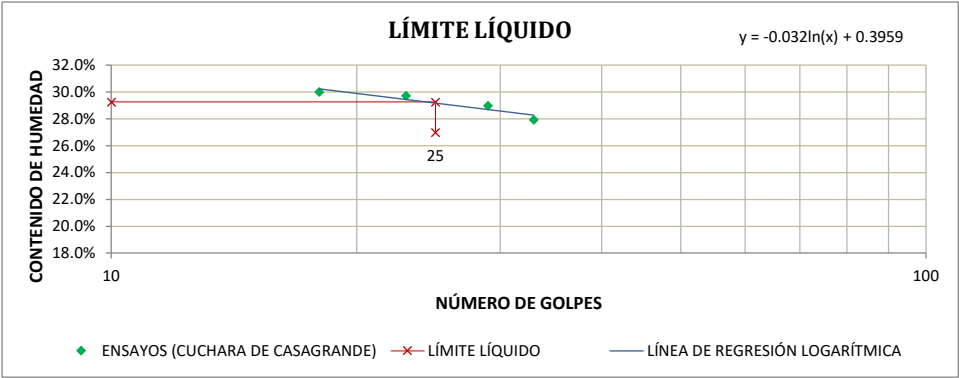
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

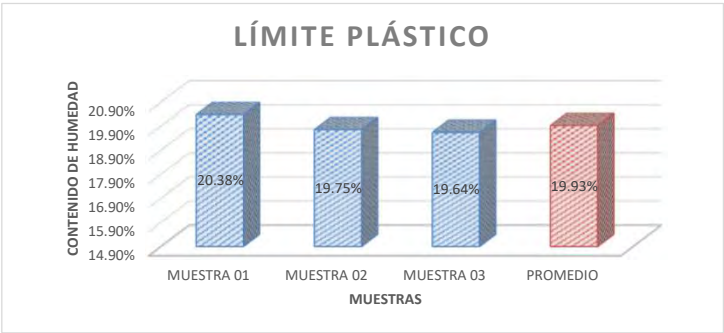
NTP 339.129	LÍMITE LÍQUIDO
-------------	----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	39.79	39.64	39.13	39.06
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	53.49	56.86	52.82	52.05
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	50.35	53.10	49.66	49.13
Peso del Agua (gr)	3.14	3.76	3.16	2.92
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.56	13.46	10.53	10.07
Contenido de Humedad	29.73%	27.93%	30.01%	29.00%
Número de Golpes	23	33	18	29



NTP 339.129	LÍMITE PLÁSTICO
-------------	-----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	38.00	37.52	40.18
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	40.54	39.46	42.86
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	40.11	39.14	42.42
Peso del Agua (gr)	0.43	0.32	0.44
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.11	1.62	2.24
Contenido de Humedad	20.38%	19.75%	19.64%



LÍMITE LÍQUIDO = 29.00%
LÍMITE PLÁSTICO = 20.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 9.00%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI
Muestra: ALTERADA
Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

ASTM D-2487	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
-------------	---

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO				SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría	SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada
% de Gruesos = 53.34%				$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada
% de Finos = 46.66%			GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
Total = 100.00%				IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
% de Grava = 13.53%				$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa
% de Arena = 39.81%			GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo
Total = 53.34%		ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4		Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla
Fracción Gruesa				Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM	Grava mal graduada con limo
% de Grava = 25.37%			ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla
% de Arena = 74.63%				$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
Total = 100.00%			ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada
Coefficientes				IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
Cu = 11.50				IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
Cc = 0.543			ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM	Arena limosa arcillosa
De Límites de Consistencia				Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM	Arena bien graduada con limo
LL = 29.00%		SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200		Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC	Arena bien graduada con arcilla
LP = 20.00%				Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM	Arena mal graduada con limo
IP = 9.00%				Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla
Otros Datos			LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML	Limo de baja plasticidad
Tipo = Inorgánico				IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL	Arcilla de baja plasticidad
				$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML	Arcilla limosa
				<i>Límite Líquido secado al horno</i> <i>Límite Líquido no secado</i> < 0.75	OL	Limo orgánico
				Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Arcilla orgánica
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor		Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Limo de alta plasticidad
				<i>Límite Líquido secado al horno</i> <i>Límite Líquido no secado</i> < 0.75	OH	Arcilla de alta plasticidad
						Limo orgánico
						Arcilla orgánica
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS				Pt	Turba
	Principalmente materia orgánica de color oscuro					

SC = Arena arcillosa

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:

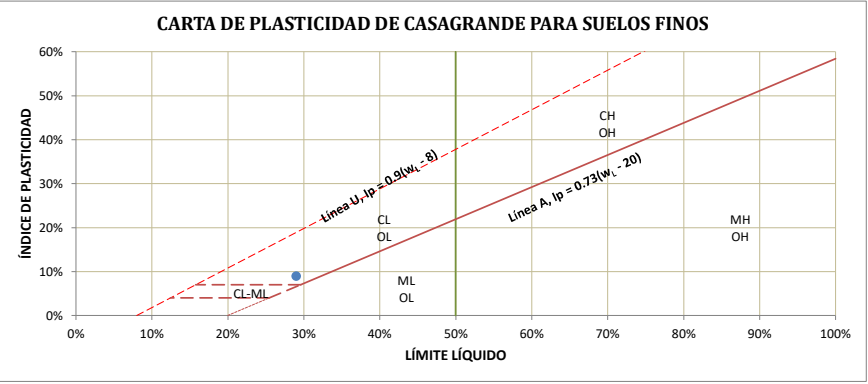
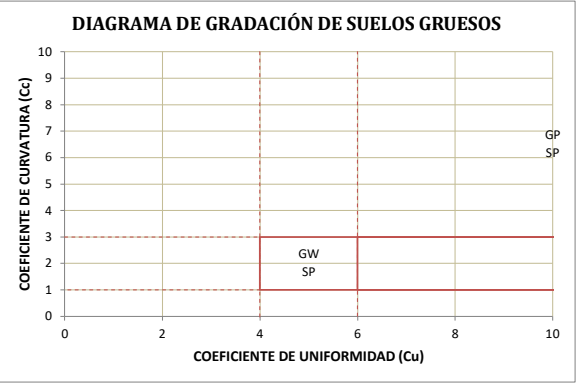
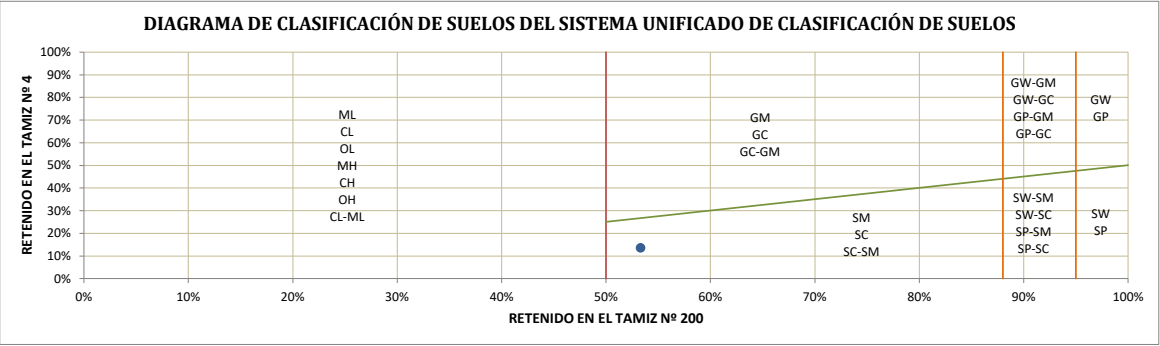
C-01

Zona de la presa:

NUCLEO

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159

Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 96.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.20 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.90%
Peso Unitario Seco= 2.10 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

4.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	2.637	4.000	5.080	20.268	20.27	0.130	0.197
0.1	-0.019	0.0100	2.670	4.000	5.080	20.268	20.27	0.132	0.197
0.2	-0.023	0.0200	2.700	4.000	5.080	20.268	20.26	0.133	0.197
0.3	-0.030	0.0300	2.730	4.000	5.080	20.268	20.25	0.135	0.198
0.4	-0.040	0.0400	2.760	4.000	5.080	20.268	20.24	0.136	0.198
0.5	-0.050	0.0500	2.790	4.000	5.080	20.268	20.23	0.138	0.198
0.6	-0.060	0.0600	2.830	4.000	5.080	20.268	20.22	0.140	0.198
0.8	-0.070	0.0800	2.860	4.000	5.080	20.268	20.20	0.142	0.198
1	-0.090	0.1000	2.900	4.000	5.080	20.268	20.17	0.144	0.198
1.2	-0.110	0.1200	2.930	4.000	5.080	20.268	20.14	0.145	0.199
1.4	-0.130	0.1400	2.970	4.000	5.080	20.268	20.11	0.148	0.199
1.6	-0.160	0.1600	3.000	4.000	5.080	20.268	20.08	0.149	0.199
1.8	-0.200	0.1800	3.030	4.000	5.080	20.268	20.04	0.151	0.200
2	-0.240	0.2000	3.070	4.000	5.080	20.268	20.00	0.153	0.200
2.2	-0.290	0.2200	3.110	4.000	5.080	20.268	19.96	0.156	0.200
2.4	-0.350	0.2400	3.150	4.000	5.080	20.268	19.92	0.158	0.201
2.6	-0.420	0.2600	3.180	4.000	5.080	20.268	19.88	0.160	0.201
2.8	-0.510	0.2800	3.220	4.000	5.080	20.268	19.83	0.162	0.202
3	-0.620	0.3000	3.260	4.000	5.080	20.268	19.78	0.165	0.202
3.2	-0.760	0.3200	3.300	4.000	5.080	20.268	19.73	0.167	0.203
3.4	-0.920	0.3400	3.350	4.000	5.080	20.268	19.68	0.170	0.203
3.6	-1.110	0.3600	3.400	4.000	5.080	20.268	19.63	0.173	0.204
3.8	-1.330	0.3800	3.440	4.000	5.080	20.268	19.58	0.176	0.204
4	-1.600	0.4000	3.480	4.000	5.080	20.268	19.53	0.178	0.205

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 96.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.20 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.90%
Peso Unitario Seco= 2.10 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

8.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	4.394	8.000	5.080	20.268	20.27	0.217	0.395
0.1	-0.023	0.0100	4.450	8.000	5.080	20.268	20.27	0.220	0.395
0.2	-0.030	0.0200	4.500	8.000	5.080	20.268	20.26	0.222	0.395
0.3	-0.040	0.0300	4.550	8.000	5.080	20.268	20.25	0.225	0.395
0.4	-0.050	0.0400	4.610	8.000	5.080	20.268	20.24	0.228	0.395
0.5	-0.060	0.0500	4.670	8.000	5.080	20.268	20.23	0.231	0.395
0.6	-0.070	0.0600	4.730	8.000	5.080	20.268	20.22	0.234	0.396
0.8	-0.090	0.0800	4.800	8.000	5.080	20.268	20.20	0.238	0.396
1	-0.110	0.1000	4.870	8.000	5.080	20.268	20.17	0.241	0.397
1.2	-0.130	0.1200	4.920	8.000	5.080	20.268	20.14	0.244	0.397
1.4	-0.160	0.1400	4.970	8.000	5.080	20.268	20.11	0.247	0.398
1.6	-0.200	0.1600	5.030	8.000	5.080	20.268	20.08	0.251	0.398
1.8	-0.240	0.1800	5.100	8.000	5.080	20.268	20.04	0.254	0.399
2	-0.290	0.2000	5.170	8.000	5.080	20.268	20.00	0.258	0.400
2.2	-0.350	0.2200	5.230	8.000	5.080	20.268	19.96	0.262	0.401
2.4	-0.420	0.2400	5.290	8.000	5.080	20.268	19.92	0.266	0.402
2.6	-0.510	0.2600	5.350	8.000	5.080	20.268	19.88	0.269	0.402
2.8	-0.620	0.2800	5.410	8.000	5.080	20.268	19.83	0.273	0.403
3	-0.760	0.3000	5.460	8.000	5.080	20.268	19.78	0.276	0.404
3.2	-0.920	0.3200	5.530	8.000	5.080	20.268	19.73	0.280	0.405
3.4	-1.100	0.3400	5.600	8.000	5.080	20.268	19.68	0.284	0.406
3.6	-1.350	0.3600	5.670	8.000	5.080	20.268	19.63	0.289	0.407
3.8	-1.630	0.3800	5.750	8.000	5.080	20.268	19.58	0.294	0.409
4	-1.980	0.4000	5.820	8.000	5.080	20.268	19.53	0.298	0.410

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 96.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.20 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.90%
Peso Unitario Seco= 2.10 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

12.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	5.789	12.000	5.080	20.268	20.27	0.286	0.592
0.1	-0.033	0.0100	5.860	12.000	5.080	20.268	20.27	0.289	0.592
0.2	-0.040	0.0200	5.940	12.000	5.080	20.268	20.26	0.293	0.592
0.3	-0.050	0.0300	6.020	12.000	5.080	20.268	20.25	0.297	0.593
0.4	-0.060	0.0400	6.090	12.000	5.080	20.268	20.24	0.301	0.593
0.5	-0.070	0.0500	6.170	12.000	5.080	20.268	20.23	0.305	0.593
0.6	-0.080	0.0600	6.260	12.000	5.080	20.268	20.22	0.310	0.593
0.8	-0.100	0.0800	6.340	12.000	5.080	20.268	20.20	0.314	0.594
1	-0.120	0.1000	6.420	12.000	5.080	20.268	20.17	0.318	0.595
1.2	-0.150	0.1200	6.500	12.000	5.080	20.268	20.14	0.323	0.596
1.4	-0.180	0.1400	6.580	12.000	5.080	20.268	20.11	0.327	0.597
1.6	-0.220	0.1600	6.650	12.000	5.080	20.268	20.08	0.331	0.598
1.8	-0.260	0.1800	6.740	12.000	5.080	20.268	20.04	0.336	0.599
2	-0.320	0.2000	6.830	12.000	5.080	20.268	20.00	0.341	0.600
2.2	-0.390	0.2200	6.930	12.000	5.080	20.268	19.96	0.347	0.601
2.4	-0.470	0.2400	7.010	12.000	5.080	20.268	19.92	0.352	0.602
2.6	-0.570	0.2600	7.100	12.000	5.080	20.268	19.88	0.357	0.604
2.8	-0.690	0.2800	7.190	12.000	5.080	20.268	19.83	0.363	0.605
3	-0.830	0.3000	7.280	12.000	5.080	20.268	19.78	0.368	0.607
3.2	-1.010	0.3200	7.360	12.000	5.080	20.268	19.73	0.373	0.608
3.4	-1.210	0.3400	7.430	12.000	5.080	20.268	19.68	0.377	0.610
3.6	-1.460	0.3600	7.500	12.000	5.080	20.268	19.63	0.382	0.611
3.8	-1.780	0.3800	7.590	12.000	5.080	20.268	19.58	0.388	0.613
4	-2.150	0.4000	7.690	12.000	5.080	20.268	19.53	0.394	0.615

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

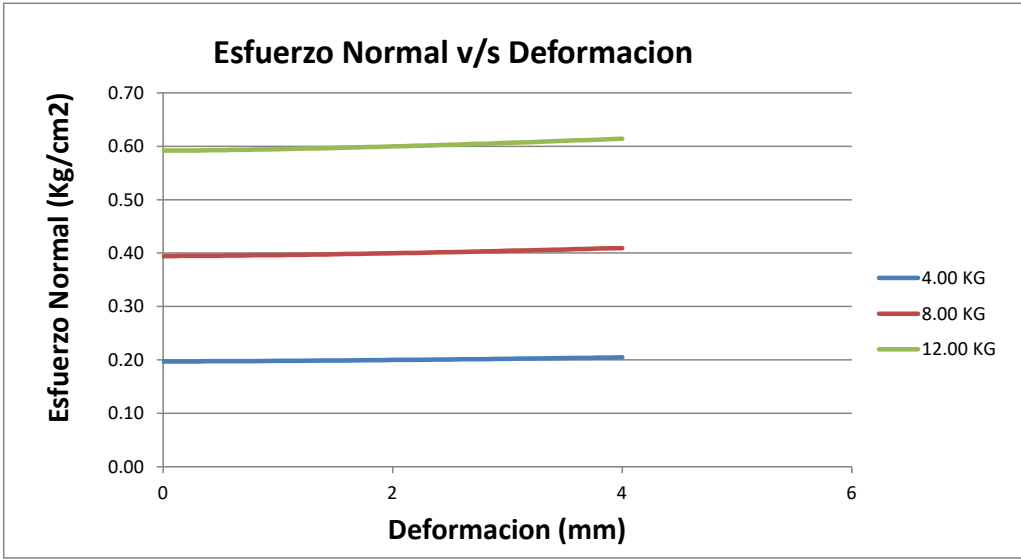
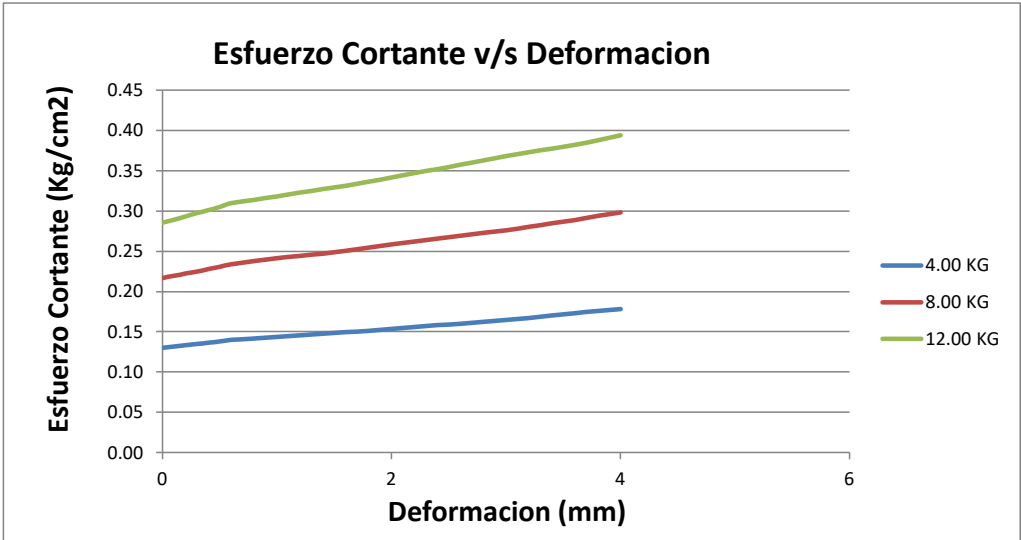
DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	96.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.20 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	4.90%
Peso Unitario Seco=	2.10 gr/cm ³

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE

CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4.00	0.178 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²
8.00	0.298 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²
12.00	0.394 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²

PROMEDIO PONDERADO:	0.326 kg/cm ²
---------------------	--------------------------



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

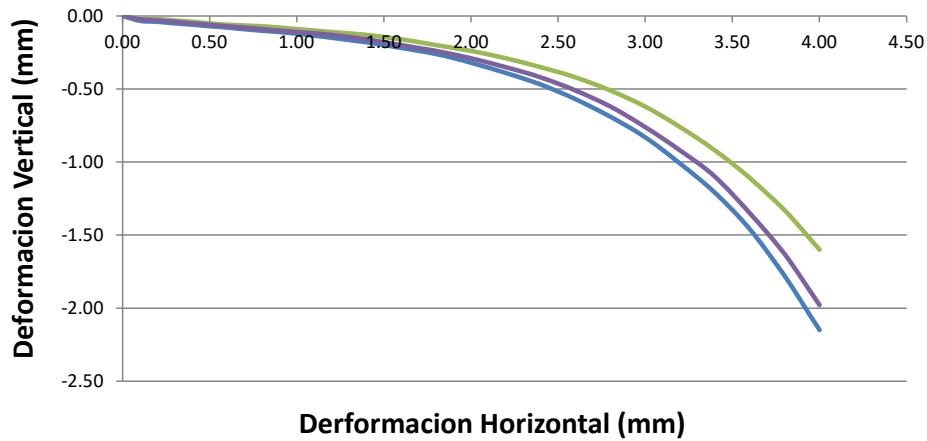
DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

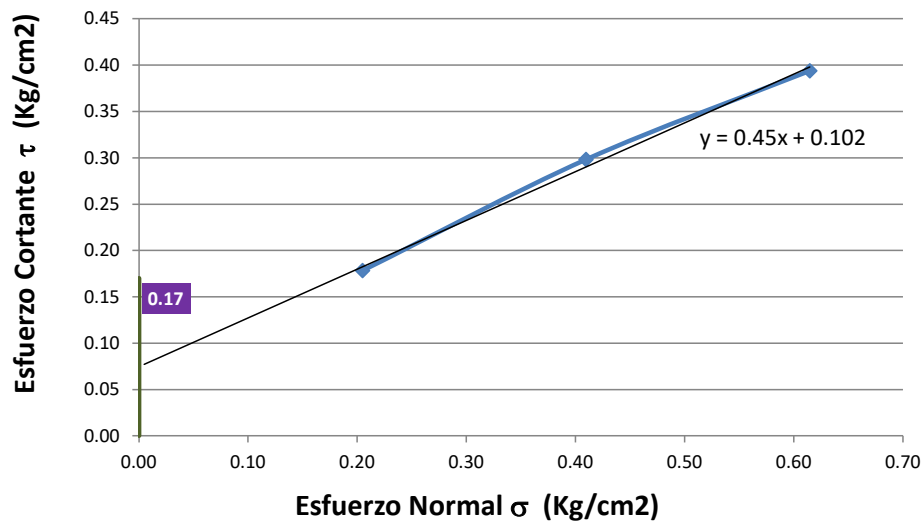
DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	96.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.20 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	4.90%
Peso Unitario Seco=	2.10 gr/cm ³

Deformacion Horizontal v/s Deformacion Vertical



Esfuerzo Normal v/s Esfuerzo Cortante



Cohesion (C)= 0.10 Kg/cm²
tg(f) = 0.446
f= 0.42 radianes
f= 24.04 °

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-01
Zona de la presa: NUCLEO

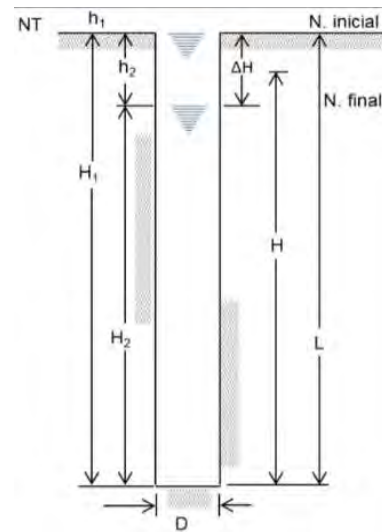
ENSAYO LEFRANC

$$k = \frac{2 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$$

$$C = \frac{0,366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$$

Datos obtenidos:

L= 30 cm
D= 12 cm



TIEMPO EN SEGUNDOS (t)	PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA EN CM (ΔH)	HIDRAULICA PROMEDIO EN CM (H)	FACTOR DE FORMA (C)	AREA DE SECCION DE LA PERFORACION EN CM2 (A)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD EN CM/S (k)
43200	3.50	28.25	0.0215	113.10	1.39E-05
43200	3.00	28.50	0.0215	113.10	1.18E-05
43200	3.10	28.45	0.0215	113.10	1.22E-05
43200	3.60	28.20	0.0215	113.10	1.43E-05
43200	3.30	28.35	0.0215	113.10	1.31E-05
43200	3.20	28.40	0.0215	113.10	1.27E-05
Promedio=					1.30E-05



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

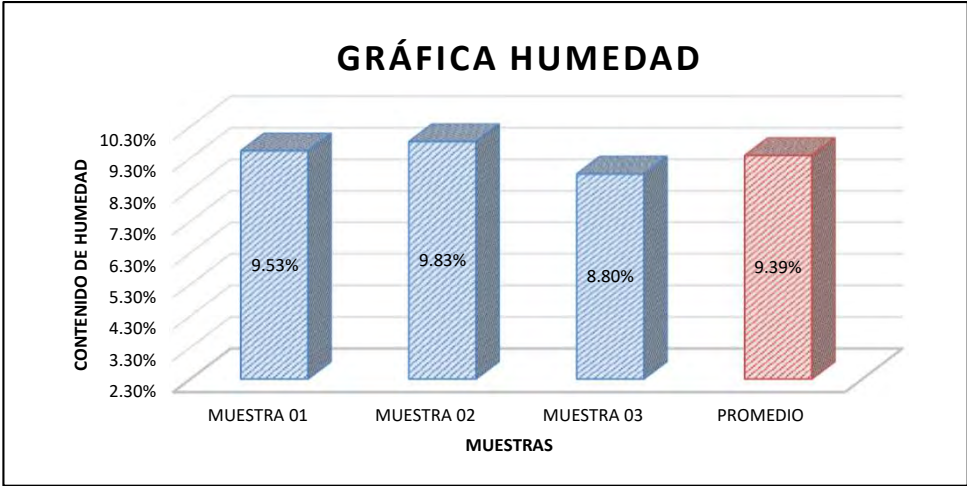
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:	C-02
Zona de la presa:	NUCLEO

NTP-339.127	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
-------------	--------------------------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	38.00	39.60	37.50
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	88.10	97.50	94.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	83.74	92.32	89.43
Peso del Agua (gr)	4.36	5.18	4.57
Peso de la Muestra Seca (gr)	45.74	52.72	51.93
Contenido de Humedad	9.53%	9.83%	8.80%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 9.39%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

CONTENIDO DE HUMEDAD

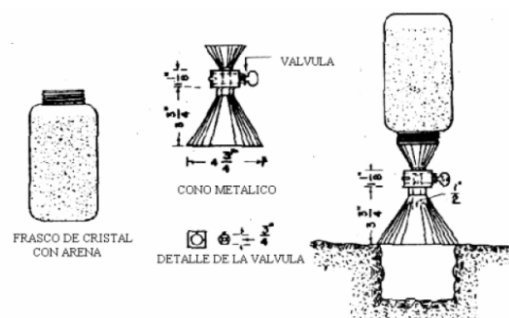
NTP 339.143

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA (gr)	38.00	39.60	37.50	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO (gr)	88.10	97.50	94.00	
PESO CAPS + MATERIAL SECO (gr)	83.74	92.32	89.43	
PESO DEL AGUA (gr)	4.36	5.18	4.57	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	45.74	52.72	51.93	
CONTENIDO DE AGUA (%)	9.53	9.83	8.80	9.39

PROMEDIO DE CONTENIDO DE AGUA = 9.39%

CONO DE ARENA

DESCRIPCION	VALOR
Peso equipo + arena inicial (g)	6198.00
Peso equipo + arena restante(g)	4646.40
Densidad de Arena (g/cm3)	1.37
Peso del suelo humedo (g)	2314.50
Peso de la arena que llena el hoyo(g)	1551.60
Volumen del hoyo (cm3)	1132.55
Peso del suelo seco (g)	2312.33
Densidad humeda in-situ(g/cm3)	2.04
Densidad seca in-situ(g/cm3)	1.87



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

NTP 339.128 **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Antes del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 1909.00 gr

Despues del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 1215.00 gr

% de Error en Peso = 0.84%

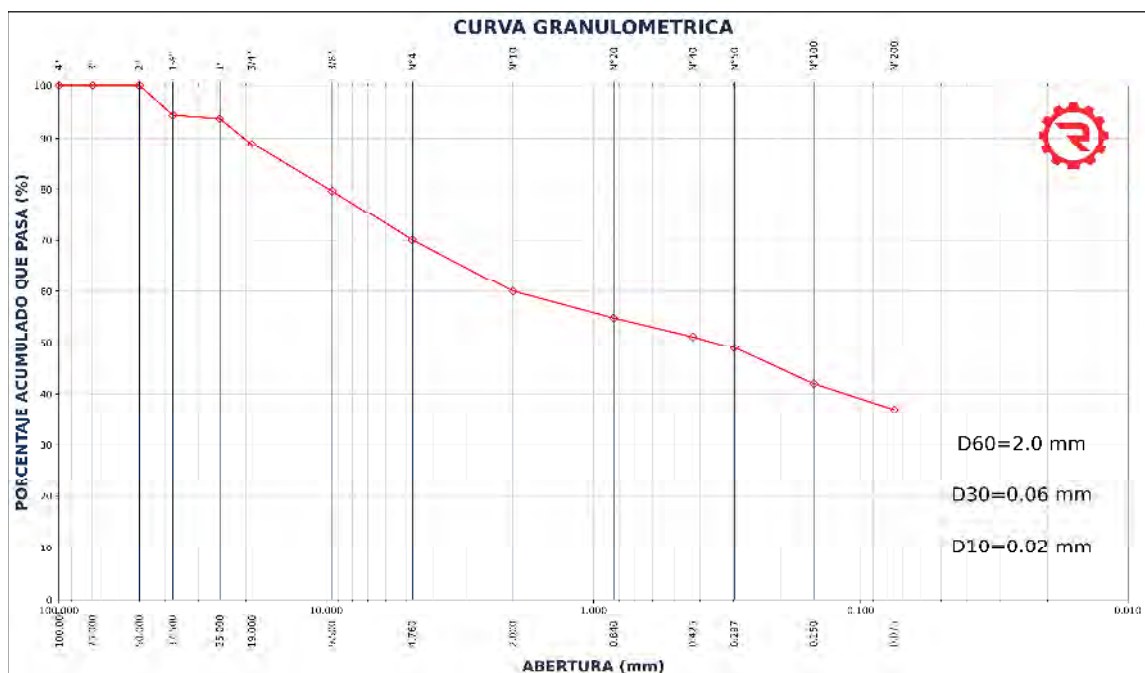
Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1204.8	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1204.82	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1204.82	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	106.50	1098.32	5.58%	5.58%	94.42%
1"	25	12.66	1085.66	0.66%	6.24%	93.76%
¾"	19	93.55	992.11	4.90%	11.14%	88.86%
⅜"	9.5	174.16	817.95	9.12%	20.27%	79.73%
Nº 4	4.76	181.20	636.75	9.49%	29.76%	70.24%
Nº 10	2	191.03	445.72	10.01%	39.76%	60.24%
Nº 20	0.840	99.44	346.28	5.21%	44.97%	55.03%
Nº 40	0.425	69.09	277.19	3.62%	48.59%	51.41%
Nº 50	0.297	43.78	233.41	2.29%	50.89%	49.11%
Nº 100	0.150	131.25	102.16	6.88%	57.76%	42.24%
Nº 200	0.075	94.05	8.11	4.93%	62.69%	37.31%
Cazuela	-	8.11	-	0.42%	63.11%	-
Lavado	-	694.00	-	36.89%	99.58%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		1204.82		100.00%		

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) =	% de grava =	T. Max.Absoluto= 2"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)=	% de arena =	T. Max.Relativo= 1½"
% de Finos(Pas Nº200)=	Total =	
Total=		

Coefficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 2.00 mm
D10 = 0.02 mm
Cu= 100.00

Coefficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 2.00 mm
D30 = 0.06 mm
D10 = 0.02 mm
Cc= 0.09





Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

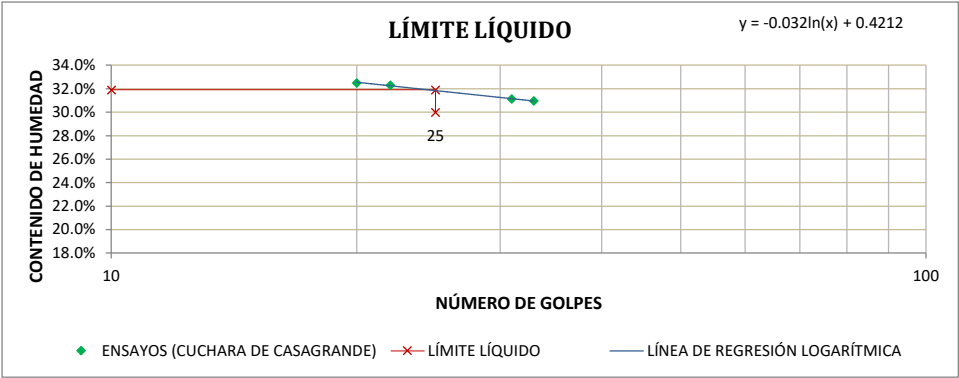
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

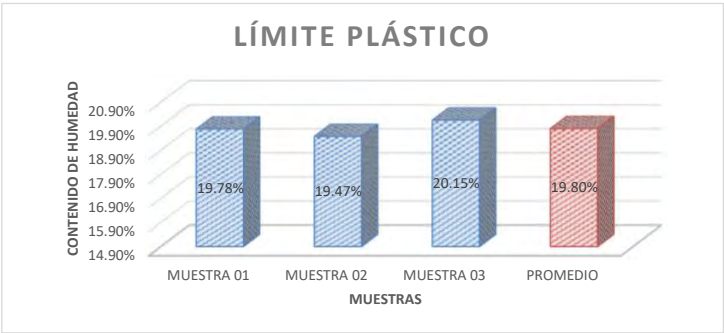
NTP 339.129	LÍMITE LÍQUIDO
-------------	----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	39.58	40.38	38.38	40.23
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	62.45	63.47	64.58	70.85
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	56.84	57.83	58.36	63.61
Peso del Agua (gr)	5.61	5.64	6.22	7.24
Peso de la Muestra Seca (gr)	17.26	17.45	19.98	23.38
Contenido de Humedad	32.50%	32.32%	31.13%	30.97%
Número de Golpes	20	22	31	33



NTP 339.129	LÍMITE PLÁSTICO
-------------	-----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	38.00	37.95	39.38
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	40.18	40.22	42.54
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	39.82	39.85	42.01
Peso del Agua (gr)	0.36	0.37	0.53
Peso de la Muestra Seca (gr)	1.82	1.90	2.63
Contenido de Humedad	19.78%	19.47%	20.15%



LÍMITE LÍQUIDO = 32.00%
LÍMITE PLÁSTICO = 20.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 12.00%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI
Muestra: ALTERADA
Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

ASTM D-2487	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
-------------	---

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO				SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría	SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	GW	Grava bien graduada
% de Gruesos = 62.69%			GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cu < 4 ó 1> Cc > 3	GP	Grava mal graduada
% de Finos = 37.31%				IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
Total = 100.00%				IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
% de Grava = 29.76%				4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa
% de Arena = 32.93%			Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo	
Total = 62.69%		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla	
Fracción Gruesa			Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM	Grava mal graduada con limo	
% de Grava = 47.47%			Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla	
% de Arena = 52.53%			Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	SW	Arena bien graduada	
Total = 100.00%		ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu < 6 ó 1> Cc > 3	SP	Arena mal graduada	
Coefficientes			IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa	
Cu = 100.00			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa	
Cc = 0.090			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM	Arena limosa arcillosa	
De Límites de Consistencia	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM	Arena bien graduada con limo	
LL = 32.00%			Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC	Arena bien graduada con arcilla	
LP = 20.00%			Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM	Arena mal graduada con limo	
IP = 12.00%			Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla	
Otros Datos			IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML	Limo de baja plasticidad	
			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL	Arcilla de baja plasticidad	
Tipo = Inorgánico		4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML	Arcilla limosa		
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	$\frac{Limite\ Líquido\ secado\ al\ horno}{Limite\ Líquido\ no\ secado} < 0.75$	OL	Limo orgánico
			Orgánicos		OH	Arcilla orgánica
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
			Orgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
				$\frac{Limite\ Líquido\ secado\ al\ horno}{Limite\ Líquido\ no\ secado} < 0.75$	OH	Limo orgánico
			SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt

SC = Arena arcillosa con grava

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:

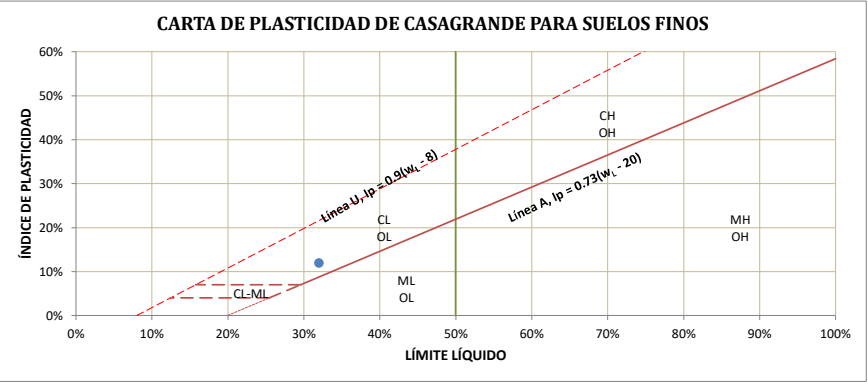
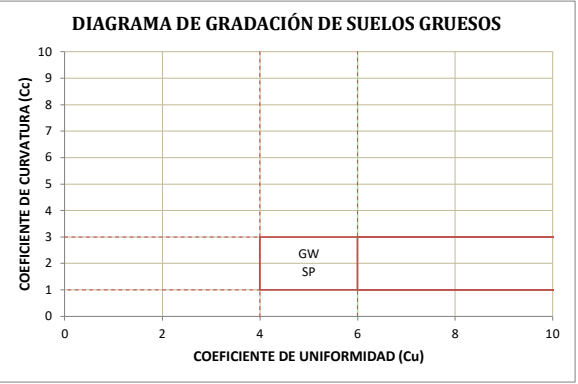
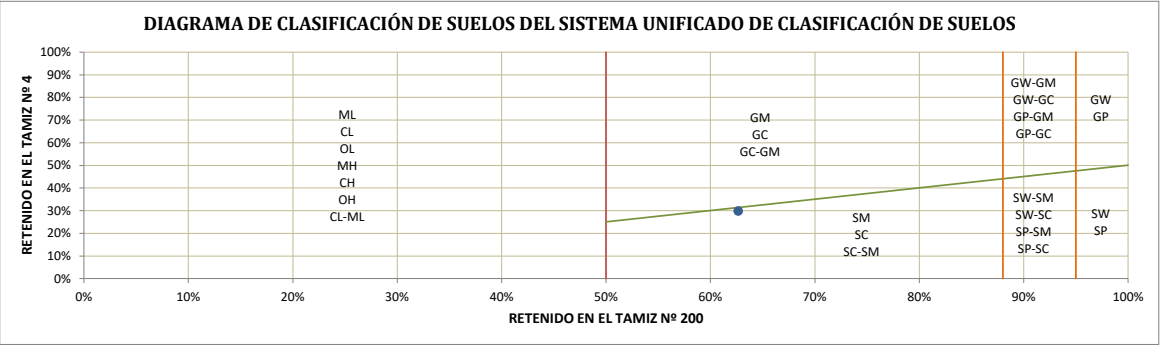
C-02

Zona de la presa:

NUCLEO

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 95.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.18 gr/cm³
Contenido de Humedad= 2.83%
Peso Unitario Seco= 2.12 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

4.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	2.344	4.000	5.080	20.268	20.27	0.116	0.197
0.1	-0.019	0.0100	2.370	4.000	5.080	20.268	20.27	0.117	0.197
0.2	-0.023	0.0200	2.400	4.000	5.080	20.268	20.26	0.118	0.197
0.3	-0.030	0.0300	2.430	4.000	5.080	20.268	20.25	0.120	0.198
0.4	-0.040	0.0400	2.450	4.000	5.080	20.268	20.24	0.121	0.198
0.5	-0.050	0.0500	2.470	4.000	5.080	20.268	20.23	0.122	0.198
0.6	-0.060	0.0600	2.490	4.000	5.080	20.268	20.22	0.123	0.198
0.8	-0.070	0.0800	2.520	4.000	5.080	20.268	20.20	0.125	0.198
1	-0.080	0.1000	2.550	4.000	5.080	20.268	20.17	0.126	0.198
1.2	-0.100	0.1200	2.590	4.000	5.080	20.268	20.14	0.129	0.199
1.4	-0.120	0.1400	2.620	4.000	5.080	20.268	20.11	0.130	0.199
1.6	-0.150	0.1600	2.650	4.000	5.080	20.268	20.08	0.132	0.199
1.8	-0.180	0.1800	2.680	4.000	5.080	20.268	20.04	0.134	0.200
2	-0.220	0.2000	2.720	4.000	5.080	20.268	20.00	0.136	0.200
2.2	-0.260	0.2200	2.760	4.000	5.080	20.268	19.96	0.138	0.200
2.4	-0.320	0.2400	2.800	4.000	5.080	20.268	19.92	0.141	0.201
2.6	-0.390	0.2600	2.830	4.000	5.080	20.268	19.88	0.142	0.201
2.8	-0.470	0.2800	2.860	4.000	5.080	20.268	19.83	0.144	0.202
3	-0.580	0.3000	2.900	4.000	5.080	20.268	19.78	0.147	0.202
3.2	-0.700	0.3200	2.930	4.000	5.080	20.268	19.73	0.148	0.203
3.4	-0.850	0.3400	2.970	4.000	5.080	20.268	19.68	0.151	0.203
3.6	-1.020	0.3600	3.010	4.000	5.080	20.268	19.63	0.153	0.204
3.8	-1.240	0.3800	3.050	4.000	5.080	20.268	19.58	0.156	0.204
4	-1.500	0.4000	3.090	4.000	5.080	20.268	19.53	0.158	0.205

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 95.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.18 gr/cm³
Contenido de Humedad= 2.83%
Peso Unitario Seco= 2.12 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

8.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	4.101	8.000	5.080	20.268	20.27	0.202	0.395
0.1	-0.023	0.0100	4.150	8.000	5.080	20.268	20.27	0.205	0.395
0.2	-0.030	0.0200	4.200	8.000	5.080	20.268	20.26	0.207	0.395
0.3	-0.040	0.0300	4.250	8.000	5.080	20.268	20.25	0.210	0.395
0.4	-0.050	0.0400	4.300	8.000	5.080	20.268	20.24	0.212	0.395
0.5	-0.060	0.0500	4.360	8.000	5.080	20.268	20.23	0.215	0.395
0.6	-0.070	0.0600	4.420	8.000	5.080	20.268	20.22	0.219	0.396
0.8	-0.080	0.0800	4.460	8.000	5.080	20.268	20.20	0.221	0.396
1	-0.100	0.1000	4.520	8.000	5.080	20.268	20.17	0.224	0.397
1.2	-0.120	0.1200	4.580	8.000	5.080	20.268	20.14	0.227	0.397
1.4	-0.140	0.1400	4.630	8.000	5.080	20.268	20.11	0.230	0.398
1.6	-0.170	0.1600	4.680	8.000	5.080	20.268	20.08	0.233	0.398
1.8	-0.210	0.1800	4.740	8.000	5.080	20.268	20.04	0.237	0.399
2	-0.250	0.2000	4.800	8.000	5.080	20.268	20.00	0.240	0.400
2.2	-0.300	0.2200	4.850	8.000	5.080	20.268	19.96	0.243	0.401
2.4	-0.360	0.2400	4.920	8.000	5.080	20.268	19.92	0.247	0.402
2.6	-0.440	0.2600	4.970	8.000	5.080	20.268	19.88	0.250	0.402
2.8	-0.530	0.2800	5.040	8.000	5.080	20.268	19.83	0.254	0.403
3	-0.640	0.3000	5.110	8.000	5.080	20.268	19.78	0.258	0.404
3.2	-0.780	0.3200	5.170	8.000	5.080	20.268	19.73	0.262	0.405
3.4	-0.940	0.3400	5.240	8.000	5.080	20.268	19.68	0.266	0.406
3.6	-1.130	0.3600	5.290	8.000	5.080	20.268	19.63	0.269	0.407
3.8	-1.370	0.3800	5.340	8.000	5.080	20.268	19.58	0.273	0.409
4	-1.670	0.4000	5.410	8.000	5.080	20.268	19.53	0.277	0.410

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 95.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.18 gr/cm³
Contenido de Humedad= 2.83%
Peso Unitario Seco= 2.12 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

12.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	5.343	12.000	5.080	20.268	20.27	0.264	0.592
0.1	-0.033	0.0100	5.420	12.000	5.080	20.268	20.27	0.267	0.592
0.2	-0.040	0.0200	5.480	12.000	5.080	20.268	20.26	0.270	0.592
0.3	-0.050	0.0300	5.530	12.000	5.080	20.268	20.25	0.273	0.593
0.4	-0.060	0.0400	5.600	12.000	5.080	20.268	20.24	0.277	0.593
0.5	-0.070	0.0500	5.660	12.000	5.080	20.268	20.23	0.280	0.593
0.6	-0.080	0.0600	5.730	12.000	5.080	20.268	20.22	0.283	0.593
0.8	-0.100	0.0800	5.810	12.000	5.080	20.268	20.20	0.288	0.594
1	-0.120	0.1000	5.870	12.000	5.080	20.268	20.17	0.291	0.595
1.2	-0.150	0.1200	5.930	12.000	5.080	20.268	20.14	0.294	0.596
1.4	-0.180	0.1400	6.010	12.000	5.080	20.268	20.11	0.299	0.597
1.6	-0.220	0.1600	6.080	12.000	5.080	20.268	20.08	0.303	0.598
1.8	-0.270	0.1800	6.140	12.000	5.080	20.268	20.04	0.306	0.599
2	-0.330	0.2000	6.210	12.000	5.080	20.268	20.00	0.310	0.600
2.2	-0.400	0.2200	6.280	12.000	5.080	20.268	19.96	0.315	0.601
2.4	-0.480	0.2400	6.340	12.000	5.080	20.268	19.92	0.318	0.602
2.6	-0.590	0.2600	6.430	12.000	5.080	20.268	19.88	0.324	0.604
2.8	-0.720	0.2800	6.520	12.000	5.080	20.268	19.83	0.329	0.605
3	-0.870	0.3000	6.600	12.000	5.080	20.268	19.78	0.334	0.607
3.2	-1.050	0.3200	6.690	12.000	5.080	20.268	19.73	0.339	0.608
3.4	-1.280	0.3400	6.760	12.000	5.080	20.268	19.68	0.343	0.610
3.6	-1.540	0.3600	6.830	12.000	5.080	20.268	19.63	0.348	0.611
3.8	-1.850	0.3800	6.910	12.000	5.080	20.268	19.58	0.353	0.613
4	-2.220	0.4000	6.990	12.000	5.080	20.268	19.53	0.358	0.615

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

DATOS DEL EQUIPO

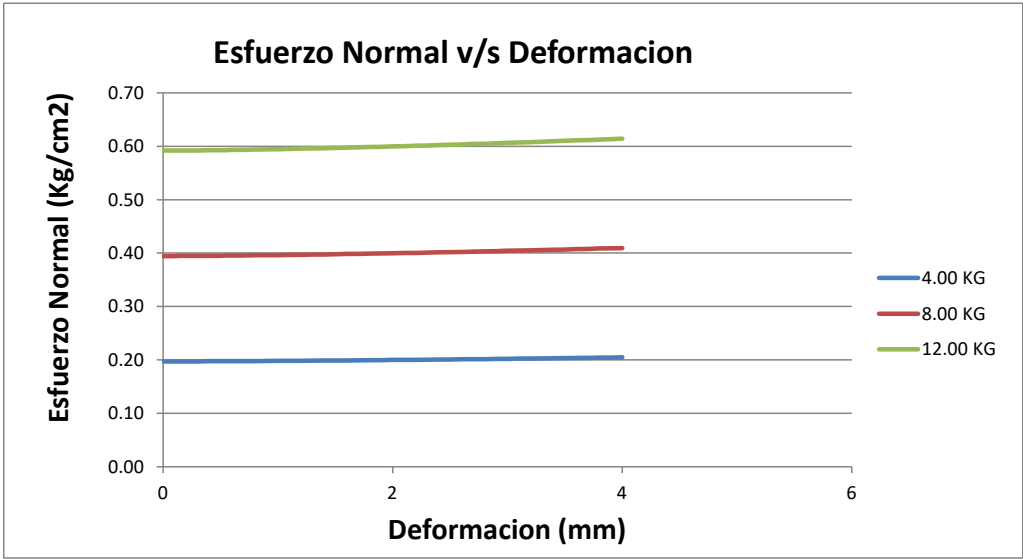
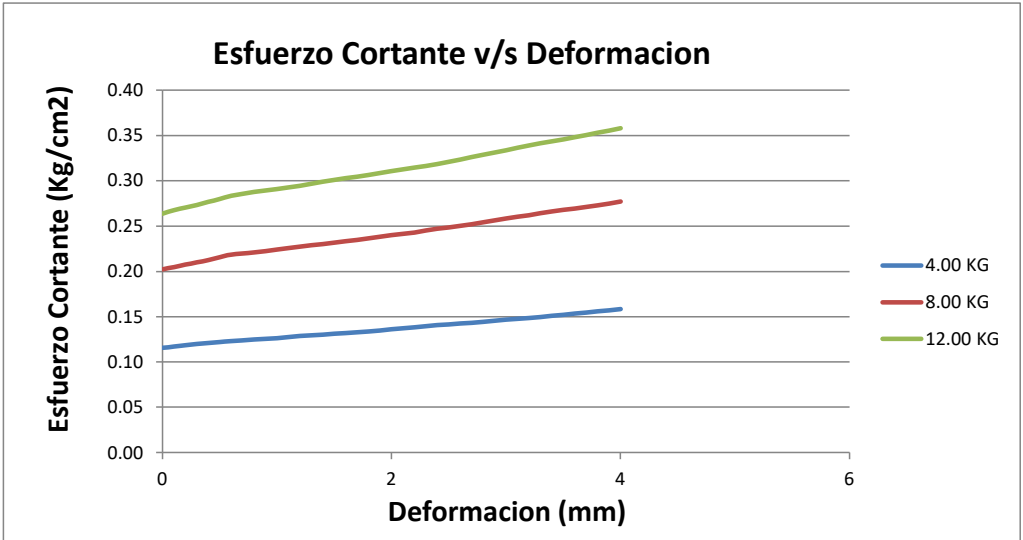
Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	95.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.18 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	2.83%
Peso Unitario Seco=	2.12 gr/cm ³

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE

CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	PROMEDIO PONDERADO:
4.00	0.158 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²	0.298 kg/cm ²
8.00	0.277 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²	
12.00	0.358 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²	



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

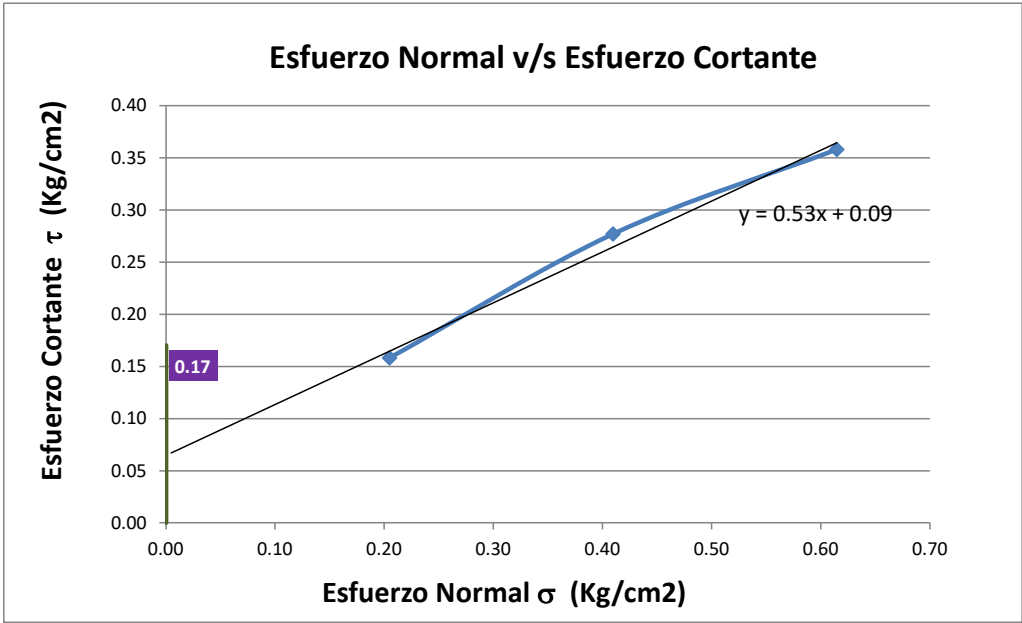
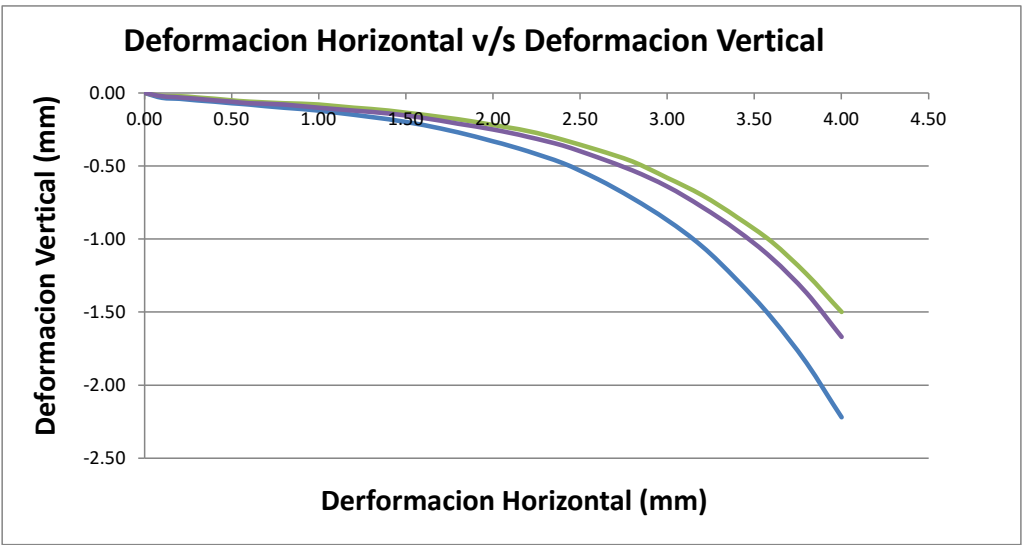
Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	95.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.18 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	2.83%
Peso Unitario Seco=	2.12 gr/cm ³



Cohesion (C)= 0.09 Kg/cm²
 $\text{tg}(f) = 0.532$
 $f = 0.49$ radianes
 $f = 28.01^\circ$

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-02
Zona de la presa: NUCLEO

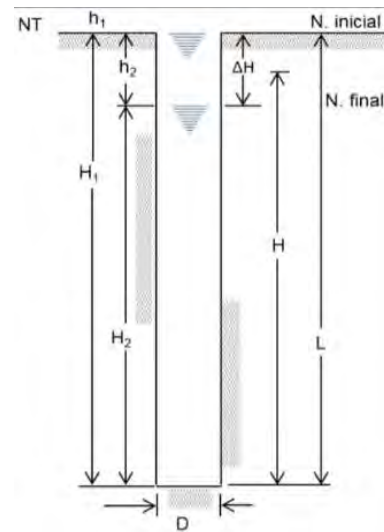
ENSAYO LEFRANC

$$k = \frac{2 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$$

$$C = \frac{0,366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$$

Datos obtenidos:

L= 30 cm
D= 12 cm



TIEMPO EN SEGUNDOS (t)	PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA EN CM (ΔH)	HIDRAULICA PROMEDIO EN CM (H)	FACTOR DE FORMA (C)	AREA DE SECCION DE LA PERFORACION EN CM2 (A)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD EN CM/S (k)
43200	4.00	28.00	0.0215	113.10	1.61E-05
43200	4.20	27.90	0.0215	113.10	1.69E-05
43200	4.50	27.75	0.0215	113.10	1.82E-05
43200	4.20	27.90	0.0215	113.10	1.69E-05
43200	4.50	27.75	0.0215	113.10	1.82E-05
43200	3.90	28.05	0.0215	113.10	1.56E-05
Promedio=					1.70E-05



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

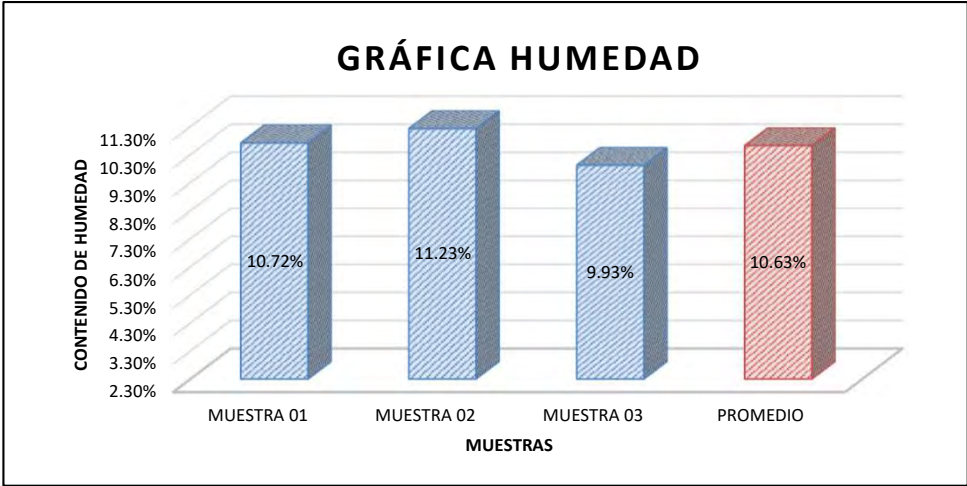
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:	C-03
Zona de la presa:	ESPALDON

NTP-339.127	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
-------------	--------------------------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	40.30	39.40	39.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	78.30	80.90	99.80
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	74.62	76.71	94.31
Peso del Agua (gr)	3.68	4.19	5.49
Peso de la Muestra Seca (gr)	34.32	37.31	55.31
Contenido de Humedad	10.72%	11.23%	9.93%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 10.63%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-03
Zona de la presa: ESPALDON

CONTENIDO DE HUMEDAD

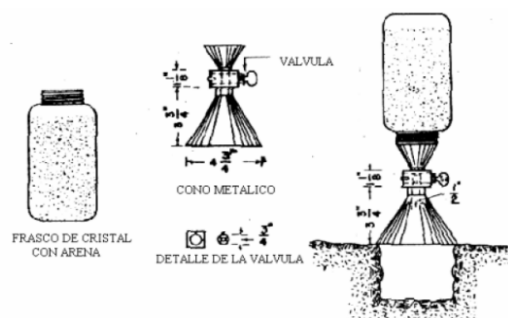
NTP 339.143

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA (gr)	40.30	39.40	39.00	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO (gr)	78.30	80.90	99.80	
PESO CAPS + MATERIAL SECO (gr)	74.62	76.71	94.31	
PESO DEL AGUA (gr)	3.68	4.19	5.49	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	34.32	37.31	55.31	
CONTENIDO DE AGUA (%)	10.72	11.23	9.93	10.63

PROMEDIO DE CONTENIDO DE AGUA = 10.63%

CONO DE ARENA

DESCRIPCION	VALOR
Peso equipo + arena inicial (g)	5640.00
Peso equipo + arena restante(g)	3992.00
Densidad de Arena (g/cm3)	1.37
Peso del suleo humedo (g)	2468.00
Peso de la arena que llena el hoyo(g)	1648.00
Volumen del hoyo (cm3)	1202.92
Peso del suelo seco (g)	2468.00
Densidad humeda in-situ(g/cm3)	2.05
Densidad seca in-situ(g/cm3)	1.85



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-03
Zona de la presa: ESPALDON

NTP 339.128 **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Antes del Lavado
Peso de la Muestra Seca = 1433.00 gr

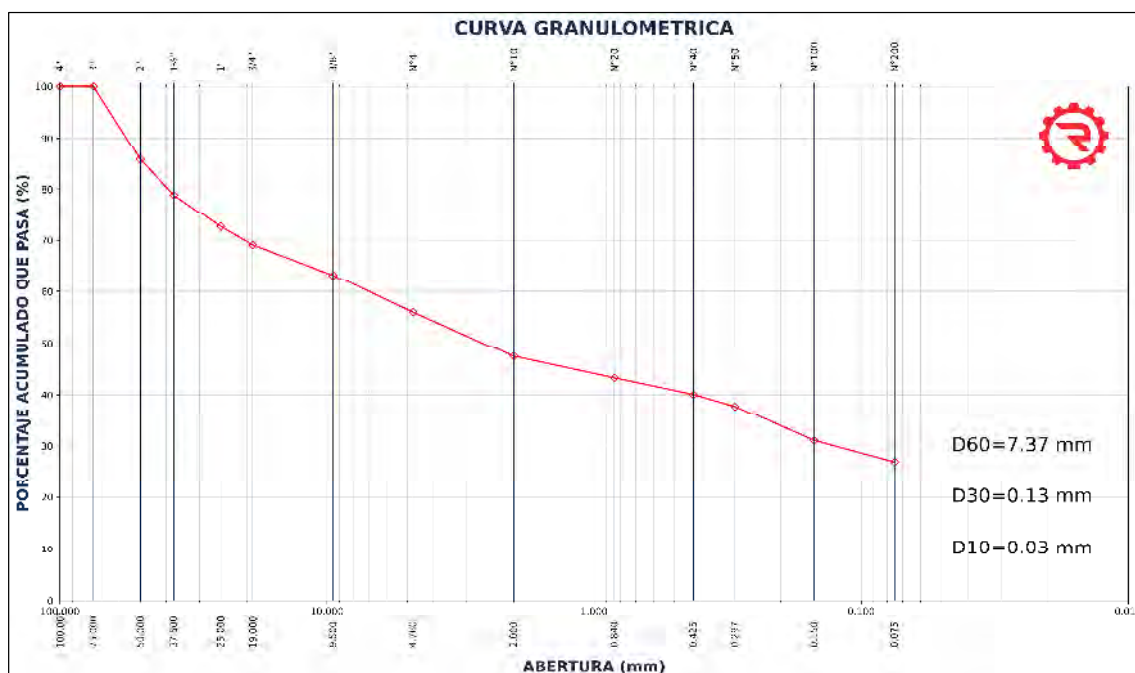
Despues del Lavado
Peso de la Muestra Seca = 1056.00 gr
% de Error en Peso = 0.70% **Ok!**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1048.6	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1048.58	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	203.25	845.33	14.18%	14.18%	85.82%
1½"	37.5	98.43	746.90	6.87%	21.05%	78.95%
1"	25	88.14	658.76	6.15%	27.20%	72.80%
¾"	19	50.35	608.41	3.51%	30.72%	69.28%
3/8"	9.5	83.64	524.77	5.84%	36.55%	63.45%
Nº 4	4.76	103.39	421.38	7.21%	43.77%	56.23%
Nº 10	2	122.77	298.61	8.57%	52.34%	47.66%
Nº 20	0.840	59.20	239.41	4.13%	56.47%	43.53%
Nº 40	0.425	45.53	193.88	3.18%	59.64%	40.36%
Nº 50	0.297	32.80	161.08	2.29%	61.93%	38.07%
Nº 100	0.150	95.52	65.56	6.67%	68.60%	31.40%
Nº 200	0.075	59.16	6.40	4.13%	72.73%	27.27%
Cazuela	-	6.40	-	0.45%	73.17%	-
Lavado	-	377.00	-	26.83%	99.55%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		1048.58		100.00%		

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) =	% de grava =	T. Max.Absoluto= 3"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)=	% de arena =	T. Max.Relativo= 2"
% de Finos(Pas Nº200)=	Total =	100.00%
Total=		

Coefficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 7.37 mm
D10 = 0.03 mm
Cu= 245.67

Coefficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 7.37 mm
D30 = 0.13 mm
D10 = 0.03 mm
Cc= 0.08





Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

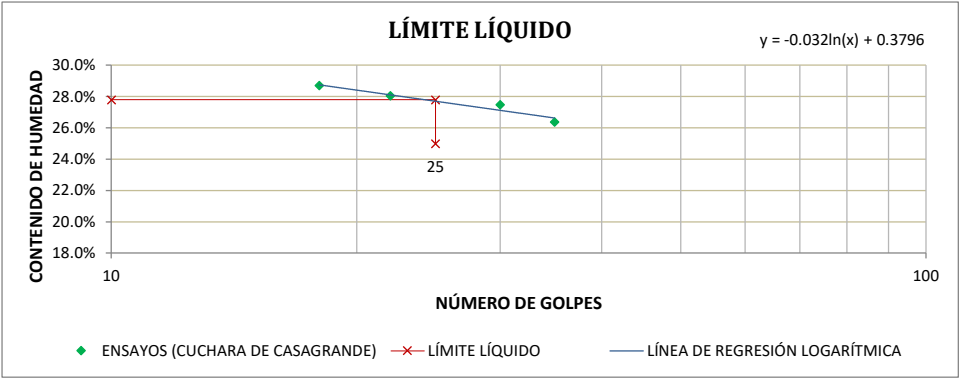
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:	C-03
Zona de la presa:	ESPALDON

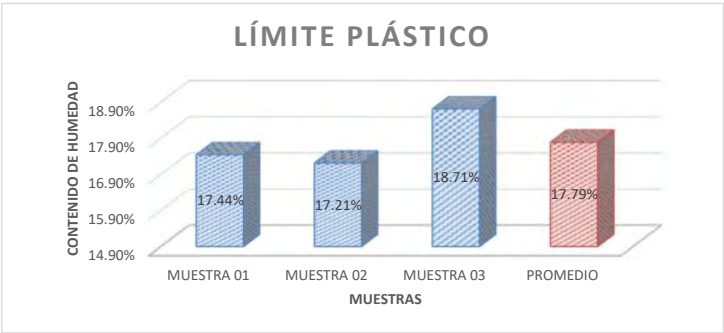
NTP 339.129	LÍMITE LÍQUIDO
-------------	----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	13.68	13.75	13.66	13.74
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	37.71	32.97	36.18	39.07
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	32.35	28.76	31.48	33.61
Peso del Agua (gr)	5.36	4.21	4.70	5.46
Peso de la Muestra Seca (gr)	18.67	15.01	17.82	19.87
Contenido de Humedad	28.71%	28.05%	26.37%	27.48%
Número de Golpes	18	22	35	30



NTP 339.129	LÍMITE PLÁSTICO
-------------	-----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	13.69	14.04	13.82
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	15.71	16.90	17.69
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	15.41	16.48	17.08
Peso del Agua (gr)	0.30	0.42	0.61
Peso de la Muestra Seca (gr)	1.72	2.44	3.26
Contenido de Humedad	17.44%	17.21%	18.71%



LÍMITE LÍQUIDO = 28.00%
LÍMITE PLÁSTICO = 18.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 10.00%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI
Muestra: ALTERADA
Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-03
Zona de la presa: ESPALDON

ASTM D-2487	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
-------------	---

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO				SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría	SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada
% de Gruesos = 72.73%			GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada
% de Finos = 27.27%				IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
Total = 100.00%				IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
% de Grava = 43.77%				$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa
% de Arena = 28.96%			GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo
Total = 72.73%		Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM		GW - GC	Grava bien graduada con arcilla	
Fracción Gruesa		Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM	Grava mal graduada con limo		
% de Grava = 60.18%		Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla		
% de Arena = 39.82%		ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
Total = 100.00%			$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada	
Coefficientes			IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa	
Cu = 245.67			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa	
Cc = 0.076		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM	Arena limosa arcillosa	
De Límites de Consistencia	Cumple los criterios para SW y SM		SW - SM	Arena bien graduada con limo		
LL = 28.00%	Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM		SW - SC	Arena bien graduada con arcilla		
LP = 18.00%	Cumple los criterios para SP y SM		SP - SM	Arena mal graduada con limo		
IP = 10.00%	Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla			
Otros Datos	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML	Limo de baja plasticidad
Tipo = Inorgánico			Orgánicos	IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL	Arcilla de baja plasticidad
				$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML	Arcilla limosa
			<i>Límite Líquido secado al horno</i> <i>Límite Líquido no secado</i> < 0.75	OL	Limo orgánico	
					Arcilla orgánica	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
				Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
			Orgánicos	<i>Límite Líquido secado al horno</i> <i>Límite Líquido no secado</i> < 0.75	OH	Limo orgánico
					Arcilla orgánica	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS			Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt	Turba	

GC = Grava arcillosa con arena

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:

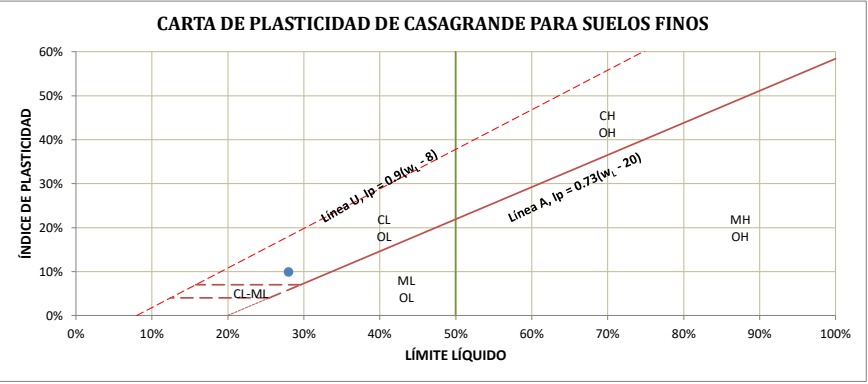
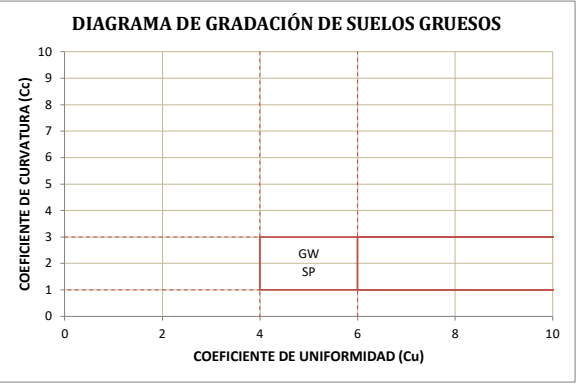
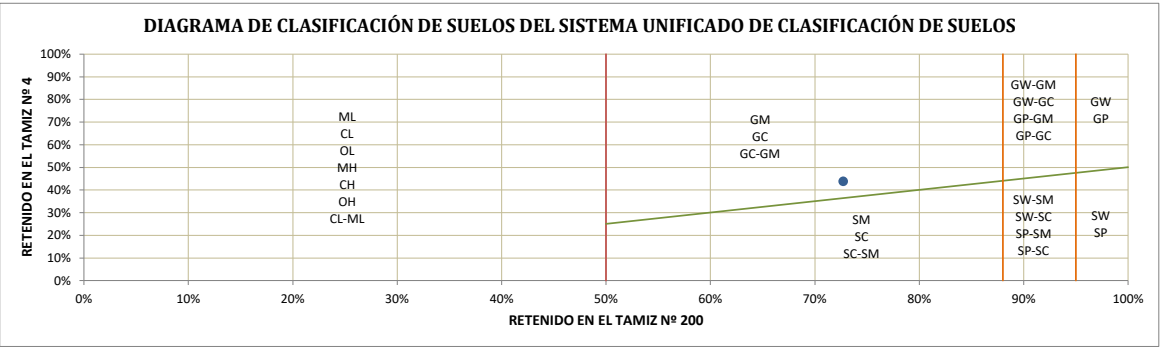
C-03

Zona de la presa:

ESPALDON

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-03
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 96.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.20 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.90%
Peso Unitario Seco= 2.10 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

4.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	2.197	4.000	5.080	20.268	20.27	0.108	0.197
0.1	-0.019	0.0100	2.220	4.000	5.080	20.268	20.27	0.110	0.197
0.2	-0.023	0.0200	2.250	4.000	5.080	20.268	20.26	0.111	0.197
0.3	-0.030	0.0300	2.280	4.000	5.080	20.268	20.25	0.113	0.198
0.4	-0.040	0.0400	2.310	4.000	5.080	20.268	20.24	0.114	0.198
0.5	-0.050	0.0500	2.330	4.000	5.080	20.268	20.23	0.115	0.198
0.6	-0.060	0.0600	2.360	4.000	5.080	20.268	20.22	0.117	0.198
0.8	-0.070	0.0800	2.380	4.000	5.080	20.268	20.20	0.118	0.198
1	-0.090	0.1000	2.410	4.000	5.080	20.268	20.17	0.119	0.198
1.2	-0.110	0.1200	2.440	4.000	5.080	20.268	20.14	0.121	0.199
1.4	-0.130	0.1400	2.470	4.000	5.080	20.268	20.11	0.123	0.199
1.6	-0.160	0.1600	2.500	4.000	5.080	20.268	20.08	0.125	0.199
1.8	-0.190	0.1800	2.530	4.000	5.080	20.268	20.04	0.126	0.200
2	-0.230	0.2000	2.560	4.000	5.080	20.268	20.00	0.128	0.200
2.2	-0.280	0.2200	2.600	4.000	5.080	20.268	19.96	0.130	0.200
2.4	-0.340	0.2400	2.630	4.000	5.080	20.268	19.92	0.132	0.201
2.6	-0.410	0.2600	2.660	4.000	5.080	20.268	19.88	0.134	0.201
2.8	-0.500	0.2800	2.690	4.000	5.080	20.268	19.83	0.136	0.202
3	-0.600	0.3000	2.720	4.000	5.080	20.268	19.78	0.137	0.202
3.2	-0.720	0.3200	2.760	4.000	5.080	20.268	19.73	0.140	0.203
3.4	-0.870	0.3400	2.790	4.000	5.080	20.268	19.68	0.142	0.203
3.6	-1.060	0.3600	2.830	4.000	5.080	20.268	19.63	0.144	0.204
3.8	-1.300	0.3800	2.870	4.000	5.080	20.268	19.58	0.147	0.204
4	-1.570	0.4000	2.900	4.000	5.080	20.268	19.53	0.149	0.205

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-03
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 96.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.20 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.90%
Peso Unitario Seco= 2.10 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

8.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	4.248	8.000	5.080	20.268	20.27	0.210	0.395
0.1	-0.023	0.0100	4.290	8.000	5.080	20.268	20.27	0.212	0.395
0.2	-0.030	0.0200	4.340	8.000	5.080	20.268	20.26	0.214	0.395
0.3	-0.040	0.0300	4.390	8.000	5.080	20.268	20.25	0.217	0.395
0.4	-0.050	0.0400	4.440	8.000	5.080	20.268	20.24	0.219	0.395
0.5	-0.060	0.0500	4.490	8.000	5.080	20.268	20.23	0.222	0.395
0.6	-0.070	0.0600	4.540	8.000	5.080	20.268	20.22	0.224	0.396
0.8	-0.090	0.0800	4.600	8.000	5.080	20.268	20.20	0.228	0.396
1	-0.110	0.1000	4.660	8.000	5.080	20.268	20.17	0.231	0.397
1.2	-0.130	0.1200	4.710	8.000	5.080	20.268	20.14	0.234	0.397
1.4	-0.160	0.1400	4.780	8.000	5.080	20.268	20.11	0.238	0.398
1.6	-0.190	0.1600	4.850	8.000	5.080	20.268	20.08	0.242	0.398
1.8	-0.230	0.1800	4.920	8.000	5.080	20.268	20.04	0.245	0.399
2	-0.280	0.2000	4.970	8.000	5.080	20.268	20.00	0.248	0.400
2.2	-0.340	0.2200	5.030	8.000	5.080	20.268	19.96	0.252	0.401
2.4	-0.410	0.2400	5.090	8.000	5.080	20.268	19.92	0.256	0.402
2.6	-0.490	0.2600	5.150	8.000	5.080	20.268	19.88	0.259	0.402
2.8	-0.590	0.2800	5.220	8.000	5.080	20.268	19.83	0.263	0.403
3	-0.720	0.3000	5.280	8.000	5.080	20.268	19.78	0.267	0.404
3.2	-0.880	0.3200	5.340	8.000	5.080	20.268	19.73	0.271	0.405
3.4	-1.060	0.3400	5.390	8.000	5.080	20.268	19.68	0.274	0.406
3.6	-1.290	0.3600	5.440	8.000	5.080	20.268	19.63	0.277	0.407
3.8	-1.560	0.3800	5.520	8.000	5.080	20.268	19.58	0.282	0.409
4	-1.910	0.4000	5.590	8.000	5.080	20.268	19.53	0.286	0.410

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-03
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 96.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.20 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.90%
Peso Unitario Seco= 2.10 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

12.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	5.789	12.000	5.080	20.268	20.27	0.286	0.592
0.1	-0.033	0.0100	5.860	12.000	5.080	20.268	20.27	0.289	0.592
0.2	-0.040	0.0200	5.920	12.000	5.080	20.268	20.26	0.292	0.592
0.3	-0.050	0.0300	6.000	12.000	5.080	20.268	20.25	0.296	0.593
0.4	-0.060	0.0400	6.080	12.000	5.080	20.268	20.24	0.300	0.593
0.5	-0.070	0.0500	6.150	12.000	5.080	20.268	20.23	0.304	0.593
0.6	-0.080	0.0600	6.240	12.000	5.080	20.268	20.22	0.309	0.593
0.8	-0.100	0.0800	6.300	12.000	5.080	20.268	20.20	0.312	0.594
1	-0.120	0.1000	6.360	12.000	5.080	20.268	20.17	0.315	0.595
1.2	-0.140	0.1200	6.430	12.000	5.080	20.268	20.14	0.319	0.596
1.4	-0.170	0.1400	6.500	12.000	5.080	20.268	20.11	0.323	0.597
1.6	-0.200	0.1600	6.590	12.000	5.080	20.268	20.08	0.328	0.598
1.8	-0.240	0.1800	6.660	12.000	5.080	20.268	20.04	0.332	0.599
2	-0.290	0.2000	6.730	12.000	5.080	20.268	20.00	0.336	0.600
2.2	-0.350	0.2200	6.820	12.000	5.080	20.268	19.96	0.342	0.601
2.4	-0.430	0.2400	6.910	12.000	5.080	20.268	19.92	0.347	0.602
2.6	-0.520	0.2600	6.990	12.000	5.080	20.268	19.88	0.352	0.604
2.8	-0.630	0.2800	7.060	12.000	5.080	20.268	19.83	0.356	0.605
3	-0.770	0.3000	7.130	12.000	5.080	20.268	19.78	0.360	0.607
3.2	-0.930	0.3200	7.220	12.000	5.080	20.268	19.73	0.366	0.608
3.4	-1.120	0.3400	7.310	12.000	5.080	20.268	19.68	0.371	0.610
3.6	-1.350	0.3600	7.400	12.000	5.080	20.268	19.63	0.377	0.611
3.8	-1.640	0.3800	7.490	12.000	5.080	20.268	19.58	0.383	0.613
4	-1.990	0.4000	7.590	12.000	5.080	20.268	19.53	0.389	0.615

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-03
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

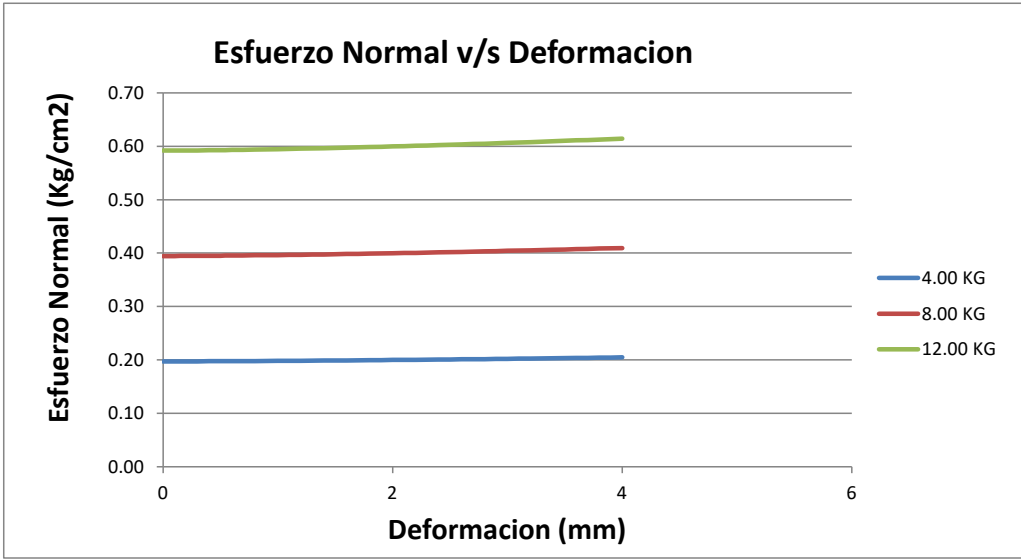
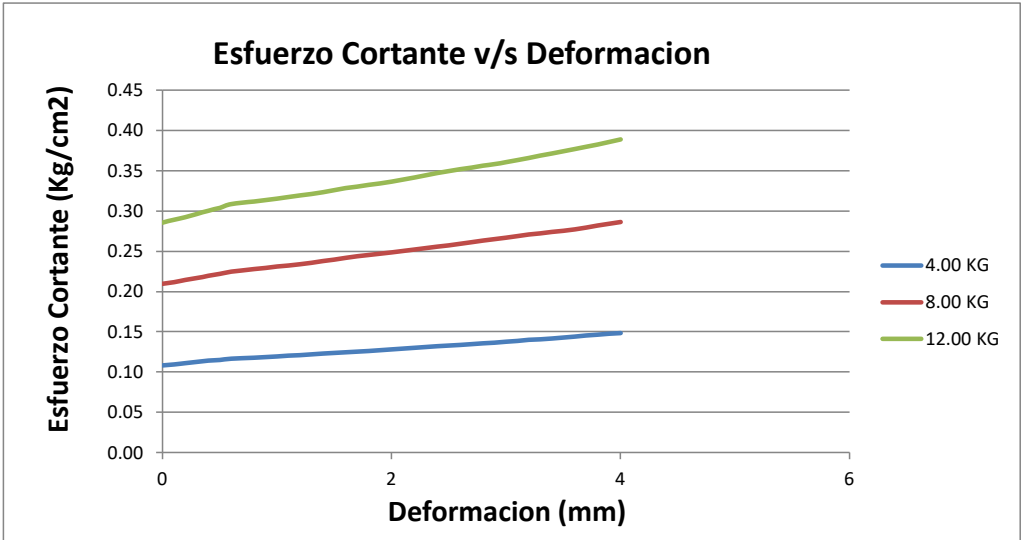
Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	96.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.20 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	4.90%
Peso Unitario Seco=	2.10 gr/cm ³

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE

CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL	PROMEDIO PONDERADO:
4.00	0.149 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²	0.315 kg/cm ²
8.00	0.286 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²	
12.00	0.389 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²	



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

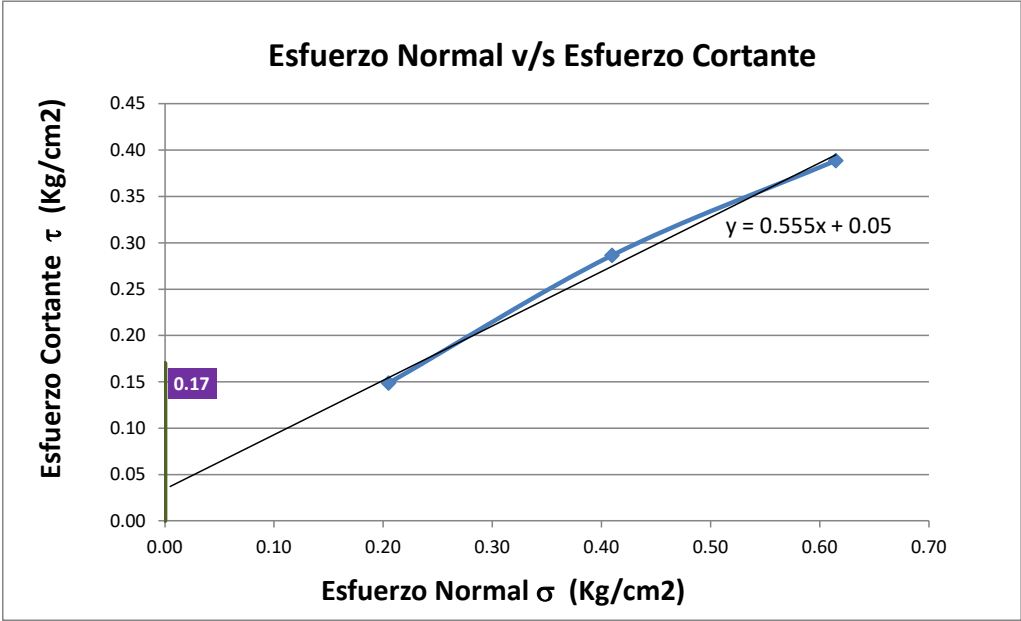
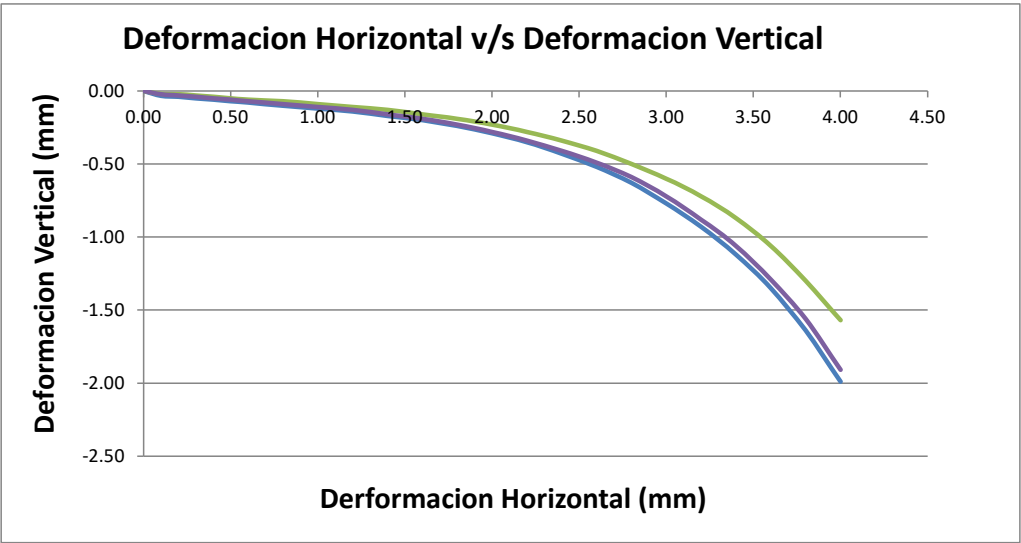
Calicata: C-03
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	96.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.20 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	4.90%
Peso Unitario Seco=	2.10 gr/cm ³



Cohesion (C)= 0.05 Kg/cm²
 $\text{tg}(f) = 0.555$
 $f = 0.51$ radianes
 $f = 29.02^\circ$

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-03
Zona de la presa: ESPALDON

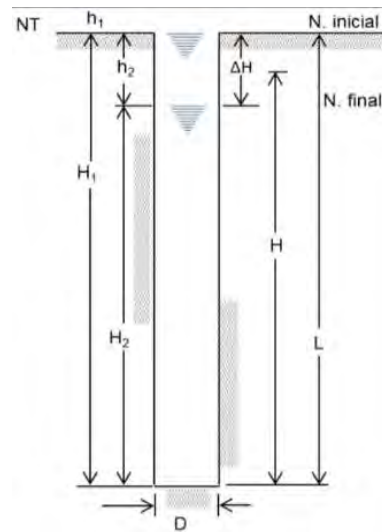
ENSAYO LEFRANC

$$k = \frac{2 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$$

$$C = \frac{0,366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$$

Datos obtenidos:

L= 30 cm
D= 12 cm



TIEMPO EN SEGUNDOS (t)	PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA EN CM (ΔH)	HIDRAULICA PROMEDIO EN CM (H)	FACTOR DE FORMA (C)	AREA DE SECCION DE LA PERFORACION EN CM2 (A)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD EN CM/S (k)
7200	7.20	26.40	0.0215	113.10	1.84E-04
7200	8.10	25.95	0.0215	113.10	2.11E-04
7200	6.50	26.75	0.0215	113.10	1.64E-04
7200	6.20	26.90	0.0215	113.10	1.55E-04
7200	7.80	26.10	0.0215	113.10	2.02E-04
7200	6.50	26.75	0.0215	113.10	1.64E-04
Promedio=					1.80E-04



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

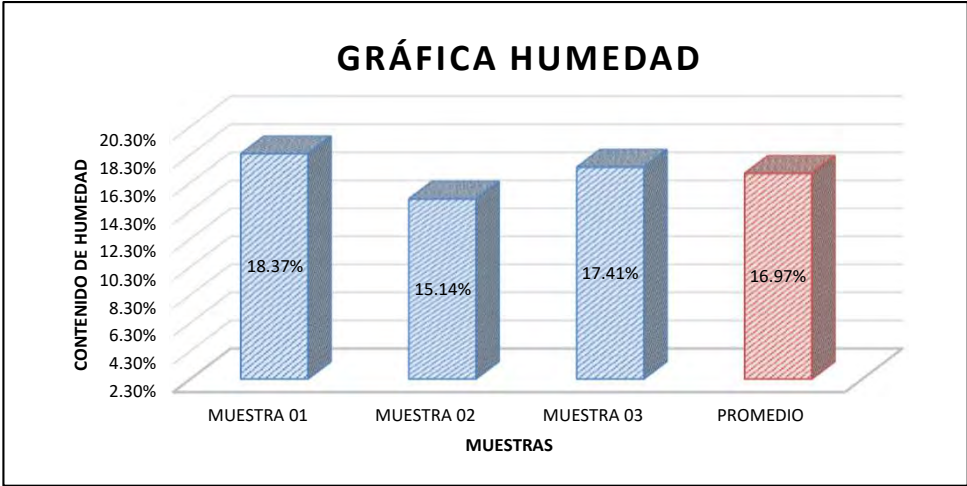
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:	C-04
Zona de la presa:	CIMIENTO

NTP-339.127	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
-------------	--------------------------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	38.70	40.10	39.50
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	93.40	95.00	88.60
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	84.91	87.78	81.32
Peso del Agua (gr)	8.49	7.22	7.28
Peso de la Muestra Seca (gr)	46.21	47.68	41.82
Contenido de Humedad	18.37%	15.14%	17.41%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 16.97%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-04
Zona de la presa: CIMIENTO

CONTENIDO DE HUMEDAD

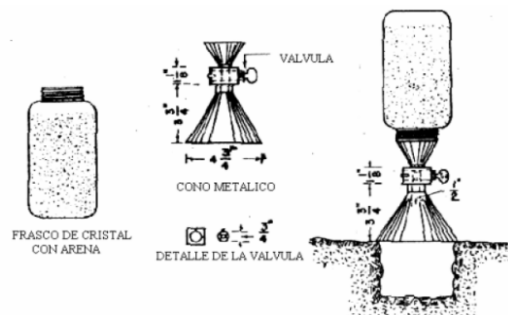
NTP 339.143

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA (gr)	38.70	40.10	39.50	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO (gr)	93.40	95.00	88.60	
PESO CAPS + MATERIAL SECO (gr)	84.91	87.78	81.32	
PESO DEL AGUA (gr)	8.49	7.22	7.28	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	46.21	47.68	41.82	
CONTENIDO DE AGUA (%)	18.37	15.14	17.41	16.97

PROMEDIO DE CONTENIDO DE AGUA = 16.97%

CONO DE ARENA

DESCRIPCION	VALOR
Peso equipo + arena inicial (g)	5773.00
Peso equipo + arena restante(g)	4023.00
Densidad de Arena (g/cm3)	1.37
Peso del suleo humedo (g)	2680.00
Peso de la arena que llena el hoyo(g)	1750.00
Volumen del hoyo (cm3)	1277.37
Peso del suelo seco (g)	2680.00
Densidad humeda in-situ(g/cm3)	2.10
Densidad seca in-situ(g/cm3)	1.79



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-04
Zona de la presa: CIMIENTO

NTP 339.128 **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Antes del Lavado
Peso de la Muestra Seca = 1836.00 gr

Despues del Lavado
Peso de la Muestra Seca = 1022.00 gr
% de Error en Peso = 0.59%

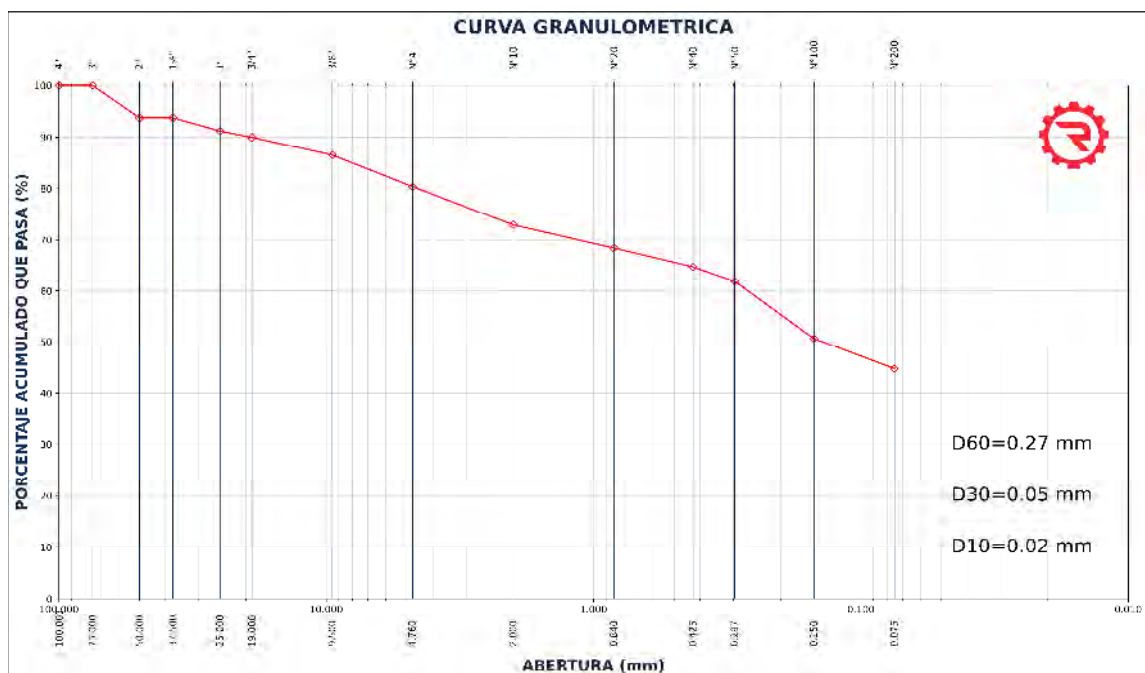
Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1016.0	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1015.95	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	114.40	901.55	6.23%	6.23%	93.77%
1½"	37.5	0.00	901.55	0.00%	6.23%	93.77%
1"	25	46.81	854.74	2.55%	8.78%	91.22%
¾"	19	22.68	832.06	1.24%	10.02%	89.98%
⅜"	9.5	63.28	768.78	3.45%	13.46%	86.54%
Nº 4	4.76	112.25	656.53	6.11%	19.58%	80.42%
Nº 10	2	136.64	519.89	7.44%	27.02%	72.98%
Nº 20	0.840	82.10	437.79	4.47%	31.49%	68.51%
Nº 40	0.425	66.92	370.87	3.64%	35.14%	64.86%
Nº 50	0.297	51.96	318.91	2.83%	37.97%	62.03%
Nº 100	0.150	207.04	111.87	11.28%	49.24%	50.76%
Nº 200	0.075	107.30	4.57	5.84%	55.09%	44.91%
Cazuela	-	4.57	-	0.25%	55.33%	-
Lavado	-	814.00	-	44.67%	99.75%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		1015.95		100.00%		

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) =	% de grava =	T. Max.Absoluto= 3"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)=	% de arena =	T. Max.Relativo= 2"
% de Finos(Pas Nº200)=	Total =	100.00%
Total=		

Coefficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 0.27 mm
D30 = 0.05 mm
D10 = 0.02 mm
Cu= 13.50

Coefficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 0.27 mm
D30 = 0.05 mm
D10 = 0.02 mm
Cc= 0.46





Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

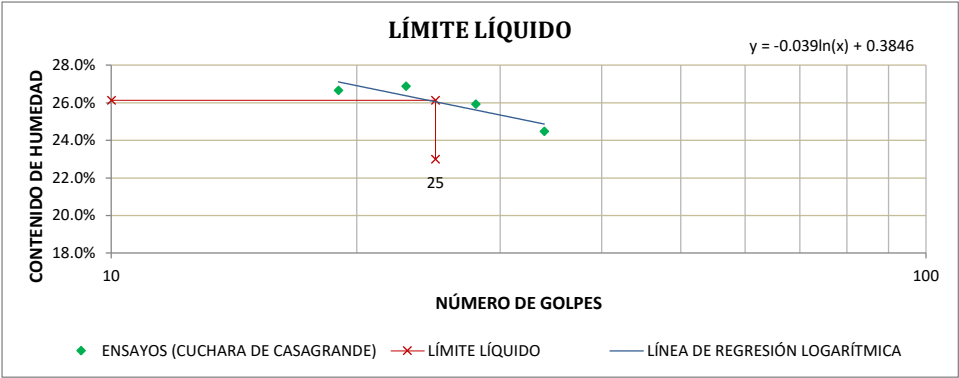
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:	C-04
Zona de la presa:	CIMIENTO

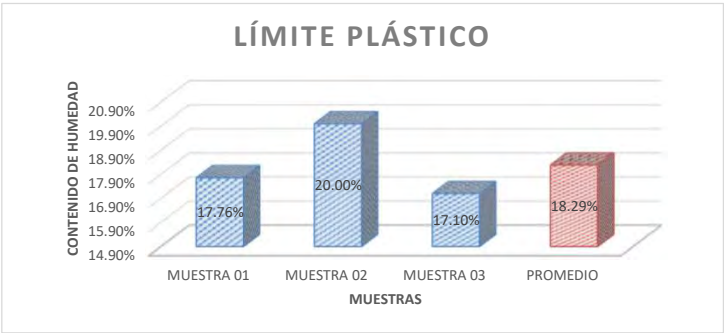
NTP 339.129	LÍMITE LÍQUIDO
-------------	----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	13.75	13.80	13.69	13.70
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	26.02	27.10	29.09	30.60
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	23.42	24.30	26.06	27.12
Peso del Agua (gr)	2.60	2.80	3.03	3.48
Peso de la Muestra Seca (gr)	9.67	10.50	12.37	13.42
Contenido de Humedad	26.89%	26.67%	24.49%	25.93%
Número de Golpes	23	19	34	28



NTP 339.129	LÍMITE PLÁSTICO
-------------	-----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	13.81	13.78	13.71
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	16.33	16.72	16.86
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	15.95	16.23	16.40
Peso del Agua (gr)	0.38	0.49	0.46
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.14	2.45	2.69
Contenido de Humedad	17.76%	20.00%	17.10%



LÍMITE LÍQUIDO = 26.00%
LÍMITE PLÁSTICO = 18.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 8.00%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI
Muestra: ALTERADA
Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-04
Zona de la presa: CEMENTO

ASTM D-2487	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)					
DATOS PARA CLASIFICACIÓN		CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO			SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría		GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	GW	Grava bien graduada
% de Gruesos =	Cu < 4 ó 1> Cc > 3			GP	Grava mal graduada	
% de Finos =	GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200		IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
Total =			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
% de Grava =			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa	
% de Arena =			Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo	
Total =	GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla	
Fracción Gruesa			Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM	Grava mal graduada con limo	
% de Grava =			Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla	
% de Arena =			Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	SW	Arena bien graduada	
Total =	ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4		ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu < 6 ó 1> Cc > 3	SP	Arena mal graduada
Coefficientes				ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM
Cu =		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC		Arena arcillosa	
Cc =		4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM		Arena limosa arcillosa	
De Límites de Consistencia		Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM		Arena bien graduada con limo	
LL =		ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC	Arena bien graduada con arcilla	
LP =	Cumple los criterios para SP y SM		SP - SM	Arena mal graduada con limo		
IP =	Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM		SP - SC	Arena mal graduada con arcilla		
Otros Datos	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML
Tipo =		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad			CL	Arcilla de baja plasticidad
		Orgánicos	4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML	Arcilla limosa	
					Límite Líquido secado al horno Límite Líquido no secado < 0.75	OL
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
				Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
	Orgánicos	Límite Líquido secado al horno Límite Líquido no secado < 0.75	OH	Limo orgánico		
				Arcilla orgánica		
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Principalmente materia orgánica de color oscuro			Pt	Turba

SC = Arena arcillosa con grava

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:

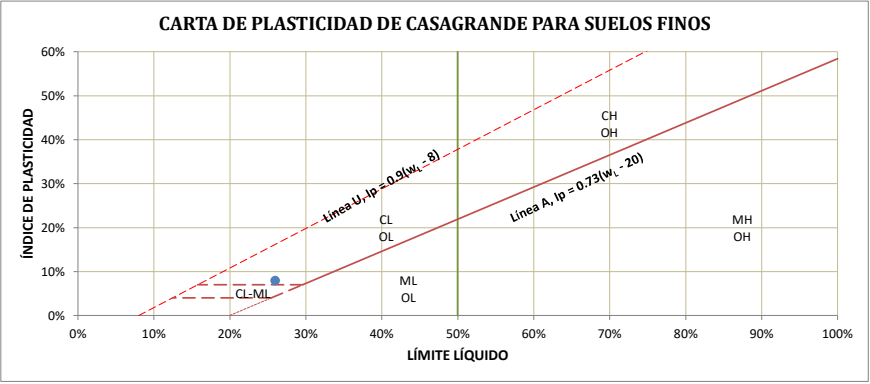
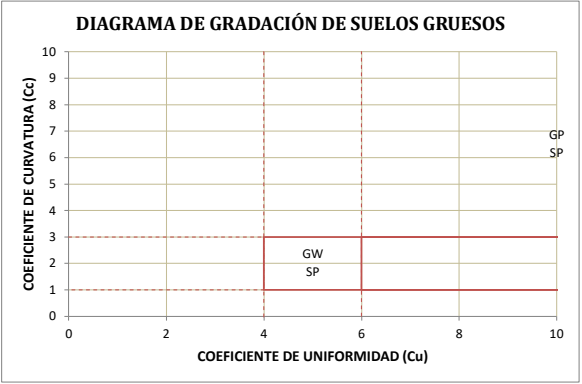
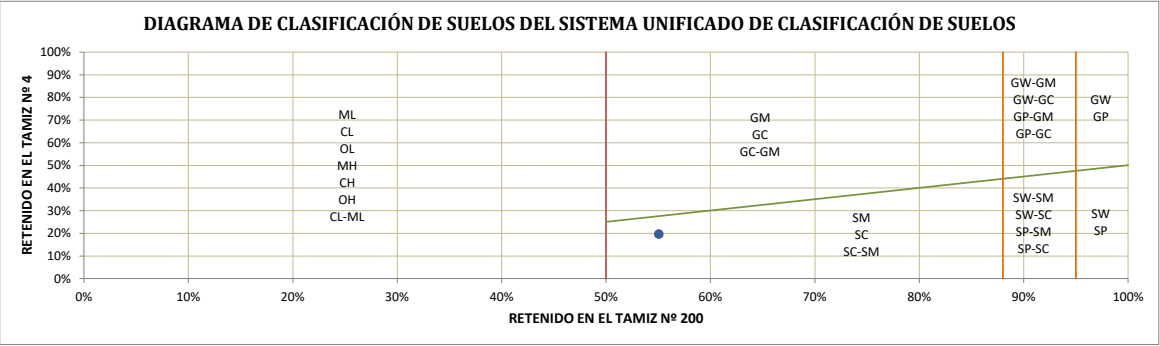
C-04

Zona de la presa:

CIMIENTO

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-04
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 91.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.09 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.41%
Peso Unitario Seco= 2.00 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

4.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	3.076	4.000	5.080	20.268	20.27	0.152	0.197
0.1	-0.019	0.0100	3.120	4.000	5.080	20.268	20.27	0.154	0.197
0.2	-0.023	0.0200	3.150	4.000	5.080	20.268	20.26	0.155	0.197
0.3	-0.030	0.0300	3.190	4.000	5.080	20.268	20.25	0.158	0.198
0.4	-0.040	0.0400	3.230	4.000	5.080	20.268	20.24	0.160	0.198
0.5	-0.050	0.0500	3.270	4.000	5.080	20.268	20.23	0.162	0.198
0.6	-0.060	0.0600	3.310	4.000	5.080	20.268	20.22	0.164	0.198
0.8	-0.070	0.0800	3.360	4.000	5.080	20.268	20.20	0.166	0.198
1	-0.090	0.1000	3.400	4.000	5.080	20.268	20.17	0.169	0.198
1.2	-0.110	0.1200	3.440	4.000	5.080	20.268	20.14	0.171	0.199
1.4	-0.130	0.1400	3.490	4.000	5.080	20.268	20.11	0.174	0.199
1.6	-0.160	0.1600	3.530	4.000	5.080	20.268	20.08	0.176	0.199
1.8	-0.190	0.1800	3.580	4.000	5.080	20.268	20.04	0.179	0.200
2	-0.230	0.2000	3.630	4.000	5.080	20.268	20.00	0.181	0.200
2.2	-0.280	0.2200	3.670	4.000	5.080	20.268	19.96	0.184	0.200
2.4	-0.340	0.2400	3.710	4.000	5.080	20.268	19.92	0.186	0.201
2.6	-0.410	0.2600	3.750	4.000	5.080	20.268	19.88	0.189	0.201
2.8	-0.500	0.2800	3.800	4.000	5.080	20.268	19.83	0.192	0.202
3	-0.600	0.3000	3.840	4.000	5.080	20.268	19.78	0.194	0.202
3.2	-0.730	0.3200	3.890	4.000	5.080	20.268	19.73	0.197	0.203
3.4	-0.890	0.3400	3.930	4.000	5.080	20.268	19.68	0.200	0.203
3.6	-1.070	0.3600	3.980	4.000	5.080	20.268	19.63	0.203	0.204
3.8	-1.300	0.3800	4.030	4.000	5.080	20.268	19.58	0.206	0.204
4	-1.580	0.4000	4.080	4.000	5.080	20.268	19.53	0.209	0.205

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-04
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 91.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.09 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.41%
Peso Unitario Seco= 2.00 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

8.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	5.127	8.000	5.080	20.268	20.27	0.253	0.395
0.1	-0.023	0.0100	5.180	8.000	5.080	20.268	20.27	0.256	0.395
0.2	-0.030	0.0200	5.240	8.000	5.080	20.268	20.26	0.259	0.395
0.3	-0.040	0.0300	5.310	8.000	5.080	20.268	20.25	0.262	0.395
0.4	-0.050	0.0400	5.370	8.000	5.080	20.268	20.24	0.265	0.395
0.5	-0.060	0.0500	5.430	8.000	5.080	20.268	20.23	0.268	0.395
0.6	-0.070	0.0600	5.510	8.000	5.080	20.268	20.22	0.272	0.396
0.8	-0.080	0.0800	5.570	8.000	5.080	20.268	20.20	0.276	0.396
1	-0.100	0.1000	5.630	8.000	5.080	20.268	20.17	0.279	0.397
1.2	-0.120	0.1200	5.690	8.000	5.080	20.268	20.14	0.282	0.397
1.4	-0.150	0.1400	5.750	8.000	5.080	20.268	20.11	0.286	0.398
1.6	-0.180	0.1600	5.810	8.000	5.080	20.268	20.08	0.289	0.398
1.8	-0.220	0.1800	5.880	8.000	5.080	20.268	20.04	0.293	0.399
2	-0.270	0.2000	5.940	8.000	5.080	20.268	20.00	0.297	0.400
2.2	-0.330	0.2200	6.020	8.000	5.080	20.268	19.96	0.302	0.401
2.4	-0.400	0.2400	6.080	8.000	5.080	20.268	19.92	0.305	0.402
2.6	-0.480	0.2600	6.160	8.000	5.080	20.268	19.88	0.310	0.402
2.8	-0.580	0.2800	6.220	8.000	5.080	20.268	19.83	0.314	0.403
3	-0.710	0.3000	6.280	8.000	5.080	20.268	19.78	0.317	0.404
3.2	-0.870	0.3200	6.360	8.000	5.080	20.268	19.73	0.322	0.405
3.4	-1.060	0.3400	6.440	8.000	5.080	20.268	19.68	0.327	0.406
3.6	-1.270	0.3600	6.530	8.000	5.080	20.268	19.63	0.333	0.407
3.8	-1.550	0.3800	6.610	8.000	5.080	20.268	19.58	0.338	0.409
4	-1.890	0.4000	6.680	8.000	5.080	20.268	19.53	0.342	0.410

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159

Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-04
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 91.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.09 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.41%
Peso Unitario Seco= 2.00 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

12.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	6.679	12.000	5.080	20.268	20.27	0.330	0.592
0.1	-0.033	0.0100	6.760	12.000	5.080	20.268	20.27	0.334	0.592
0.2	-0.040	0.0200	6.830	12.000	5.080	20.268	20.26	0.337	0.592
0.3	-0.050	0.0300	6.920	12.000	5.080	20.268	20.25	0.342	0.593
0.4	-0.060	0.0400	7.000	12.000	5.080	20.268	20.24	0.346	0.593
0.5	-0.070	0.0500	7.080	12.000	5.080	20.268	20.23	0.350	0.593
0.6	-0.080	0.0600	7.150	12.000	5.080	20.268	20.22	0.354	0.593
0.8	-0.100	0.0800	7.250	12.000	5.080	20.268	20.20	0.359	0.594
1	-0.120	0.1000	7.320	12.000	5.080	20.268	20.17	0.363	0.595
1.2	-0.140	0.1200	7.410	12.000	5.080	20.268	20.14	0.368	0.596
1.4	-0.170	0.1400	7.500	12.000	5.080	20.268	20.11	0.373	0.597
1.6	-0.200	0.1600	7.590	12.000	5.080	20.268	20.08	0.378	0.598
1.8	-0.240	0.1800	7.690	12.000	5.080	20.268	20.04	0.384	0.599
2	-0.290	0.2000	7.770	12.000	5.080	20.268	20.00	0.388	0.600
2.2	-0.350	0.2200	7.880	12.000	5.080	20.268	19.96	0.395	0.601
2.4	-0.420	0.2400	7.980	12.000	5.080	20.268	19.92	0.401	0.602
2.6	-0.510	0.2600	8.080	12.000	5.080	20.268	19.88	0.407	0.604
2.8	-0.610	0.2800	8.190	12.000	5.080	20.268	19.83	0.413	0.605
3	-0.740	0.3000	8.270	12.000	5.080	20.268	19.78	0.418	0.607
3.2	-0.890	0.3200	8.380	12.000	5.080	20.268	19.73	0.425	0.608
3.4	-1.080	0.3400	8.500	12.000	5.080	20.268	19.68	0.432	0.610
3.6	-1.320	0.3600	8.590	12.000	5.080	20.268	19.63	0.438	0.611
3.8	-1.610	0.3800	8.680	12.000	5.080	20.268	19.58	0.443	0.613
4	-1.950	0.4000	8.790	12.000	5.080	20.268	19.53	0.450	0.615

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-04
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

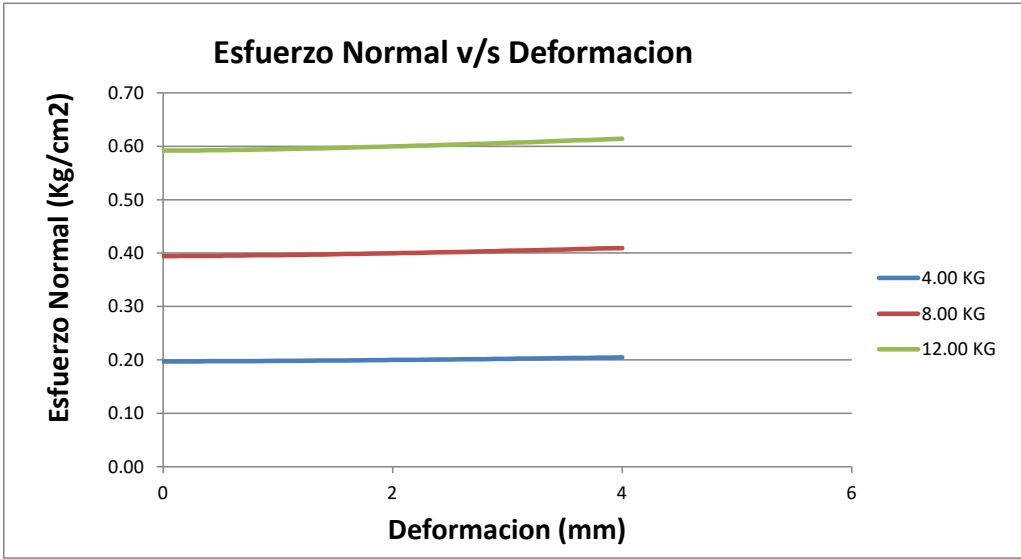
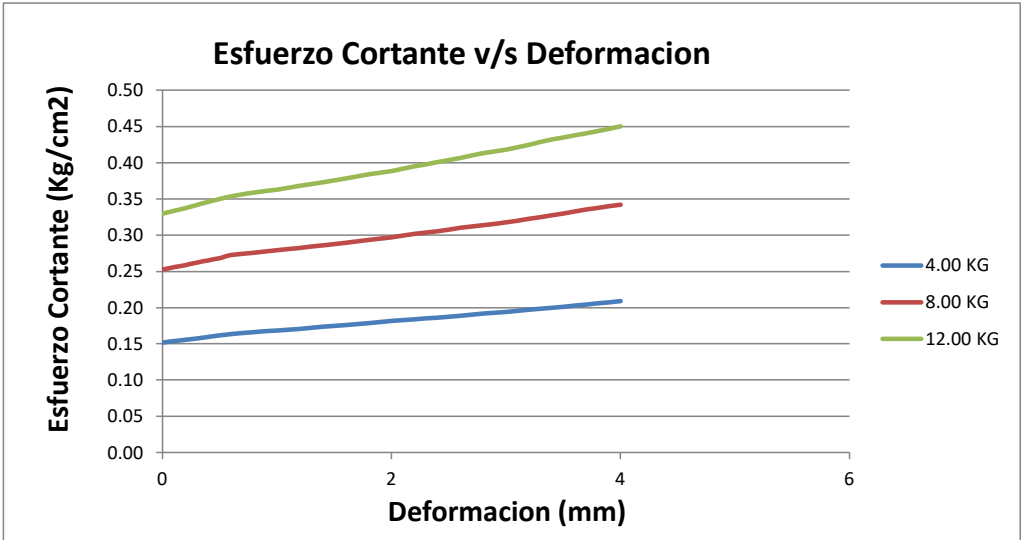
DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	91.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.09 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	4.41%
Peso Unitario Seco=	2.00 gr/cm ³

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE

CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4.00	0.209 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²
8.00	0.342 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²
12.00	0.450 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²

PROMEDIO PONDERADO:	0.374 kg/cm ²
---------------------	--------------------------



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

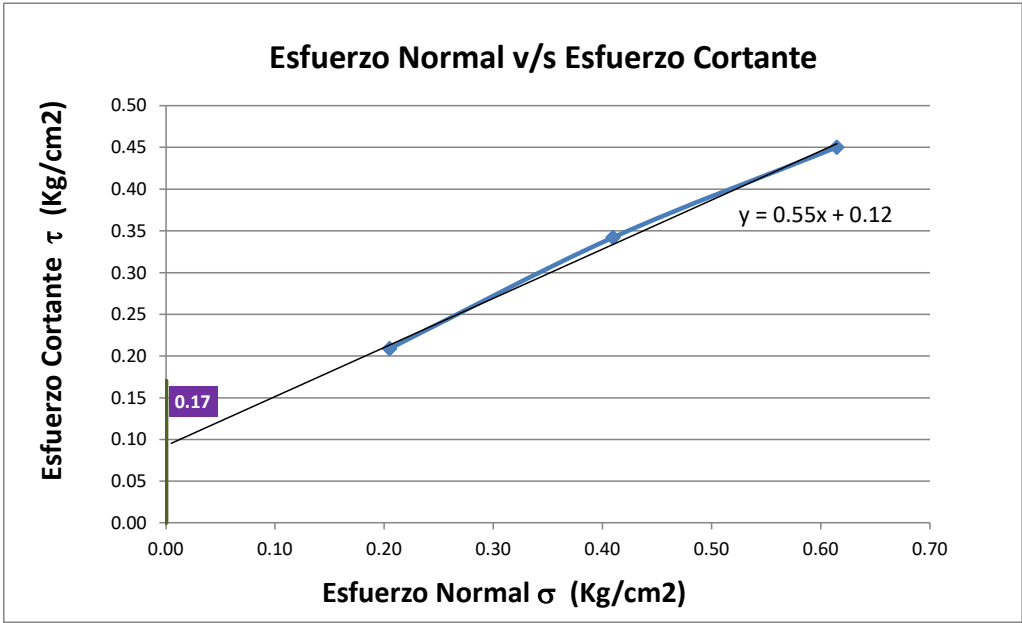
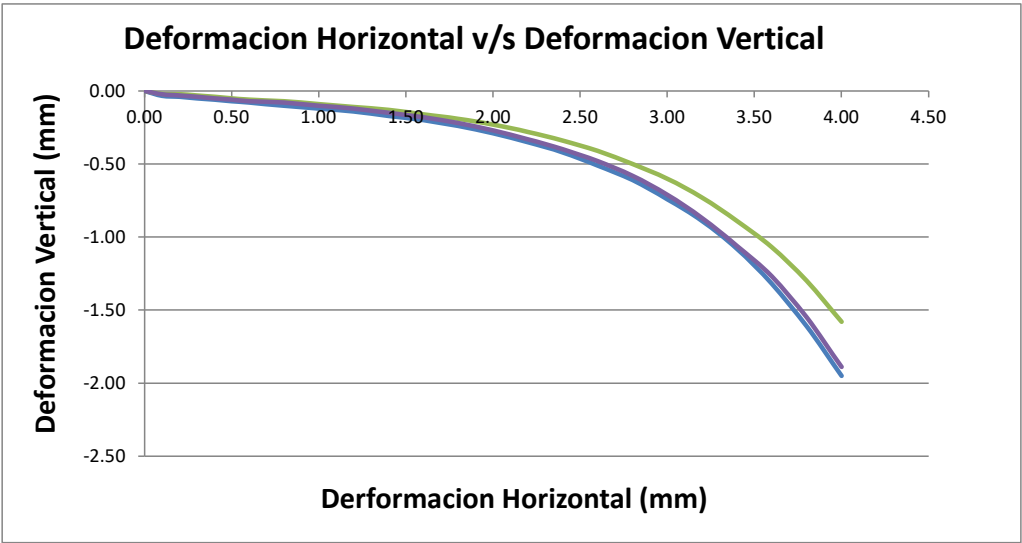
Calicata: C-04
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	91.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.09 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	4.41%
Peso Unitario Seco=	2.00 gr/cm ³



Cohesion (C)= 0.12 Kg/cm²
 $\text{tg}(f) = 0.550$
 $f = 0.50$ radianes
 $f = 28.81^\circ$

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-04
Zona de la presa: CIMIENTO

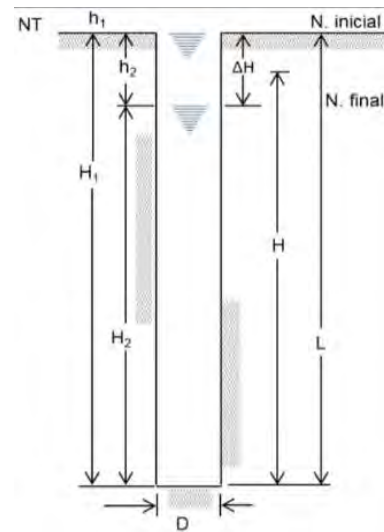
ENSAYO LEFRANC

$$k = \frac{2 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$$

$$C = \frac{0,366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$$

Datos obtenidos:

L= 30 cm
D= 12 cm



TIEMPO EN SEGUNDOS (t)	PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA EN CM (ΔH)	HIDRAULICA PROMEDIO EN CM (H)	FACTOR DE FORMA (C)	AREA DE SECCION DE LA PERFORACION EN CM2 (A)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD EN CM/S (k)
7200	14.50	22.75	0.0215	113.10	4.30E-04
7200	14.90	22.55	0.0215	113.10	4.46E-04
7200	14.80	22.60	0.0215	113.10	4.42E-04
7200	14.20	22.90	0.0215	113.10	4.18E-04
7200	13.80	23.10	0.0215	113.10	4.03E-04
7200	14.00	23.00	0.0215	113.10	4.11E-04
Promedio=					4.25E-04



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

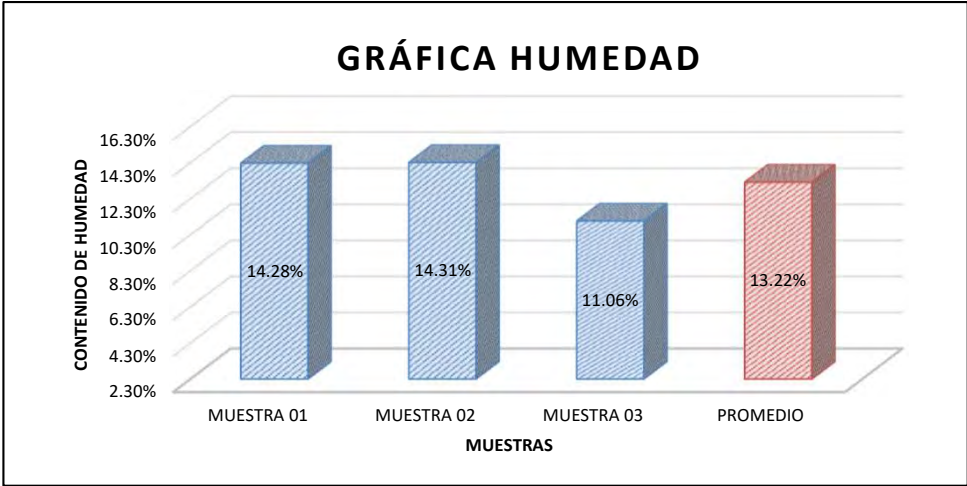
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:	C-05
Zona de la presa:	ESPALDON

NTP-339.127	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
-------------	--------------------------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	38.40	40.20	39.30
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	99.40	114.80	92.30
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	91.78	105.46	87.02
Peso del Agua (gr)	7.62	9.34	5.28
Peso de la Muestra Seca (gr)	53.38	65.26	47.72
Contenido de Humedad	14.28%	14.31%	11.06%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 13.22%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

CONTENIDO DE HUMEDAD

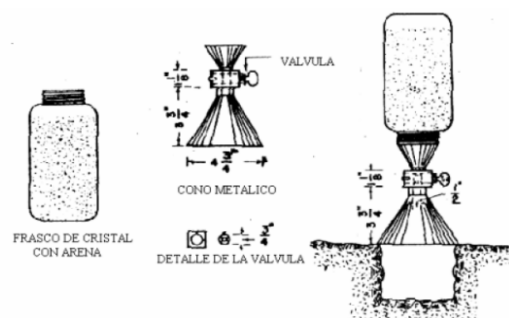
NTP 339.143

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA (gr)	38.40	40.20	39.30	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO (gr)	99.40	114.80	92.30	
PESO CAPS + MATERIAL SECO (gr)	91.78	105.46	87.02	
PESO DEL AGUA (gr)	7.62	9.34	5.28	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	53.38	65.26	47.72	
CONTENIDO DE AGUA (%)	14.28	14.31	11.06	13.22

PROMEDIO DE CONTENIDO DE AGUA = 13.22%

CONO DE ARENA

DESCRIPCION	VALOR
Peso equipo + arena inicial (g)	6200.00
Peso equipo + arena restante(g)	4886.50
Densidad de Arena (g/cm3)	1.37
Peso del suleo humedo (g)	2283.30
Peso de la arena que llena el hoyo(g)	1313.50
Volumen del hoyo (cm3)	958.76
Peso del suelo seco (g)	2283.30
Densidad humeda in-situ(g/cm3)	2.38
Densidad seca in-situ(g/cm3)	2.10



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

NTP 339.128 **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Antes del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 1752.00 gr

Despues del Lavado

Peso de la Muestra Seca = 1115.00 gr

% de Error en Peso = 0.92%

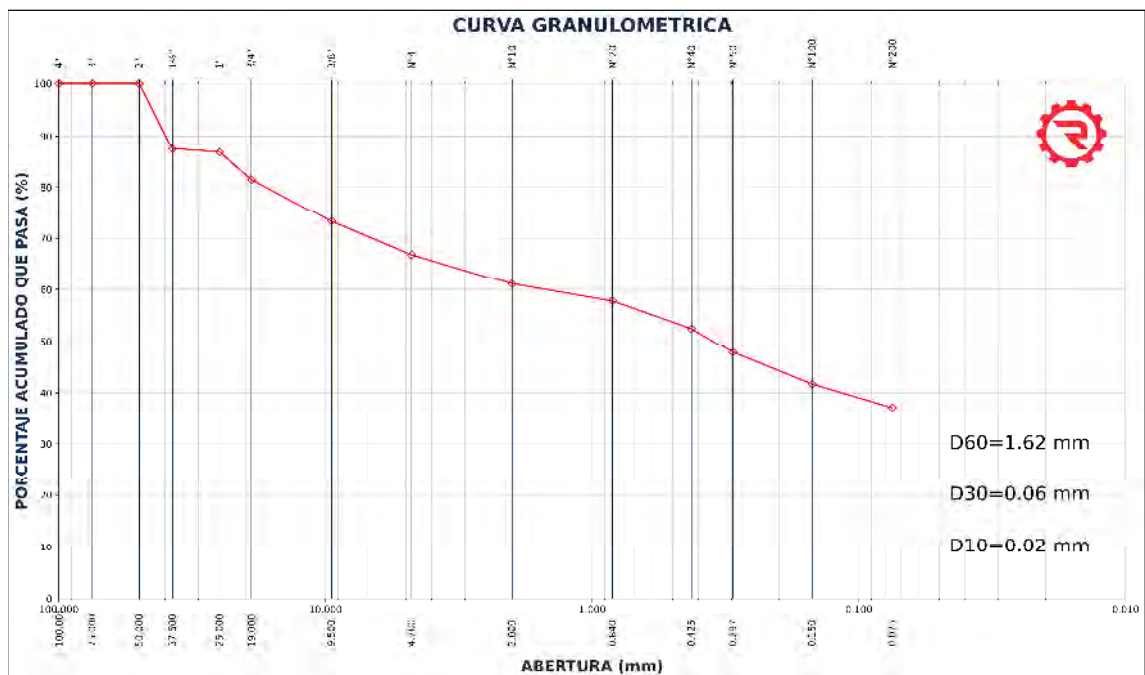
Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1104.7	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1104.70	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1104.70	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	219.80	884.90	12.55%	12.55%	87.45%
1"	25	11.31	873.59	0.65%	13.19%	86.81%
¾"	19	92.16	781.43	5.26%	18.45%	81.55%
3/8"	9.5	142.43	639.00	8.13%	26.58%	73.42%
Nº 4	4.76	112.02	526.98	6.39%	32.97%	67.03%
Nº 10	2	99.82	427.16	5.70%	38.67%	61.33%
Nº 20	0.840	57.75	369.41	3.30%	41.97%	58.03%
Nº 40	0.425	92.52	276.89	5.28%	47.25%	52.75%
Nº 50	0.297	81.80	195.09	4.67%	51.92%	48.08%
Nº 100	0.150	106.18	88.91	6.06%	57.98%	42.02%
Nº 200	0.075	79.05	9.86	4.51%	62.49%	37.51%
Cazuela	-	9.86	-	0.56%	63.05%	-
Lavado	-	637.00	-	36.95%	99.44%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		1104.70		100.00%		

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) =	% de grava =	T. Max.Absoluto= 2"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)=	% de arena =	T. Max.Relativo= 1½"
% de Finos(Pas Nº200)=	Total =	
Total=	100.00%	

Coefficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 1.62 mm
D10 = 0.02 mm
Cu= 81.00

Coefficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 1.62 mm
D30 = 0.06 mm
D10 = 0.02 mm
Cc= 0.11



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

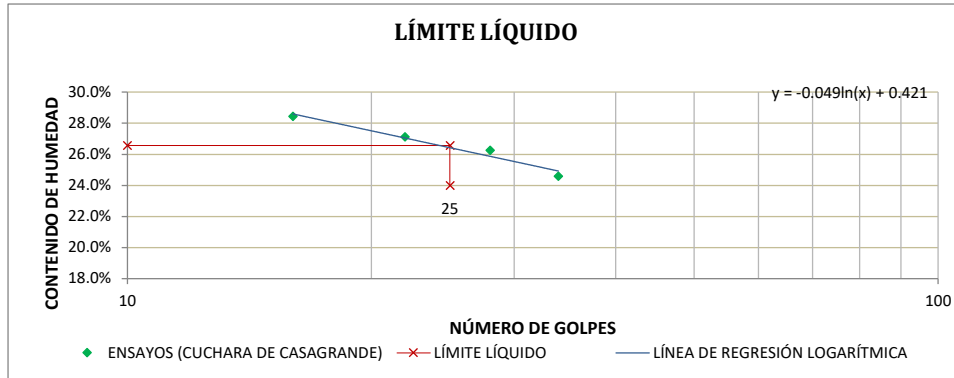
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

NTP 339.129	LÍMITE LÍQUIDO
-------------	----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	13.73	13.79	13.73	13.79
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	32.33	35.63	36.37	35.67
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	28.21	30.97	31.66	31.35
Peso del Agua (gr)	4.12	4.66	4.71	4.32
Peso de la Muestra Seca (gr)	14.48	17.18	17.93	17.56
Contenido de Humedad	28.45%	27.12%	26.27%	24.60%
Número de Golpes	16	22	28	34



NTP 339.129	LÍMITE PLÁSTICO
-------------	-----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	13.72	13.76	13.66
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	16.49	16.25	17.61
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	16.05	15.87	17.02
Peso del Agua (gr)	0.44	0.38	0.59
Peso de la Muestra Seca (gr)	2.33	2.11	3.36
Contenido de Humedad	18.88%	18.01%	17.56%



LÍMITE LÍQUIDO = 27.00%
LÍMITE PLÁSTICO = 18.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 9.00%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI
Muestra: ALTERADA
Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

ASTM D-2487	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
-------------	---

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO				SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría	SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	GW	Grava bien graduada
% de Gruesos = 62.49%			GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cu < 4 ó 1> Cc > 3	GP	Grava mal graduada
% de Finos = 37.51%				IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
Total = 100.00%				IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
% de Grava = 32.97%				4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa
% de Arena = 29.52%				Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo
Total = 62.49%			Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla	
Fracción Gruesa			Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM	Grava mal graduada con limo	
% de Grava = 52.77%			Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla	
% de Arena = 47.23%		ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	SW	Arena bien graduada	
Total = 100.00%			Cu < 6 ó 1> Cc > 3	SP	Arena mal graduada	
Coefficientes			IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa	
Cu = 81.00		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa	
Cc = 0.111			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM	Arena limosa arcillosa	
De Límites de Consistencia			Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM	Arena bien graduada con limo	
LL = 27.00%	Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM		SW - SC	Arena bien graduada con arcilla		
LP = 18.00%	Cumple los criterios para SP y SM		SP - SM	Arena mal graduada con limo		
IP = 9.00%	Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla			
Otros Datos	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML	Limo de baja plasticidad	
Tipo = Inorgánico			IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL	Arcilla de baja plasticidad	
			4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML	Arcilla limosa	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	<i>Límite Líquido secado al horno</i> <i>Límite Líquido no secado</i> < 0.75	OL	Limo orgánico	
			Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
			Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	<i>Límite Líquido secado al horno</i> <i>Límite Líquido no secado</i> < 0.75	OH	Limo orgánico	
					Arcilla orgánica	
				Pt	Turba	

GC = Grava arcillosa con arena

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:

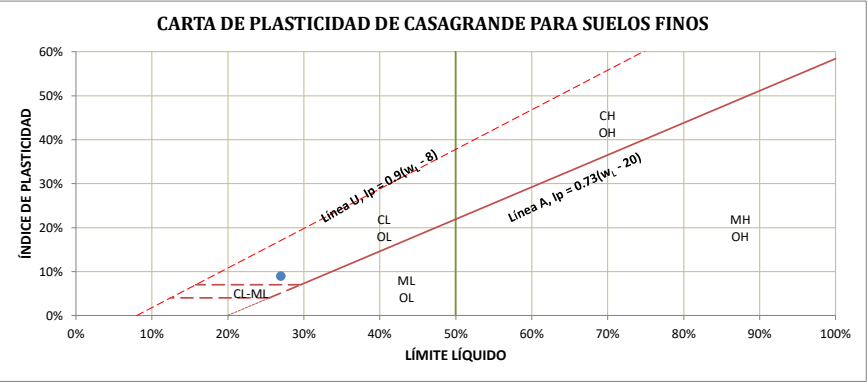
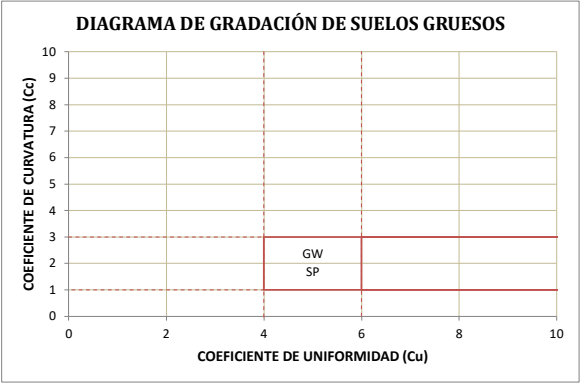
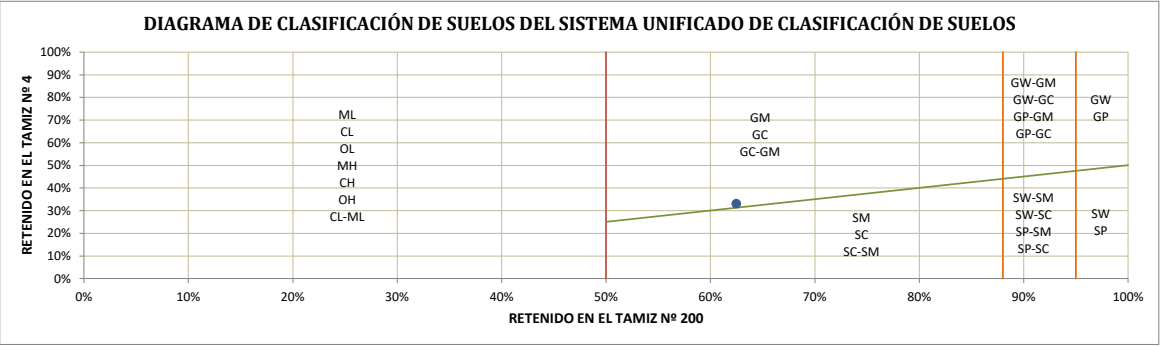
C-05

Zona de la presa:

ESPALDON

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 96.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.20 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.41%
Peso Unitario Seco= 2.11 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

4.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	2.197	4.000	5.080	20.268	20.27	0.108	0.197
0.1	-0.019	0.0100	2.230	4.000	5.080	20.268	20.27	0.110	0.197
0.2	-0.023	0.0200	2.260	4.000	5.080	20.268	20.26	0.112	0.197
0.3	-0.030	0.0300	2.290	4.000	5.080	20.268	20.25	0.113	0.198
0.4	-0.040	0.0400	2.320	4.000	5.080	20.268	20.24	0.115	0.198
0.5	-0.050	0.0500	2.350	4.000	5.080	20.268	20.23	0.116	0.198
0.6	-0.060	0.0600	2.380	4.000	5.080	20.268	20.22	0.118	0.198
0.8	-0.070	0.0800	2.410	4.000	5.080	20.268	20.20	0.119	0.198
1	-0.080	0.1000	2.440	4.000	5.080	20.268	20.17	0.121	0.198
1.2	-0.100	0.1200	2.470	4.000	5.080	20.268	20.14	0.123	0.199
1.4	-0.120	0.1400	2.500	4.000	5.080	20.268	20.11	0.124	0.199
1.6	-0.150	0.1600	2.540	4.000	5.080	20.268	20.08	0.127	0.199
1.8	-0.180	0.1800	2.570	4.000	5.080	20.268	20.04	0.128	0.200
2	-0.220	0.2000	2.600	4.000	5.080	20.268	20.00	0.130	0.200
2.2	-0.270	0.2200	2.630	4.000	5.080	20.268	19.96	0.132	0.200
2.4	-0.320	0.2400	2.660	4.000	5.080	20.268	19.92	0.134	0.201
2.6	-0.390	0.2600	2.700	4.000	5.080	20.268	19.88	0.136	0.201
2.8	-0.480	0.2800	2.730	4.000	5.080	20.268	19.83	0.138	0.202
3	-0.580	0.3000	2.760	4.000	5.080	20.268	19.78	0.140	0.202
3.2	-0.700	0.3200	2.790	4.000	5.080	20.268	19.73	0.141	0.203
3.4	-0.850	0.3400	2.830	4.000	5.080	20.268	19.68	0.144	0.203
3.6	-1.030	0.3600	2.870	4.000	5.080	20.268	19.63	0.146	0.204
3.8	-1.260	0.3800	2.900	4.000	5.080	20.268	19.58	0.148	0.204
4	-1.520	0.4000	2.940	4.000	5.080	20.268	19.53	0.151	0.205

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 96.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.20 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.41%
Peso Unitario Seco= 2.11 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

8.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	4.248	8.000	5.080	20.268	20.27	0.210	0.395
0.1	-0.023	0.0100	4.300	8.000	5.080	20.268	20.27	0.212	0.395
0.2	-0.030	0.0200	4.360	8.000	5.080	20.268	20.26	0.215	0.395
0.3	-0.040	0.0300	4.420	8.000	5.080	20.268	20.25	0.218	0.395
0.4	-0.050	0.0400	4.470	8.000	5.080	20.268	20.24	0.221	0.395
0.5	-0.060	0.0500	4.510	8.000	5.080	20.268	20.23	0.223	0.395
0.6	-0.070	0.0600	4.570	8.000	5.080	20.268	20.22	0.226	0.396
0.8	-0.080	0.0800	4.630	8.000	5.080	20.268	20.20	0.229	0.396
1	-0.100	0.1000	4.690	8.000	5.080	20.268	20.17	0.232	0.397
1.2	-0.120	0.1200	4.740	8.000	5.080	20.268	20.14	0.235	0.397
1.4	-0.140	0.1400	4.800	8.000	5.080	20.268	20.11	0.239	0.398
1.6	-0.170	0.1600	4.860	8.000	5.080	20.268	20.08	0.242	0.398
1.8	-0.210	0.1800	4.920	8.000	5.080	20.268	20.04	0.245	0.399
2	-0.250	0.2000	4.980	8.000	5.080	20.268	20.00	0.249	0.400
2.2	-0.300	0.2200	5.040	8.000	5.080	20.268	19.96	0.252	0.401
2.4	-0.360	0.2400	5.110	8.000	5.080	20.268	19.92	0.257	0.402
2.6	-0.440	0.2600	5.180	8.000	5.080	20.268	19.88	0.261	0.402
2.8	-0.530	0.2800	5.250	8.000	5.080	20.268	19.83	0.265	0.403
3	-0.640	0.3000	5.310	8.000	5.080	20.268	19.78	0.268	0.404
3.2	-0.780	0.3200	5.380	8.000	5.080	20.268	19.73	0.273	0.405
3.4	-0.940	0.3400	5.440	8.000	5.080	20.268	19.68	0.276	0.406
3.6	-1.140	0.3600	5.500	8.000	5.080	20.268	19.63	0.280	0.407
3.8	-1.390	0.3800	5.560	8.000	5.080	20.268	19.58	0.284	0.409
4	-1.690	0.4000	5.640	8.000	5.080	20.268	19.53	0.289	0.410

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 96.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.20 gr/cm³
Contenido de Humedad= 4.41%
Peso Unitario Seco= 2.11 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

12.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	5.789	12.000	5.080	20.268	20.27	0.286	0.592
0.1	-0.033	0.0100	5.870	12.000	5.080	20.268	20.27	0.290	0.592
0.2	-0.040	0.0200	5.940	12.000	5.080	20.268	20.26	0.293	0.592
0.3	-0.050	0.0300	6.020	12.000	5.080	20.268	20.25	0.297	0.593
0.4	-0.060	0.0400	6.100	12.000	5.080	20.268	20.24	0.301	0.593
0.5	-0.070	0.0500	6.170	12.000	5.080	20.268	20.23	0.305	0.593
0.6	-0.090	0.0600	6.260	12.000	5.080	20.268	20.22	0.310	0.593
0.8	-0.110	0.0800	6.340	12.000	5.080	20.268	20.20	0.314	0.594
1	-0.130	0.1000	6.410	12.000	5.080	20.268	20.17	0.318	0.595
1.2	-0.160	0.1200	6.500	12.000	5.080	20.268	20.14	0.323	0.596
1.4	-0.200	0.1400	6.580	12.000	5.080	20.268	20.11	0.327	0.597
1.6	-0.240	0.1600	6.670	12.000	5.080	20.268	20.08	0.332	0.598
1.8	-0.290	0.1800	6.750	12.000	5.080	20.268	20.04	0.337	0.599
2	-0.350	0.2000	6.820	12.000	5.080	20.268	20.00	0.341	0.600
2.2	-0.430	0.2200	6.910	12.000	5.080	20.268	19.96	0.346	0.601
2.4	-0.520	0.2400	6.990	12.000	5.080	20.268	19.92	0.351	0.602
2.6	-0.630	0.2600	7.060	12.000	5.080	20.268	19.88	0.355	0.604
2.8	-0.770	0.2800	7.160	12.000	5.080	20.268	19.83	0.361	0.605
3	-0.930	0.3000	7.250	12.000	5.080	20.268	19.78	0.366	0.607
3.2	-1.130	0.3200	7.320	12.000	5.080	20.268	19.73	0.371	0.608
3.4	-1.370	0.3400	7.420	12.000	5.080	20.268	19.68	0.377	0.610
3.6	-1.650	0.3600	7.520	12.000	5.080	20.268	19.63	0.383	0.611
3.8	-1.980	0.3800	7.600	12.000	5.080	20.268	19.58	0.388	0.613
4	-2.420	0.4000	7.710	12.000	5.080	20.268	19.53	0.395	0.615

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

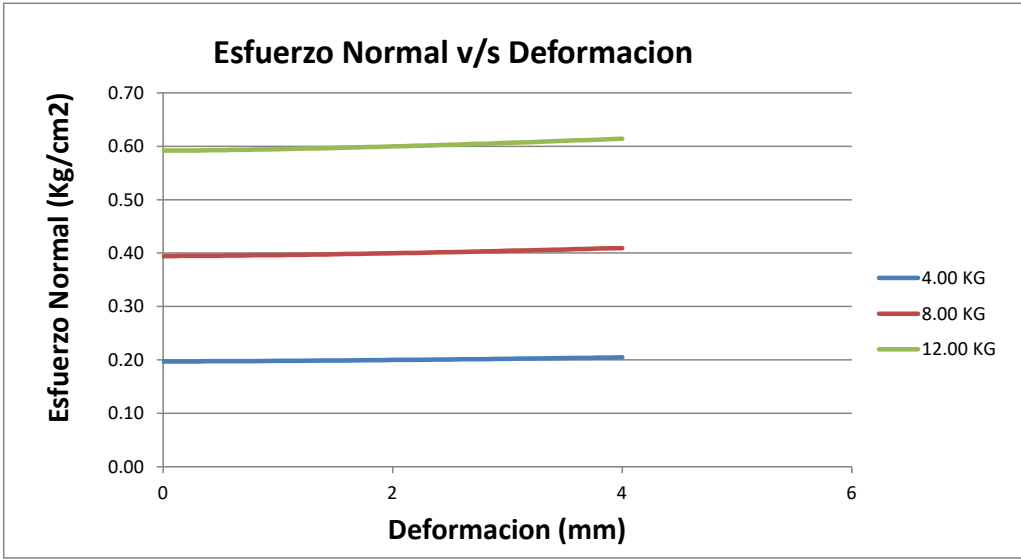
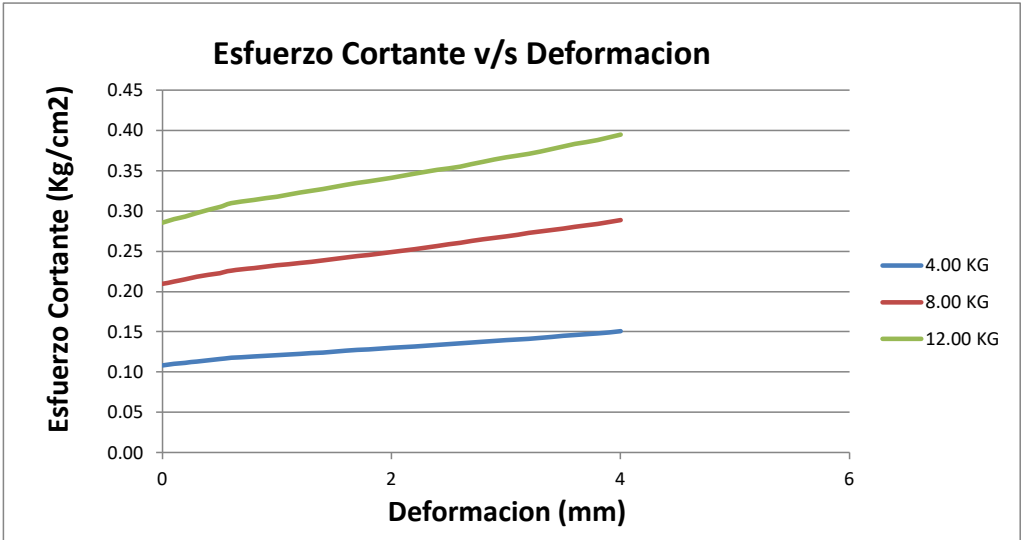
DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	96.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.20 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	4.41%
Peso Unitario Seco=	2.11 gr/cm ³

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE

CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4.00	0.151 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²
8.00	0.289 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²
12.00	0.395 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²

PROMEDIO PONDERADO:	0.319 kg/cm ²
---------------------	--------------------------



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

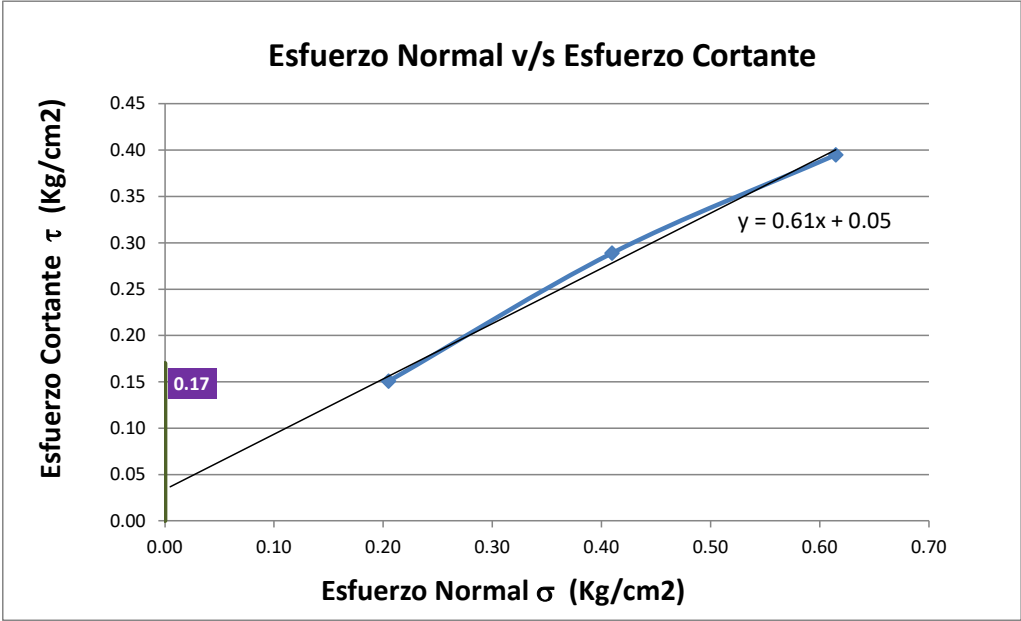
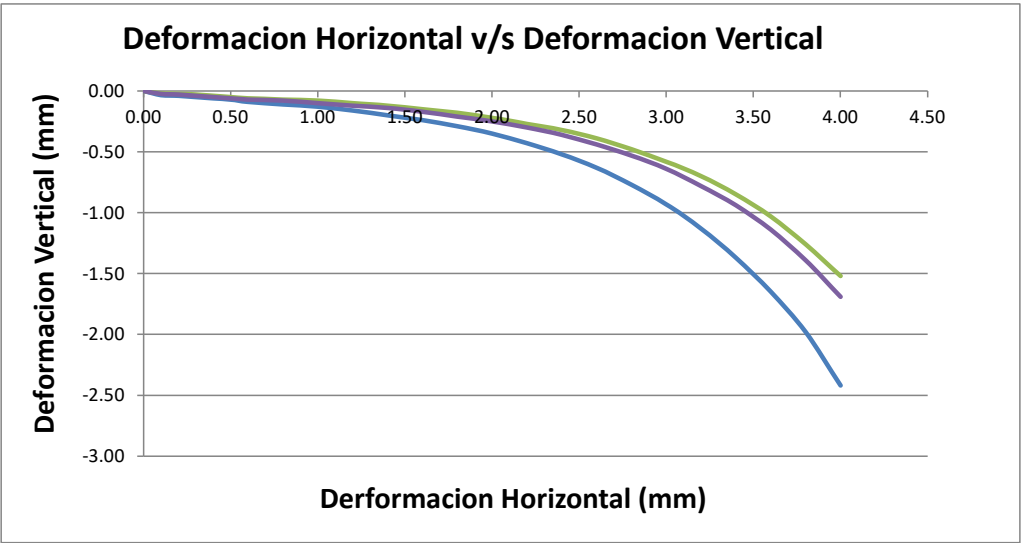
Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	96.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.20 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	4.41%
Peso Unitario Seco=	2.11 gr/cm ³



Cohesion (C)= 0.05 Kg/cm²
 $tg(f) = 0.610$
 $f = 0.55$ radianes
 $f = 31.37^\circ$

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-05
Zona de la presa: ESPALDON

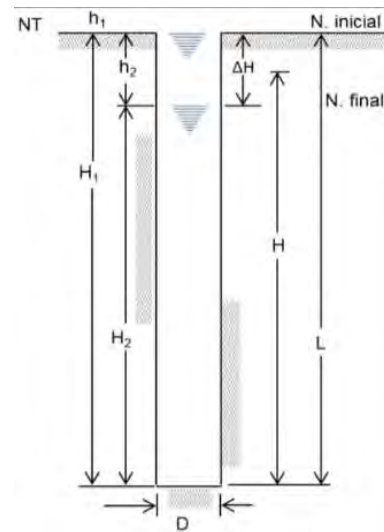
ENSAYO LEFRANC

$$k = \frac{2 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$$

$$C = \frac{0,366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$$

Datos obtenidos:

L= 30 cm
D= 12 cm



TIEMPO EN SEGUNDOS (t)	PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA EN CM (ΔH)	HIDRAULICA PROMEDIO EN CM (H)	FACTOR DE FORMA (C)	AREA DE SECCION DE LA PERFORACION EN CM2 (A)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD EN CM/S (k)
7200	8.60	25.70	0.0215	113.10	2.26E-04
7200	8.50	25.75	0.0215	113.10	2.23E-04
7200	8.10	25.95	0.0215	113.10	2.11E-04
7200	7.90	26.05	0.0215	113.10	2.05E-04
7200	9.00	25.50	0.0215	113.10	2.38E-04
7200	8.30	25.85	0.0215	113.10	2.17E-04
Promedio=					2.20E-04



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

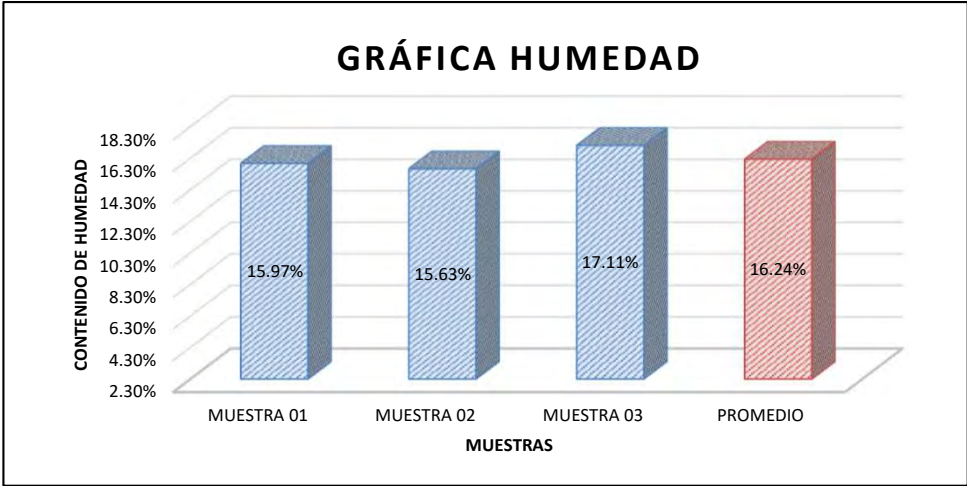
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:	C-06
Zona de la presa:	CIMIENTO

NTP-339.127	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
-------------	--------------------------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	38.80	39.50	39.80
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	88.90	91.30	92.50
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	82.00	84.30	84.80
Peso del Agua (gr)	6.90	7.00	7.70
Peso de la Muestra Seca (gr)	43.20	44.80	45.00
Contenido de Humedad	15.97%	15.63%	17.11%



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 16.24%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata:	C-06
Zona de la presa:	CIMIENTO

CONTENIDO DE HUMEDAD

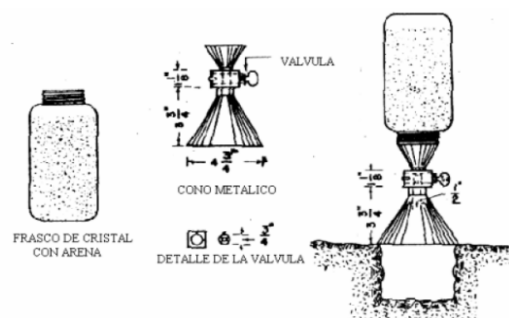
NTP 339.143

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA (gr)	38.80	39.50	39.80	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO (gr)	88.90	91.30	92.50	
PESO CAPS + MATERIAL SECO (gr)	82.00	84.30	84.80	
PESO DEL AGUA (gr)	6.90	7.00	7.70	
PESO DEL SUELO SECO (gr)	43.20	44.80	45.00	
CONTENIDO DE AGUA (%)	15.97	15.63	17.11	16.24

PROMEDIO DE CONTENIDO DE AGUA = 16.24%

CONO DE ARENA

DESCRIPCION	VALOR
Peso equipo + arena inicial (g)	5702.00
Peso equipo + arena restante(g)	3886.00
Densidad de Arena (g/cm3)	1.37
Peso del suleo humedo (g)	2786.00
Peso de la arena que llena el hoyo(g)	1816.00
Volumen del hoyo (cm3)	1325.55
Peso del suelo seco (g)	2786.00
Densidad humeda in-situ(g/cm3)	2.10
Densidad seca in-situ(g/cm3)	1.81



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-06
Zona de la presa: CIMIENTO

NTP 339.128 **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

Antes del Lavado
Peso de la Muestra Seca = 1841.00 gr

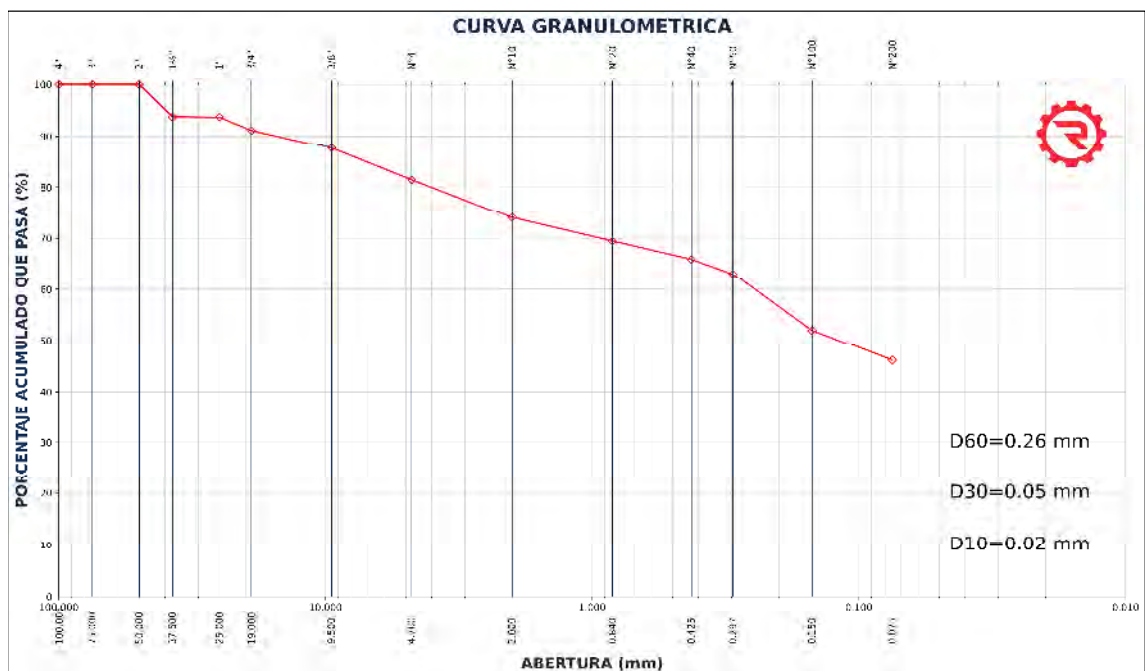
Despues del Lavado
Peso de la Muestra Seca = 977.00 gr
% de Error en Peso = 0.34% **Ok!**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	973.7	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	973.69	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	973.69	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	118.30	855.39	6.43%	6.43%	93.57%
1"	25	1.30	854.09	0.07%	6.50%	93.50%
¾"	19	48.36	805.73	2.63%	9.12%	90.88%
⅜"	9.5	67.58	738.15	3.67%	12.79%	87.21%
Nº 4	4.76	115.02	623.13	6.25%	19.04%	80.96%
Nº 10	2	90.25	532.88	4.90%	23.94%	76.06%
Nº 20	0.840	85.10	447.78	4.62%	28.57%	71.43%
Nº 40	0.425	66.85	380.93	3.63%	32.20%	67.80%
Nº 50	0.297	53.78	327.15	2.92%	35.12%	64.88%
Nº 100	0.150	209.86	117.29	11.40%	46.52%	53.48%
Nº 200	0.075	111.84	5.45	6.07%	52.59%	47.41%
Cazuela	-	5.45	-	0.30%	52.89%	-
Lavado	-	864.00	-	47.11%	99.70%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		973.69		100.00%		

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) =	% de grava =	T. Max.Absoluto= 2"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)=	% de arena =	T. Max.Relativo= 1½"
% de Finos(Pas Nº200)=	Total =	
Total=	100.00%	

Coefficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 0.26 mm
D30 = 0.05 mm
Cu= 13.00

Coefficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 0.26 mm
D30 = 0.05 mm
D10 = 0.02 mm
Cc= 0.48



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

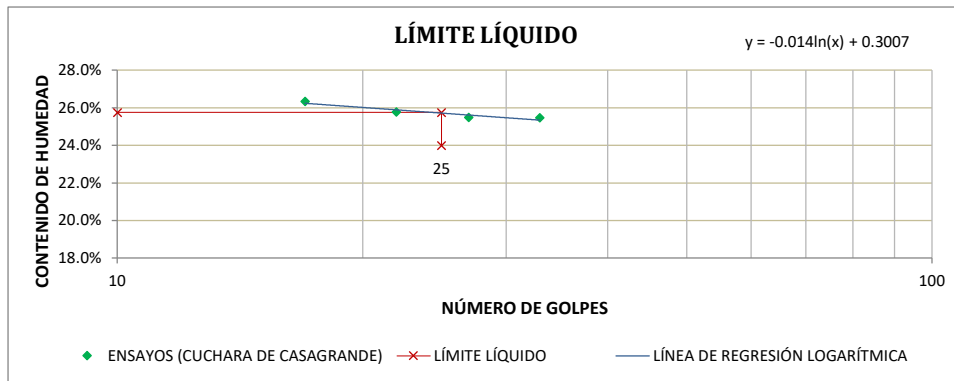
Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-06
Zona de la presa: CIMENTO

NTP 339.129	LÍMITE LÍQUIDO
-------------	----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	13.71	13.79	13.67	13.68
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	26.54	27.65	30.32	30.12
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	23.91	24.76	26.94	26.78
Peso del Agua (gr)	2.63	2.89	3.38	3.34
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.20	10.97	13.27	13.10
Contenido de Humedad	25.78%	26.34%	25.47%	25.50%
Número de Golpes	22	17	33	27



NTP 339.129	LÍMITE PLÁSTICO
-------------	-----------------

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	13.79	13.78	13.69
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	16.05	16.65	16.36
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	15.68	16.23	15.95
Peso del Agua (gr)	0.37	0.42	0.41
Peso de la Muestra Seca (gr)	1.89	2.45	2.26
Contenido de Humedad	19.58%	17.14%	18.14%



LÍMITE LÍQUIDO = 26.00%
LÍMITE PLÁSTICO = 18.00%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 8.00%

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI
Muestra: ALTERADA
Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-06
Zona de la presa: CEMENTO

ASTM D-2487	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
-------------	---

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO				SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría	SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada
% de Gruesos = 52.59%			GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada
% de Finos = 47.41%				IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
Total = 100.00%				IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
% de Grava = 19.04%				$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa
% de Arena = 33.55%			GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo
Total = 52.59%				Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla
Fracción Gruesa				Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM	Grava mal graduada con limo
% de Grava = 36.21%		ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4	ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla
% de Arena = 63.79%				$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
Total = 100.00%			$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada	
Coefficientes			ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
Cu = 13.00				IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
Cc = 0.481				$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM	Arena limosa arcillosa
De Límites de Consistencia	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM	Arena bien graduada con limo
LL = 26.00%				Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC	Arena bien graduada con arcilla
LP = 18.00%			ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM	Arena mal graduada con limo
IP = 8.00%				Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla
Otros Datos		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML	Limo de baja plasticidad
Tipo = Inorgánico				IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL	Arcilla de baja plasticidad
			ARENAS ALTAMENTE ORGÁNICOS	$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML	Arcilla limosa
				$\frac{Límite\ Líquido\ secado\ al\ horno}{Límite\ Líquido\ no\ secado} < 0.75$	OL	Limo orgánico
				Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
				Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
	Orgánicos	$\frac{Límite\ Líquido\ secado\ al\ horno}{Límite\ Líquido\ no\ secado} < 0.75$	OH	Limo orgánico		
				Arcilla orgánica		
				Pt	Turba	

SC = Arena arcillosa con grava

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

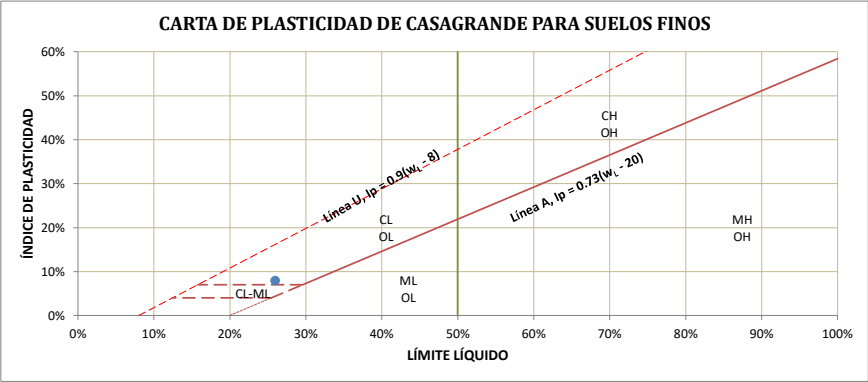
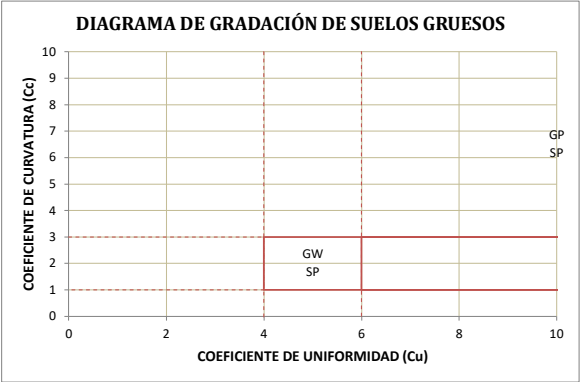
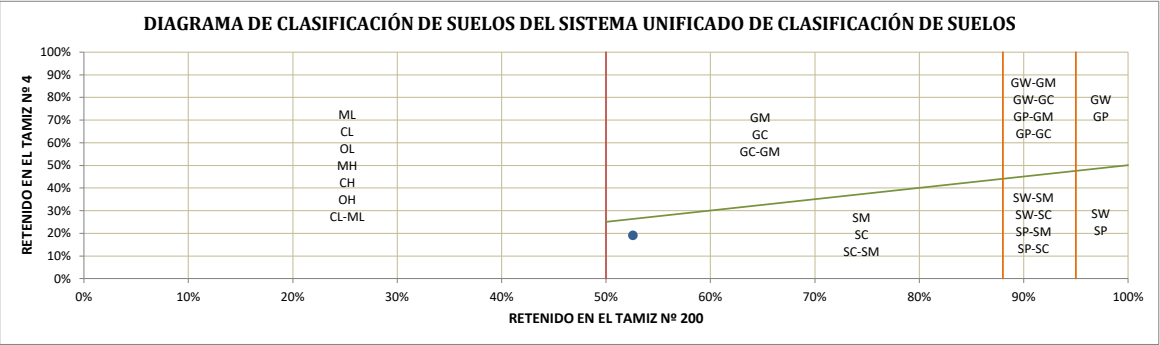


Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI
Muestra: ALTERADA
Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-06
Zona de la presa: CIMENTO

ASTM D-2487	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
-------------	---



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-06
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 90.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.07 gr/cm³
Contenido de Humedad= 5.91%
Peso Unitario Seco= 1.95 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

4.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	3.076	4.000	5.080	20.268	20.27	0.152	0.197
0.1	-0.019	0.0100	3.120	4.000	5.080	20.268	20.27	0.154	0.197
0.2	-0.023	0.0200	3.160	4.000	5.080	20.268	20.26	0.156	0.197
0.3	-0.030	0.0300	3.200	4.000	5.080	20.268	20.25	0.158	0.198
0.4	-0.040	0.0400	3.230	4.000	5.080	20.268	20.24	0.160	0.198
0.5	-0.050	0.0500	3.270	4.000	5.080	20.268	20.23	0.162	0.198
0.6	-0.060	0.0600	3.310	4.000	5.080	20.268	20.22	0.164	0.198
0.8	-0.070	0.0800	3.340	4.000	5.080	20.268	20.20	0.165	0.198
1	-0.090	0.1000	3.370	4.000	5.080	20.268	20.17	0.167	0.198
1.2	-0.110	0.1200	3.410	4.000	5.080	20.268	20.14	0.169	0.199
1.4	-0.130	0.1400	3.450	4.000	5.080	20.268	20.11	0.172	0.199
1.6	-0.160	0.1600	3.480	4.000	5.080	20.268	20.08	0.173	0.199
1.8	-0.190	0.1800	3.530	4.000	5.080	20.268	20.04	0.176	0.200
2	-0.230	0.2000	3.580	4.000	5.080	20.268	20.00	0.179	0.200
2.2	-0.280	0.2200	3.630	4.000	5.080	20.268	19.96	0.182	0.200
2.4	-0.340	0.2400	3.670	4.000	5.080	20.268	19.92	0.184	0.201
2.6	-0.410	0.2600	3.710	4.000	5.080	20.268	19.88	0.187	0.201
2.8	-0.490	0.2800	3.760	4.000	5.080	20.268	19.83	0.190	0.202
3	-0.590	0.3000	3.810	4.000	5.080	20.268	19.78	0.193	0.202
3.2	-0.710	0.3200	3.860	4.000	5.080	20.268	19.73	0.196	0.203
3.4	-0.860	0.3400	3.910	4.000	5.080	20.268	19.68	0.199	0.203
3.6	-1.040	0.3600	3.950	4.000	5.080	20.268	19.63	0.201	0.204
3.8	-1.250	0.3800	4.000	4.000	5.080	20.268	19.58	0.204	0.204
4	-1.510	0.4000	4.050	4.000	5.080	20.268	19.53	0.207	0.205

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-06
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 90.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.07 gr/cm³
Contenido de Humedad= 5.91%
Peso Unitario Seco= 1.95 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

8.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	4.980	8.000	5.080	20.268	20.27	0.246	0.395
0.1	-0.023	0.0100	5.030	8.000	5.080	20.268	20.27	0.248	0.395
0.2	-0.030	0.0200	5.090	8.000	5.080	20.268	20.26	0.251	0.395
0.3	-0.040	0.0300	5.160	8.000	5.080	20.268	20.25	0.255	0.395
0.4	-0.050	0.0400	5.230	8.000	5.080	20.268	20.24	0.258	0.395
0.5	-0.060	0.0500	5.300	8.000	5.080	20.268	20.23	0.262	0.395
0.6	-0.070	0.0600	5.360	8.000	5.080	20.268	20.22	0.265	0.396
0.8	-0.080	0.0800	5.440	8.000	5.080	20.268	20.20	0.269	0.396
1	-0.100	0.1000	5.510	8.000	5.080	20.268	20.17	0.273	0.397
1.2	-0.120	0.1200	5.580	8.000	5.080	20.268	20.14	0.277	0.397
1.4	-0.150	0.1400	5.640	8.000	5.080	20.268	20.11	0.280	0.398
1.6	-0.180	0.1600	5.710	8.000	5.080	20.268	20.08	0.284	0.398
1.8	-0.220	0.1800	5.780	8.000	5.080	20.268	20.04	0.288	0.399
2	-0.270	0.2000	5.860	8.000	5.080	20.268	20.00	0.293	0.400
2.2	-0.330	0.2200	5.920	8.000	5.080	20.268	19.96	0.297	0.401
2.4	-0.400	0.2400	5.990	8.000	5.080	20.268	19.92	0.301	0.402
2.6	-0.490	0.2600	6.070	8.000	5.080	20.268	19.88	0.305	0.402
2.8	-0.590	0.2800	6.130	8.000	5.080	20.268	19.83	0.309	0.403
3	-0.720	0.3000	6.190	8.000	5.080	20.268	19.78	0.313	0.404
3.2	-0.860	0.3200	6.270	8.000	5.080	20.268	19.73	0.318	0.405
3.4	-1.030	0.3400	6.350	8.000	5.080	20.268	19.68	0.323	0.406
3.6	-1.250	0.3600	6.430	8.000	5.080	20.268	19.63	0.328	0.407
3.8	-1.520	0.3800	6.490	8.000	5.080	20.268	19.58	0.331	0.409
4	-1.860	0.4000	6.570	8.000	5.080	20.268	19.53	0.336	0.410

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-06
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado D= 5.08 cm
Area A= 20.27 cm²
Altura H= 2.15 cm
Volumen V= 43.58 cm³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso= 90.00 gr
Peso Unitario Humedo= 2.07 gr/cm³
Contenido de Humedad= 5.91%
Peso Unitario Seco= 1.95 gr/cm³

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE

12.00 KG

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0.000	0.0000	6.234	12.000	5.080	20.268	20.27	0.308	0.592
0.1	-0.033	0.0100	6.300	12.000	5.080	20.268	20.27	0.311	0.592
0.2	-0.040	0.0200	6.380	12.000	5.080	20.268	20.26	0.315	0.592
0.3	-0.050	0.0300	6.450	12.000	5.080	20.268	20.25	0.318	0.593
0.4	-0.060	0.0400	6.520	12.000	5.080	20.268	20.24	0.322	0.593
0.5	-0.070	0.0500	6.590	12.000	5.080	20.268	20.23	0.326	0.593
0.6	-0.080	0.0600	6.680	12.000	5.080	20.268	20.22	0.330	0.593
0.8	-0.100	0.0800	6.750	12.000	5.080	20.268	20.20	0.334	0.594
1	-0.120	0.1000	6.820	12.000	5.080	20.268	20.17	0.338	0.595
1.2	-0.150	0.1200	6.910	12.000	5.080	20.268	20.14	0.343	0.596
1.4	-0.180	0.1400	6.990	12.000	5.080	20.268	20.11	0.348	0.597
1.6	-0.220	0.1600	7.060	12.000	5.080	20.268	20.08	0.352	0.598
1.8	-0.270	0.1800	7.160	12.000	5.080	20.268	20.04	0.357	0.599
2	-0.330	0.2000	7.240	12.000	5.080	20.268	20.00	0.362	0.600
2.2	-0.400	0.2200	7.310	12.000	5.080	20.268	19.96	0.366	0.601
2.4	-0.480	0.2400	7.400	12.000	5.080	20.268	19.92	0.371	0.602
2.6	-0.580	0.2600	7.480	12.000	5.080	20.268	19.88	0.376	0.604
2.8	-0.700	0.2800	7.570	12.000	5.080	20.268	19.83	0.382	0.605
3	-0.850	0.3000	7.680	12.000	5.080	20.268	19.78	0.388	0.607
3.2	-1.040	0.3200	7.760	12.000	5.080	20.268	19.73	0.393	0.608
3.4	-1.260	0.3400	7.850	12.000	5.080	20.268	19.68	0.399	0.610
3.6	-1.520	0.3600	7.940	12.000	5.080	20.268	19.63	0.404	0.611
3.8	-1.840	0.3800	8.050	12.000	5.080	20.268	19.58	0.411	0.613
4	-2.250	0.4000	8.150	12.000	5.080	20.268	19.53	0.417	0.615

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

Calicata: C-06
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

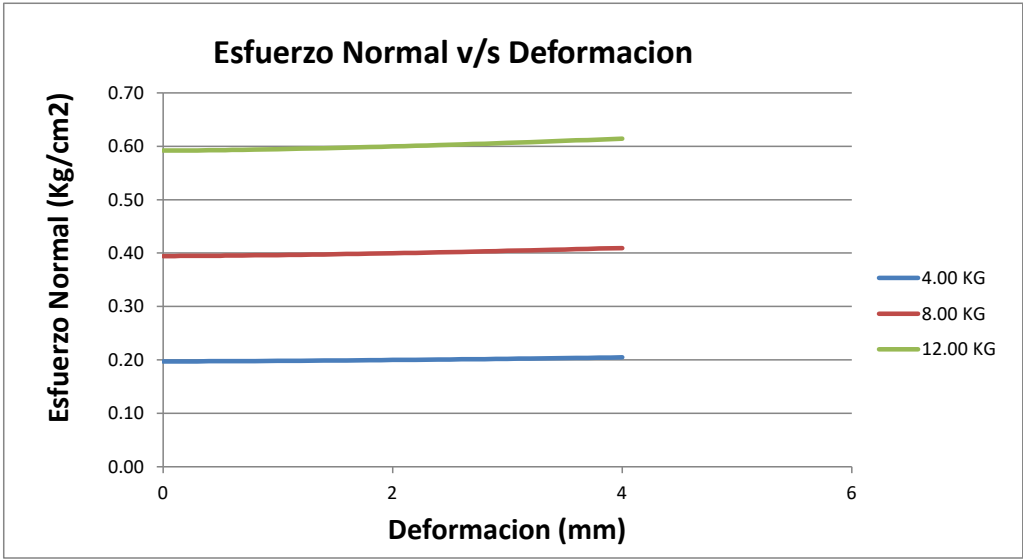
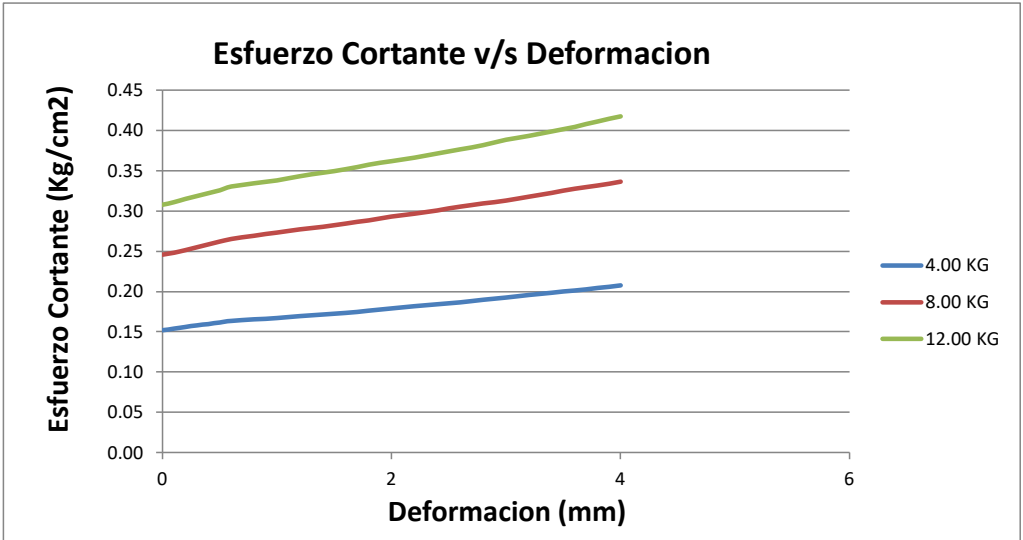
DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	90.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.07 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	5.91%
Peso Unitario Seco=	1.95 gr/cm ³

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE

CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4.00	0.207 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²
8.00	0.336 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²
12.00	0.417 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²

PROMEDIO PONDERADO:	0.355 kg/cm ²
---------------------	--------------------------



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYO DE CORTE DIRECTO
NTP 339.159



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicación: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Tipo de ensayo: CD = CONSOLIDADO DRENADO

Forma: Redonda

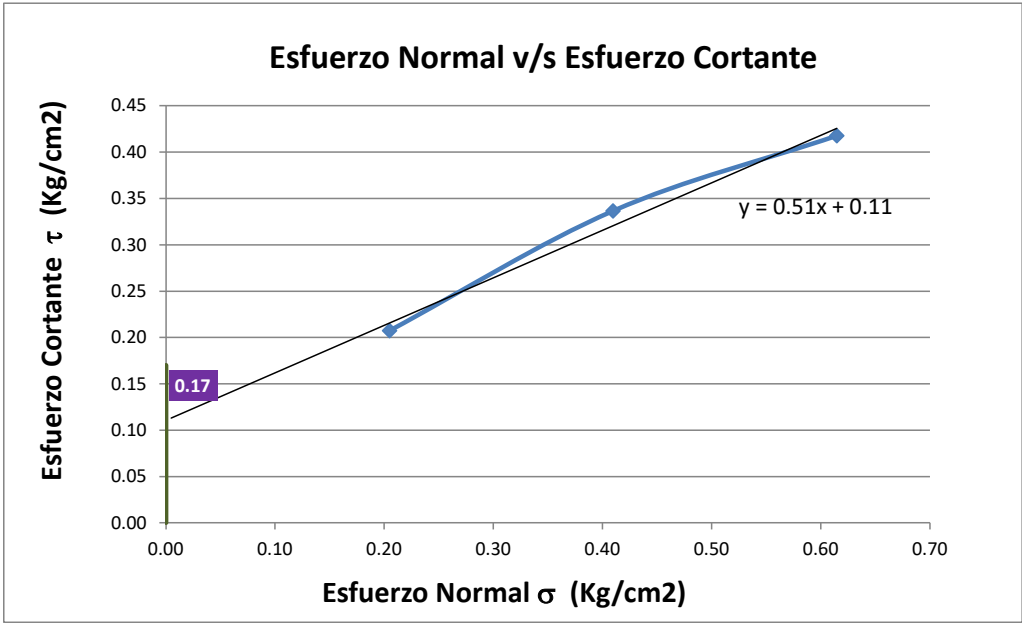
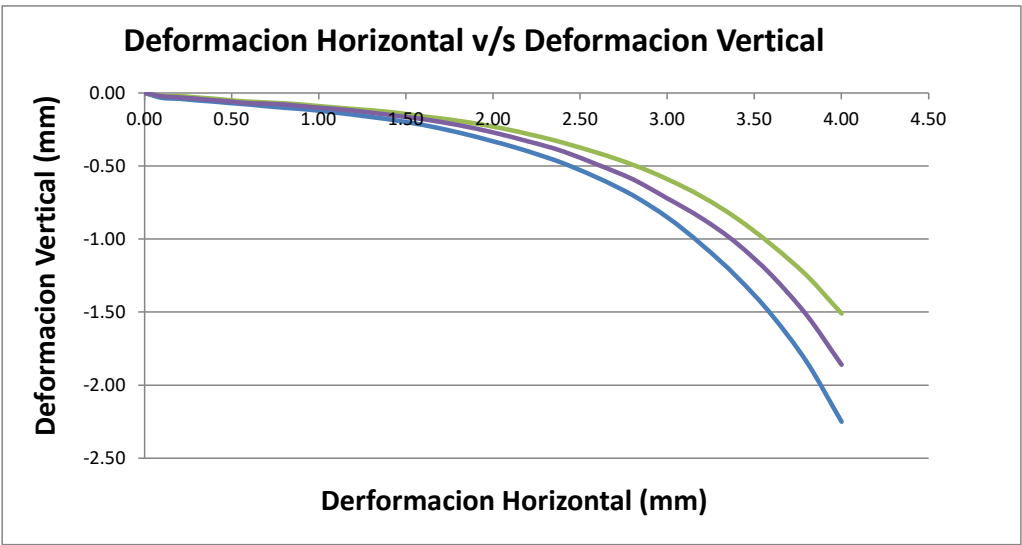
Calicata: C-06
Zona de la presa: CIMIENTO

DATOS DEL EQUIPO

Diametro o Lado	D=	5.08 cm
Area	A=	20.27 cm ²
Altura	H=	2.15 cm
Volumen	V=	43.58 cm ³

DENSIDAD DE LA MUESTRA

Peso=	90.00 gr
Peso Unitario Humedo=	2.07 gr/cm ³
Contenido de Humedad=	5.91%
Peso Unitario Seco=	1.95 gr/cm ³



Cohesion (C)= 0.11 Kg/cm²
tg(f) = 0.510
f= 0.47 radianes
f= 27.02 °

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES



Proyecto: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE INCORPORAR GEOSINTÉTICOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y FILTRACIONES INTERNAS DE LA PRESA QOCHAQOCHA MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA, EN LA COMUNIDAD DE CCATACAMARA, URCOS, QUISPICANCHI, CUSCO – 2024"

Ubicacion: COMUNIDAD CCATACAMARA-URCOS-QUISPICANCHI

Muestra: ALTERADA

Fecha: DICIEMBRE, 2025.

Calicata: C-06
Zona de la presa: CIMIENTO

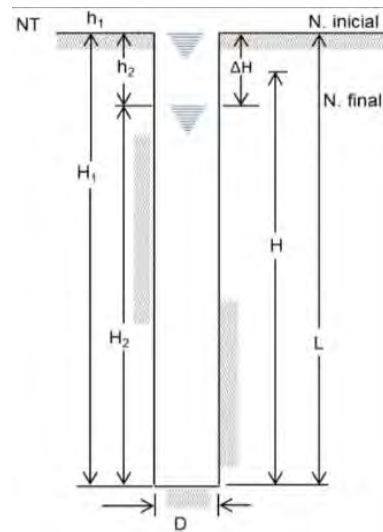
ENSAYO LEFRANC

$$k = \frac{2 \times C \times A \times \Delta H}{t \times H}$$

$$C = \frac{0,366 \times \log(L + \sqrt{L^2 - D^2})}{L}$$

Datos obtenidos:

L= 30 cm
D= 12 cm



TIEMPO EN SEGUNDOS (t)	PERDIDA DE CARGA HIDRAULICA EN CM (ΔH)	HIDRAULICA PROMEDIO EN CM (H)	FACTOR DE FORMA (C)	AREA DE SECCION DE LA PERFORACION EN CM2 (A)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD EN CM/S (k)
7200	13.00	23.50	0.0215	113.10	3.73E-04
7200	12.70	23.65	0.0215	113.10	3.62E-04
7200	13.40	23.30	0.0215	113.10	3.88E-04
7200	13.20	23.40	0.0215	113.10	3.80E-04
7200	13.20	23.40	0.0215	113.10	3.80E-04
7200	12.80	23.60	0.0215	113.10	3.66E-04
Promedio=					3.75E-04