

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL
ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI – SAN
PEDRO – CANCHIS – CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. BRANDON SEBASTIAN RODRIGUEZ
CAMINO

Br. FRANK ALEX VILLALOBOS GOMEZ

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

ASESOR:

Dr. Ing. JOSE FELIPE MARIN LOAYZA

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 Dr. Ing. JOSE FELIPE MARIN LOAYZA quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada:

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI – SAN PEDRO – CANCHIS – CUSCO

Presentado por: Br. BRANDON SEBASTIAN RODRIGUEZ CAMINO DNI N°: 73584950;

presentado por: Br. FRANK ALEX VILLALOBOS GOMEZ DNI N°: 48472043

Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 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.	X
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, 28 de MAYO de 2026


Firma

Post firma: Dr. Ing. José Felipe Marín Loayza

Nro. de DNI 23837555

ORCID del Asesor 0000-0002-0871-5946

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: trn:qid:::27259:593560249

BRANDON SEBASTIAN RODRIGUEZ CAMINO

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLOGICO DE RAQCHI SAN PEDR...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:593560249

Fecha de entrega

21 may 2026, 12:41 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 may 2026, 12:49 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLOGICO DE RA....pdf

Tamaño del archivo

15.6 MB

261 páginas

59.233 palabras

275.237 caracteres

10% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
36 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
61 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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 Alberto Villalobos Sosa y Margarita Gomez Alfaro, por su amor incondicional y apoyo permanente, por la exigencia brindada en todo el trayecto de mi formación académica superando todos los obstáculos encontrados, por haber formado una persona en valores siempre en un marco de respeto. Porque siempre serán los pilares de mi vida. A mis hermanos Jhon, Glised, Yanclert, Luis, Mariluz, Frank Jhonatan y Albert Antony. Por todo el amor y apoyo brindado incondicionalmente en todo momento ya sea dentro de un contexto de alegría o superando momentos difíciles. A mis amigos y compañeros de la facultad, que sin lugar a duda quedara lindos recuerdos en mi mente y corazón por todas las peripecias vividas en la vida universitaria.

Frank Alex Villalobos Gomez

A mis padres Rene y Esther, por su amor incondicional, apoyo constante y por enseñarme el verdadero significado de la humildad y la perseverancia. A mi hermana Marilyn, a mi hermano Elisban, a mis amigos y seres queridos, por su comprensión y paciencia durante los momentos difíciles, y por recordarme siempre mi valía y potencial. A mi yo del pasado, que con humildad aceptó sus limitaciones, pero nunca dejó de soñar, y que, a pesar de los tropiezos y la tormenta, se levantó cada vez, demostrando que la inteligencia no solo está en la mente, sino en el corazón que persiste. Este logro es el testimonio de que siempre se puede, de que el esfuerzo y el valor tienen un poder transformador. Este triunfo es mío y de todos los que creyeron en mí.

Brandon Sebastian Rodriguez Camino

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia otorgadas durante la investigación de este trabajo.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en especial a la escuela profesional de Ingeniería Civil. Por su compromiso con la excelencia académica y por fomentar un ambiente de investigación.

A nuestros docentes, quienes con su dedicación, conocimiento y vocación nos inspiraron a dar siempre lo mejor. Cada clase, consejo y enseñanza ha dejado una marca en nuestro camino.

A nuestro asesor de tesis al Dr. Ing. José Felipe Marín Loayza, por habernos transmitido y orientado con todo su conocimiento, por todo el tiempo dedicado en nuestra investigación, por toda la paciencia y su apoyo incondicional en todo el camino de la elaboración de nuestra investigación.

Al Ing. Jefferson Chara Holguín, especialista en mecánica de suelos, por el apoyo brindado en la elaboración de nuestra investigación y por facilitarnos su laboratorio para todos los estudios necesarios. CONGEOINGC EIRL.

INDICE GENERAL

I. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Situación Problemática.....	3
1.1. Formulación del problema.....	3
1.1.1. problema general.....	3
1.1.2. Problemas específicos.....	3
1.2. Justificación de la investigación	4
1.3. Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	6
2.1. Antecedentes de la investigación	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	7
2.2. Marco conceptual	9
2.2.1. Muros de contención.....	9
2.2.2. Tipos de muros de contención.....	9
2.2.3. Aparejo de muros de construcciones inca.....	2
2.2.3. Tipos de falla en muros de contención	2
2.2.4. Análisis de estabilidad de los muros.....	3
2.2.5. Propiedades físicas y mecánicas de los suelos	7
2.2.5.1. Propiedades físicas.....	7
2.2.5.2. Propiedades mecánicas.....	7
2.2.6. Caracterización de Taludes	8
2.2.6.1. Definición de un Talud.....	8

2.2.6.1. Elementos de un Talud.....	8
2.2.6.2. Tipos de suelos en Taludes.....	9
2.2.6.3. Factores que influyen en la estabilidad de taludes.....	11
2.2.7. Clasificación de Suelos.....	11
2.2.7.1. Clasificación de suelos según el método SUCS	11
2.2.7.2. Clasificación de suelos según el método AASHTO	13
2.2.8. Clasificación de las rocas.....	16
2.2.8.1. Rocas Ígneas	16
2.2.8.2. Rocas Sedimentarias	16
2.2.8.3. Rocas Metamórficas.....	17
2.2.9. Redes viales.....	17
2.2.10. Clasificación de caminos por superficie de rodadura	18
2.2.11. Tráfico vehicular.....	18
2.2.11.1. Clasificación de carreteras según demanda vehicular.....	19
2.2.12. Parámetros de Resistencia al corte	20
2.2.12.1. Cohesión.....	21
2.2.12.2. Angulo de fricción interna.....	21
2.2.13. Técnicas de Exploración	21
2.2.13.1. Ensayos Directos.....	22
2.2.13.2. Ensayos Indirectos	33
2.2.14. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes	41
2.2.14.1. Métodos de equilibrio limite.....	41
2.2.14.2. Métodos numéricos	44
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	46
3.1. Formulación de hipótesis de investigación	46

3.1.1.	Hipótesis general.....	46
3.1.2.	Hipótesis específicas	46
3.2.	Identificación de variables.....	46
3.2.1.	Variable independiente.....	46
3.2.2.	variable dependiente	46
3.3.	Operación de variables	46
3.4.	Limitaciones	47
IV.	METODOLOGÍA	48
4.1.	Ubicación de estudio	48
4.2.	Metodología de la investigación	48
4.2.1.	Enfoque de la investigación	48
4.2.2.	Nivel de la investigación.....	49
4.3.	Diseño de la investigación	49
4.4.	Unidad de análisis	51
4.5.	Población y muestra	51
4.5.1.	Población.....	51
4.5.2.	Muestra.....	51
4.5.3.	Método de muestreo.....	51
4.6.	Recolección de datos	52
4.6.1.	Levantamiento topográfico	52
4.6.2.	Evaluación de los muros inca.....	56
4.6.3.	Obtención de los parámetros geotécnicos	58
4.6.3.1.	Calicata.....	58
4.6.3.2.	Densidad de campo	59
4.6.3.3.	Ensayo de Penetración Dinámica Ligera	60

4.6.3.4. Sondeos Manuales – Posteadora.....	61
4.6.3.5. Ensayos Geofísicos	61
V. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	63
5.1. Procedimiento de análisis de datos.....	63
5.1.1. Ensayos geotécnicos	63
5.1.1.1. Análisis granulométrico por tamizado	64
5.1.1.2. Límites de consistencia.....	66
5.1.1.3. Clasificación de suelos (SUCS)	67
5.1.1.4. Humedad	67
5.1.1.5. Peso específico.....	68
5.1.1.6. Densidad de campo	69
5.1.1.7. Corte directo	70
5.1.2. Propiedades de los muros inca	70
5.1.2.1. Peso específico	70
5.1.2.2. Carga puntual	71
5.1.3. Secciones de Análisis.....	75
5.1.4. Estudio Sísmico	77
5.1.5. Estudio Hidrológico.....	84
5.1.6. Obtención de las cargas vehiculares	101
5.1.7. Método de equilibrio Límite.....	108
5.1.7.1. Modelamiento y asignación de las propiedades a los taludes	109
VI. RESULTADOS	113
6.1. Resultados de la estabilidad de taludes sin carga vehicular.....	113
6.1.1. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Estáticas.....	113
6.1.2. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Pseudo-estática.....	115

6.1.3. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Pseudo-estático con infiltración.....	117
6.2. Resultados de la estabilidad de taludes con carga vehicular.....	119
6.2.1. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Estáticas.....	119
6.2.2. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Pseudo-estáticas	121
6.2.3. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Pseudo-estáticas con infiltración.....	123
6.3. Resumen Comparativo de Resultados	125
VII. DISCUSIÓN.....	127
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131
Bibliografía.....	136
IV. ANEXOS.....	141
4.1. Registro fotográfico.....	141
4.2 Resultados de ensayos de campo y laboratorio.....	150
4.3 Ensayo de refracción sísmica y MASW	214
4.4. Matriz de consistencia	233
4.5. Planos.....	235

Índice de Tablas

Tabla 1 Factores que influyen en la estabilidad de taludes.....	11
Tabla 2 Clasificación de suelos - Método SUCS.....	12
Tabla 3 clasificación de suelos - Método AASHTO.....	15
Tabla 4 Datos técnicos del equipo DPL	25
Tabla 5 Tipo de suelo y tamaño de granos	27
Tabla 6 Tamaño de tamices del análisis granulométrico	27
Tabla 7 Plasticidad de los suelos.....	30
Tabla 8 Clasificación de rocas según su resistencia a la compresión uniaxial	33

Tabla 9 Clasificación de suelos según International Building Code	40
Tabla 10 Clasificación de suelos según Norma E.030	41
Tabla 11 Operacionalización de Variables	47
Tabla 12 Toma de datos-Densidad de campo	59
Tabla 13 Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL).....	60
Tabla 14 Análisis granulométrico - grava.....	64
Tabla 15 Análisis granulométrico - arena.....	65
Tabla 16 Análisis granulométrico - arcilla.....	65
<i>Tabla 17 Análisis granulométrico – Orgánico.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 18 Límites de consistencia de todos los estratos.</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 19 clasificación de suelos- todos los estratos</i>	<i>67</i>
Tabla 20 Humedad de todos los estratos	68
Tabla 21 Peso específico de todos los estratos.....	68
Tabla 22. Densidad de campo (densidad húmeda - densidad seca) - todos los estratos	69
Tabla 23 Corte directo (Cohesión y ángulo de fricción)-todos los estratos	70
<i>Tabla 24 Resistencia a la compresión uniaxial – carga puntual en roca andesita.....</i>	<i>71</i>
Tabla 25 Capacidad portante – roca andesita.....	73
Tabla 26 Velocidades de onda en profundidad	80
Tabla 27 Registro de precipitación Mensual Estación meteorológica de Perayoc.....	86
Tabla 28 Cálculo de precipitaciones máximas y variación cuadrática.....	86
Tabla 29 Cálculo de precipitaciones máximas diarias probables.....	88
Tabla 30 Coeficientes de duración de lluvias entre 48 hr y 1 hr.....	88
Tabla 31 Precipitaciones máximas por tiempos de duración y periodos de retorno	89
Tabla 32 Intensidad de precipitaciones.....	90
Tabla 33 Tabla de Intesidad-Duración-Frecuencia	97
Tabla 34 Valores típicos de conductividad eléctrica de materiales	99
Tabla 35 Valores de los materiales para condición con infiltración	100
Tabla 36 Volumen de tráfico promedio sentido ingreso para el día Lunes 06/06/22	102
Tabla 37 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Lunes 06/06/22	102
Tabla 38 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Martes 07/06/22	103
Tabla 39 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Miércoles 08/06/22 .	103

Tabla 40 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Jueves 09/06/22.....	103
Tabla 41 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Viernes 10/06/22.....	104
Tabla 42 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Sábado 11/06/22	104
Tabla 43 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Domingo 12/06/22 ..	104
Tabla 44 Resumen del volumen de tráfico promedio de salida y entrada.....	105
Tabla 45 Pesos máximos a considerar para nuestro análisis.....	107
Tabla 46 Pesos de los vehículos para el programa.....	108
Tabla 47 Cuadro comparativo de los valores de FS – Primera sección	125
Tabla 48. Cuadro comparativo de los valores de FS – Segunda Sección	125
Tabla 49. Cuadro comparativo de los valores de FS – Tercera Sección.....	126

Índice de Figuras

Figura 1 Tipos de muros de contención.....	1
Figura 2 Tipos de falla en muros de contención	3
Figura 3 Falla por volteo o giro excesivo en muros de contención.....	4
Figura 4 Fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras por volteo	4
Figura 5 Deslizamiento lateral en muros de contención	5
Figura 6 Fuerzas resistentes y actuantes por deslizamiento.....	5
Figura 7 Elementos de un talud	9
Figura 8 Criterio de Mohr-Coulomb.	21
Figura 9 Aparato de densidad de cono de arena	23
Figura 10 Equipo Penetrógrafo dinámico ligero	24
Figura 11 Tipos de dispositivo de muestra	32
Figura 12 Propagación de ondas longitudinales P.....	34
Figura 13 Propagación de ondas transversales (S)	35
Figura 14 Movimiento de las ondas Rayleigh	35
Figura 15 Movimiento de las ondas Love.....	35
Figura 16 Distribución en campo de los geófonos en el ensayo de refracción sísmica	37
Figura 17 Llegada de ondas, el impacto se realiza al centro de la línea	37
Figura 18 Perfil invertido de Refracción Sísmica 2D - ondas P	38

Figura 19 Perfil unidimensional de ondas de corte (Vs) - MASW	40
Figura 20 Análisis de la estabilidad de un talud.	41
Figura 21 Método Fellenius	42
Figura 22. Método Bishop.....	42
Figura 23 Método Janbu Simplificado.....	43
Figura 24 Método Spencer	44
Figura 25 Ubicación de estudio.....	48
Figura 26 Diseño metodológico	50
Figura 27. Procesamiento de Datos de vuelo	53
Figura 28. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	54
Figura 29. Curvas de nivel	54
Figura 30. Nube de puntos	55
Figura 31. Planos Topográficos en formato Digital	55
Figura 32. Estructura de los muros inca.....	56
Figura 33 Diagrama de los estudios realizados en campo	63
Figura 34 Estratos del suelo de los tres andenes y plataforma	64
Figura 35 Índice geológico de resistencia – GSI.....	72
Figura 36 Definición Topográfica del Área de Estudio	75
Figura 37 Definición de las secciones de Estudio.....	76
Figura 38 Sección transversal perfil 1	76
Figura 39 Sección transversal perfil 2	77
Figura 40 Sección transversal perfil 3	77
Figura 41 Zonificación sísmica del Perú	78
Figura 42 Mapa de velocidades de onda.....	80
Figura 43 Valores de las aceleraciones sísmicas	84
Figura 44 Estaciones meteorológicas del Senamhi por internet.....	85
Figura 45 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF	97
Figura 46 Datos de la precipitación pluvial en Slide V6.....	98
Figura 47 Asignación de la Precipitación al modelo de análisis	100
Figura 48 Variación horaria de tránsito vehicular	105
Figura 49 Distribución porcentual de vehículos en la zona de estudio.....	106

Figura 50 Variación diaria de vehículos	106
Figura 51 Situación crítica de carga vehicular sobre el primer andén	107
Figura 52 Esquema de análisis final con carga vehicular.....	108
Figura 53. Asignación de Propiedades de los Materiales	109
Figura 54 Métodos de análisis	110
Figura 55 Métodos equilibrio límite para condición pseudo-estatica con infiltración.....	111
Figura 56. Definición de los métodos de análisis hidrológico.....	111
Figura 57. Asignación de Propiedades Hidráulicas de los Materiales.....	112
Figura 58. Factores de Seguridad Condición estática - Primer Andén.....	113
Figura 59. Factores de Seguridad Condición estática - Segundo Andén	113
Figura 60. Factores de Seguridad Condición estática – Tercer Andén.....	114
Figura 61. Factores de Seguridad Condición estática - En Conjunto	114
Figura 62. Factores de Seguridad Condición Pseudo-estática - Primer Andén	115
Figura 63. Factores de Seguridad Condición Pseudo-estática - Segundo Andén	115
Figura 64. Factores de Seguridad Condición Pseudo-estática - Tercer Andén	116
Figura 65. Factores de Seguridad Condición Pseudo-estática - En Conjunto	116
Figura 66. Factores de seguridad Condición Pseudo-estática con Infiltración - Primer Andén	117
Figura 67. Factores de seguridad Condición Pseudo-estática con Infiltración - Segundo Andén.....	117
Figura 68. Factores de seguridad Condición Pseudo-estática con Infiltración - Tercer Andén	118
Figura 69. Factores de seguridad Condición Pseudo-estática con Infiltración - En conjunto	118
Figura 70. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Estática - Primer Andén	119
Figura 71. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Estática - Segundo Andén	119
Figura 72. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Estática - tercer Andén.....	120
Figura 73. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Estática - En conjunto...	120

Figura 74. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática – Primer Andén.....	121
Figura 75. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática – Segundo Andén.....	121
Figura 76. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática – Tercer Andén.....	122
Figura 77. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática – En conjunto.....	122
Figura 78. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática con infiltración – Primer Andén	123
Figura 79. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática con infiltración – Segundo Andén.....	123
Figura 80. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática con infiltración – Tercer andén.....	124
Figura 81. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática con infiltración – En conjunto.....	124

Índice de Fotografías

Fotografía 1 Levantamiento Topográfico.....	53
Fotografía 2 Daño en el primer andén-desplazamiento lateral.....	57
Fotografía 3 Muro con falta de mortero – Segundo y tercer andén.....	58
Fotografía 4 Excavación de calicatas	58
Fotografía 5 Densidad de campo.....	59
Fotografía 6 Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL)	60
Fotografía 7 Sondeo con la Posteadora.....	61
Fotografía 8 - Ensayos Geotécnicos	62
Fotografía 9 Ensayo de Refracción sísmica.....	80

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la estabilidad estructural de los muros inca en la zona de acceso vehicular principal al parque arqueológico de Raqchi. La investigación se centra en analizar 3 perfiles de las andenerías ubicadas en el ingreso al parque arqueológico que están compuestos por tres andenes sostenidos por muros de piedra inca, enfocándonos principalmente en analizar el muro inca que sostiene el andén sobre el cual transitan vehículos pesados que generan esfuerzos adicionales en el terreno y podrían comprometer la estabilidad de estas estructuras históricas.

Para llevar a cabo el análisis, se realizaron ensayos de campo y laboratorio que permitieron caracterizar los suelos presentes en los diferentes estratos del perfil geotécnico. Se utilizó el programa Slide V6 para modelar y analizar las condiciones de estabilidad bajo las cargas vehiculares y las del terreno. La hipótesis plantea que los muros incas son inestables debido a que la resistencia al corte del suelo en las superficies de falla es insuficiente para contrarrestar las fuerzas ejercidas por la masa del suelo y las cargas externas, resultando en un factor de seguridad inferior a 1.5.

Los resultados muestran que la carga vehicular sobre el primer andén genera una disminución significativa en el factor de seguridad, corroborando que estas condiciones aumentan el riesgo de deslizamiento. Finalmente, se proponen recomendaciones técnicas para mitigar la inestabilidad y preservar los muros incas, destacando la importancia de conservar este patrimonio histórico frente a las demandas del tránsito moderno

Palabras Clave:

Estabilidad, Muros Inca, Slide, Raqchi

ABSTRACT

This research, titled "Stability Analysis of the Inca Walls at the Entrance to the Archaeological Park of Raqchi - San Pedro - Canchis - Cusco", aims to assess the structural stability of the Inca walls located at the main entrance of the archaeological park. The study focuses on a geotechnical profile consisting of three terraces supported by Inca stone walls. Heavy vehicle traffic on the first terrace exerts additional loads on the terrain, potentially compromising the stability of these historical structures.

Field and laboratory tests were conducted to characterize the soils in the study area's stratigraphic layers. The Slide V6 software was employed to model and analyze the stability conditions under vehicular loads and terrain characteristics. The hypothesis suggests that the Inca walls are unstable due to insufficient shear strength along the potential failure surfaces, unable to counteract the forces exerted by the soil mass and external loads, resulting in a factor of safety below 1.5.

The findings indicate that vehicular traffic significantly reduces the factor of safety, confirming the increased risk of sliding. Technical recommendations are provided to mitigate instability and ensure the preservation of the Inca walls, emphasizing the need to protect this historical heritage against modern traffic demands.

Keywords:

Stability, Inca Walls, Slide, Raqchi

INTRODUCCIÓN

El ministerio de cultura viene realizando obras de mantenimiento y reconstrucción de elementos arqueológicos para que perdure y siga siendo un destino turístico mundial.

La región es considerada la antigua capital del imperio incaico, es por ello que cuenta con muchos restos de ciudadelas incas, y gracias a la dirección desconcentrada de cultura del Cusco se vienen cuidando y restaurando con muchas obras a lo largo de toda la región.

Uno de estos sitios arqueológicos es el complejo arqueológico de Raqchi, lugar ceremonial y destino de paso que nunca dejó de ser habitada, es por ello que existe una comunidad que lleva el mismo nombre estableciendo sus viviendas a las afueras del templo principal del recinto arqueológico para su acceso los pobladores establecieron una trocha sobre un andén inca que anteriormente se usaba como terreno de cultivo.

El presente trabajo de investigación consiste en realizar un estudio del impacto de los vehículos sobre dicho andén, ya que durante los últimos años debido al incremento del turismo a nivel nacional se ha presentado un ingreso masivo de vehículos de todo tipo hasta la plazoleta de la comunidad de Raqchi, lugar donde está el registro para el ingreso de turistas. Dicho ingreso se realiza por un carril que se ubica sobre una andenería inca que anteriormente era utilizada para siembra. Este carril ha sido compactado con el propio peso de los vehículos y sin ningún tratamiento especial, y en la actualidad está en pésimas condiciones; presenta baches de alta severidad y se puede ver indicios de deterioro en algunas secciones del muro inca que sostiene el andén.

Durante los últimos años el único esfuerzo o intento de mantenimiento en dicho carril fue rellenar los baches con piedra pómez o pumita y arcilla sin ningún tipo de compactación ni tratamiento previo. Esto provoca que el suelo vuelva a fallar por el peso de los vehículos y

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

nuevamente presentar los mismos baches, estos a su vez ponen en riesgo la estabilidad del andén inca y de los propios vehículos.

I. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Situación Problemática

En los últimos años el turismo ha tenido un crecimiento exponencial en el país y principalmente en nuestro departamento luego de que el complejo arqueológico de Machupicchu sea considerada una de las 7 maravillas del mundo moderno. Es por ello que se ha visto la necesidad de crear nuevas rutas turísticas y promocionar destinos turísticos que hasta hace poco solo eran visitados por turistas locales.

Este auge turístico generó que los visitantes adquieran boletos turísticos en empresas que les ofrecen un paquete turístico guiado hacia distintos destinos, dichas empresas se vieron en la necesidad de adquirir vehículos con la capacidad suficiente para mover grandes grupos en buses de categoría B2 y hasta B3-1, el peso bruto de estos vehículos es considerable y su influencia en los pavimentos no se tenía contemplado en esta vía.

El parque arqueológico de Raqchi se encuentra en la comunidad del mismo nombre, distrito San Pedro, Provincia Canchis, Departamento Cusco. El principal ingreso al parque está a 423m de la panamericana Sur y se llega hasta ahí por medio de una trocha de un solo sentido que está sobre una andenería inca. Esta es la principal razón por la que está prohibido construir una carretera asfáltica o de concreto hidráulico para facilitar el ingreso de los vehículos, por ello se necesita analizar el estado del muro que soporta dicho andén ya que existe la posibilidad que pueda haberse deteriorado debido al tránsito de vehículos.

1.1. Formulación del problema

1.1.1. problema general

P.G. ¿Son estables los muros incas del acceso al parque arqueológico de Raqchi?

1.1.2. Problemas específicos

P.E.I. ¿Cómo influyen los parámetros de resistencia al corte del suelo en la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?

P.E.2. ¿Qué efecto produce las cargas vehiculares y el peso de los muros inca en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?

P.E.3. ¿Qué efecto produce el comportamiento individual y en conjunto los tres andenes en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?

P.E.4. ¿Cómo influye la acción sísmica en la estabilidad de los muros inca ubicados en el acceso al parque arqueológico de Raqchi?

P.E.5. ¿Qué técnica de refuerzo de suelos se puede aplicar para la mejorar la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?

1.2. Justificación de la investigación

El acceso al parque arqueológico de Raqchi, desde hace años se viene utilizando el primer andén como el acceso vehicular de una carretera improvisada, además de plantear posibles soluciones de estabilización de dicho andén con materiales y tecnologías que no alteren el entorno turístico del lugar, ya que al realizarse la investigación en una zona arqueológica no se puede utilizar materiales que no estén en contexto con el medio como el asfalto o el concreto.

Esta investigación tratará de resolver de manera permanente la duda sobre la situación del andén inca y que permita transitar por dicho andén de manera segura, ya que actualmente existe un temor a que al manejar por la parte lateral dicho andén vaya a fallar o pueda provocarse algún deslizamiento de las rocas que conforman el muro de soporte de dicho andén.

Durante la investigación se plantea realizar diferentes ensayos directos o en laboratorio para poder conocer las diferentes propiedades de los suelos tanto físicas, mecánicas como químicas y también conocer las características y estructura de los muros inca.

1.3. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

O.G. Determinar la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.

1.4.2. Objetivos específicos

O.E.1. Determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo en la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.

O.E.2. Determinar la carga vehicular y el peso de los muros inca como fuerzas externas y su influencia en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.

O.E.3. Determinar el comportamiento individual y en conjunto de los tres andenes en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.

O.E.4. Evaluar la influencia de la acción sísmica en la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.

O.E.5. Desarrollar técnicas de refuerzo de suelos que se puede aplicar para mejorar la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.

II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Tesis: “ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN
CONSTRUIDOS POR LOS INCAS.”

Autor: JAIME CASTRO AGUDELO-2016-BOGOTA-COLOMBIA.

El imperio Inca funcionaba gracias a una infraestructura compuesta por terrazas agrícolas sostenidas por muros de contención, puentes que facilitaban la conexión entre las montañas, sistemas de drenaje en las ciudades y una red de caminos de aproximadamente 40,000 kilómetros que unían todo el imperio con Cuzco (Hirst, 2015). Muchas de estas estructuras aún se mantienen en buen estado a pesar de no haber recibido mantenimiento en los últimos 500 años, y de estar situadas en una región con alta actividad sísmica.

Castro (2016) distinguió dos tipos de estructuras murarias con características claramente diferenciadas. Los muros de mampostería presentaron una granulometría poco variada y respondieron a un sistema ordenado en su disposición constructiva, mientras que los muros de contención de las terrazas agrícolas mostraron una granulometría más amplia y una organización de tipo desordenado.

Así mismo, Castro (2016) analizó la estabilidad de dos muros de contención y encontró que el sistema de drenaje implementado por los incas resultó altamente efectivo, dado que impidió la generación de condiciones de saturación al interior de las terrazas y, por ende, evitó la aparición de empujes adicionales provocados por el agua.

Tesis: “USING 3D TERRACE MODELING TO PRESERVE THE INCAN SITE OF
SAQSAYWAMAN”

Autor: TERESA MARIE JARRIEL-2016-UNIVERSIDAD DE VIRGINIA-EEUU.

Esta investigación presenta un análisis del daño infligido por la escorrentía incontrolada sobre los tres grandes muros de Sacsayhuamán. El análisis se basa en la recreación del sistema

inca de terrazas original utilizando el modelado de AutoCAD Civil3D. tras la modelación 3D se comprueba que la implementación del esquema de terrazas inca original mejorará las condiciones actuales de la escorrentía y protegerá a los tres muros de nuevos daños.

Saqsaywaman es Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO en Cusco, Perú, construido por los incas en el siglo XV. Hoy en día, es reconocido como una notable obra de ingeniería inca. Tras siglos de abuso, la integridad estructural de las murallas se ha visto comprometida y están comenzando a derrumbarse.

Un modelo topográfico tridimensional de Saqsaywaman reveló que la escorrentía pluvial incontrolada era la amenaza subyacente para las Grandes Murallas, resultante del deterioro del sistema de terrazas inca original. Los estudios sugieren que el método óptimo para proteger Saqsaywaman de mayores daños es restaurar el sistema de terrazas inca a su propósito original de gestionar la escorrentía en el sitio. Si bien los restos de terrazas son prominentes en la superficie del sitio, la existencia de un sistema de terrazas integral en Saqsaywaman no podía justificarse solo por esto. Por lo tanto, fue necesario recopilar evidencia subterránea de un sistema de terrazas inca, además de evidencia visual, sobre el nivel del suelo. Mediante la documentación precisa de la evidencia visual de las terrazas, así como mediante la realización de análisis subterráneos no invasivos, se creó una configuración propuesta del sistema de terrazas original.

Esta configuración de terrazas ofrece una recreación plausible del diseño original de Saqsaywaman, respaldada por análisis de ingeniería. Sirve de base para futuros estudios destinados a proteger Saqsaywaman, manteniendo la integridad histórica del sitio.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Tesis: “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA TERCERA TERRAZA –
ZONA LOS BALUARTES EN EL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
SACSAYHUAMAN”

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Autor: TTITO ORTIZ, DIANA CARMELI- 2018- CUSCO- PERÚ.

El Parque Arqueológico de Sacsayhuamán obtuvo el reconocimiento como patrimonio cultural de la humanidad por las destacadas características estructurales y arquitectónicas que posee, lo cual evidenció la necesidad de abordarlo desde un enfoque ingenieril orientado a garantizar su preservación. En ese sentido, la investigación evaluó la estabilidad del talud ubicado en la zona de Los Baluartes a través del cálculo de factores de seguridad, la obtención de parámetros de resistencia al corte del suelo y la identificación de elementos que condicionaron dicha estabilidad, entre ellos las fuerzas sísmicas, las cargas vivas y el peso de los muros reforzados por los incas. Así mismo, el estudio presentó los resultados de ensayos geotécnicos y geofísicos, los cuales se procesaron mediante el programa Slide V 6.0 para llevar a cabo un análisis estático y pseudoestático del talud. Cabe mencionar que esta investigación tomó como base la información y el trabajo de campo desarrollados previamente en conjunto con la Universidad Nacional de Ingeniería en el Parque Arqueológico de Sacsayhuamán durante los años 2015, 2016 y 2017 (Ttito, 2018).

Tesis: “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SÍSMICA DE MUROS HISTÓRICOS PERUANOS EN BASE A TIERRA”

Autor: TORRES ACOSTA, ARTURO VLADIMIR- 2020-LIMA- PERÚ

En diversos países con alta actividad sísmica, numerosos muros apoyados directamente sobre el terreno se mantuvieron en buen estado y no mostraron volcamiento tras cientos de años de exposición a eventos telúricos. Perú, nación con un elevado potencial sísmico según Tavera (2019), albergó muros prehispánicos que permanecieron en pie después de resistir múltiples terremotos a lo largo de su historia. El análisis sísmico rotacional de bloques rígidos constituyó una línea de investigación de considerable interés durante décadas, con aportes de Housner (1963),

Hogan (1989), Makris y Zhang (1999), Calìo y Marletta (2003), Pitilakis y Tavouktsi (2010), y Manos, Petalas y Demosthenous (2013), entre otros.

Torres (2020), en su investigación cuyo objetivo fue examinar la estabilidad y el riesgo de volcamiento de muros precolombinos peruanos frente a eventos sísmicos futuros, analizó dinámicamente la estabilidad sísmica de dos monumentos históricos: el muro del templo de Huiracocha en Raqchi, provincia del Cusco, y un tramo del muro del camino Inca ubicado en el campus de la PUCP. Ambos muros se modelaron numéricamente como bloques rígidos apoyados de manera simple sobre el terreno, los cuales podían tambalear alrededor de las esquinas de su base durante un sismo. El estudio evaluó la estabilidad de estas estructuras frente a un conjunto de sismos sintéticos con distintas magnitudes de momento, condiciones del terreno y niveles de sismicidad local, y graficó la respuesta rotacional de los muros a lo largo del tiempo según los movimientos sísmicos registrados en su base. Finalmente, analizó el riesgo de volteo ante posibles terremotos futuros, obteniéndose que el muro del camino Inca colapsaría durante un sismo de magnitud 8.5 con un periodo de retorno de 1,000 años, mientras que el muro de Huiracocha resistiría durante siglos..

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Muros de contención

Un muro de contención es una estructura diseñada para sostener material, generalmente tierra, y evitar que se desborde. Su función principal es prevenir el deslizamiento o vuelco del material que contiene debido a las fuerzas horizontales o inclinadas que se ejercen sobre él. Estos muros están diseñados para soportar el empuje temporal o permanente del suelo y evitar que se deslicen o vuelquen.

2.2.2. Tipos de muros de contención

Los tipos de muros de contención se clasifican de la siguiente manera.

- Muro de gravedad
- Muro en voladizo
- Muro con contrafuertes
- Estribo de puente
- Muro de sótano
- Muros anclados
- Muro de suelo reforzado

Muro de gravedad: “Estos muros se construyen con una mezcla de concreto ciclópeo, y su estabilidad depende principalmente de su propio peso y de la firmeza del suelo sobre el que se asientan. Generalmente, se utilizan para alturas moderadas y se fabrican con concreto de calidad estándar, sin necesidad de refuerzo. Esto los hace una opción atractiva por su bajo costo, especialmente para construcciones de poca altura” (Bowles,1997).

Muro en voladizo (cantiléver o ménsula): “Estos muros se fabrican con concreto armado y constan de una pared delgada y una base como zapata. Su diseño les permite resistir la presión de la tierra y mantenerse estables gracias a su forma de "T". La tierra que se encuentra sobre la zapata ayuda a prevenir el vuelco y aumenta la fricción entre el suelo y la estructura, lo que mejora la resistencia al deslizamiento” (Das, 2014).

Muro con contrafuertes: “Son similares a los muros en voladizo, estos muros se diferencian por la inclusión de elementos transversales que conectan la pared con la cimentación. Estos contrafuertes se colocan a intervalos regulares y tienen como función principal reducir la flexión y las fuerzas de corte. Como señala Harmsen, los contrafuertes suelen trabajar a tracción, lo cual no es ideal ya que el concreto es más resistente a la compresión. Por esta razón, en muchos

casos se colocan los contrafuertes en la parte frontal del muro, logrando así que trabajen bajo compresión” (Terzaghi et al., 1996).

Estribo de puente: “Son muros que, además de soportar el empuje lateral, resisten las cargas provenientes del mismo puente. Estas cargas pueden ser cargas muertas, cargas vivas, cargas de frenado, entre otras” (Bowles, 1997).

Muro de sótano: “Estos muros no solo soportan la presión lateral del suelo, sino también la carga vertical del edificio. Es importante considerar que, a medida que aumenta el número de sótanos en una construcción, la profundidad también se incrementa. Esto significa que los muros inferiores deben soportar una mayor carga lateral y vertical en comparación con los muros superiores. Están sometidos a volteo durante su construcción y su vida útil” (Das, 2014).

Muros anclados: “Los muros anclados se construyen principalmente con una pared delgada y un sistema de sujeción. La sujeción se logra mediante tensores, los cuales se tensan una vez que el concreto se ha endurecido. Es crucial tener en cuenta el método de construcción de estos muros, que implica la excavación secuencial utilizando paneles alternados” (Holtz et al., 2011).

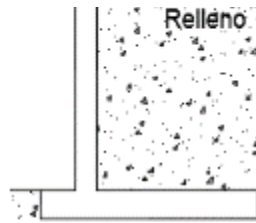
Muro de suelo reforzado: “Los muros de suelo reforzado incorporan capas horizontales de materiales de refuerzo, como acero o geomallas, que se pueden integrar dentro del muro de contención. Esto crea una masa de suelo reforzado que actúa como una estructura de gravedad y resiste las fuerzas del suelo y la carga adicional detrás de muros” (Duncan et al., 2014).

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 1 Tipos de muros de contención.



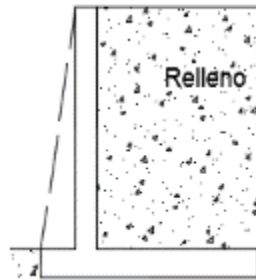
a) Muro de gravedad



b) Muro en voladizo



c) Muro con contrafuertes
posteriores



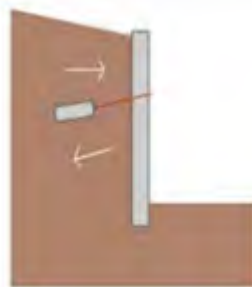
d) Muro con contrafuertes
anteriores



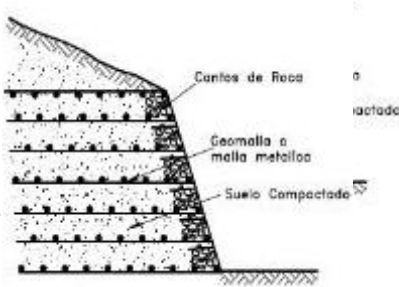
e) Estribo de puente



f) Muro de sótano



g) Muros anclados



h) Muro de
suelo reforzado

2.2.3. Aparejo de muros de construcciones inca

Se clasifican de la siguiente manera.

El almohadillado: Este tipo de muro parece que sobresale, como si las piedras estuviesen comprimidas.

Los muros inclinados: Todas las construcciones incas presentan una ligera inclinación para aumentar su resistencia ante movimientos sísmicos.

El estilo trapezoidal: Esta forma trapezoidal proporcionaba mayor resistencia y estabilidad al muro, funcionando como medida antisísmica.

El estilo rústico (pirca): Estos muros se construían con piedras pequeñas unidas mediante barro.

El tipo celular: Este estilo se asemeja a un conjunto de celdas, con una piedra grande central rodeada por varias más pequeñas.

El estilo engastado: Se caracteriza por líneas horizontales ordenadas, formadas por la unión de bloques en diversos ángulos.

El estilo imperial: Este muro se ensambla con piedras medianas del mismo tamaño, dispuestas en filas horizontales, logrando una simetría en la construcción.

El estilo ciclópeo: Este estilo se distingue por el ensamblaje de rocas de tamaño regular alrededor de enormes rocas, algunas de hasta 9 metros.

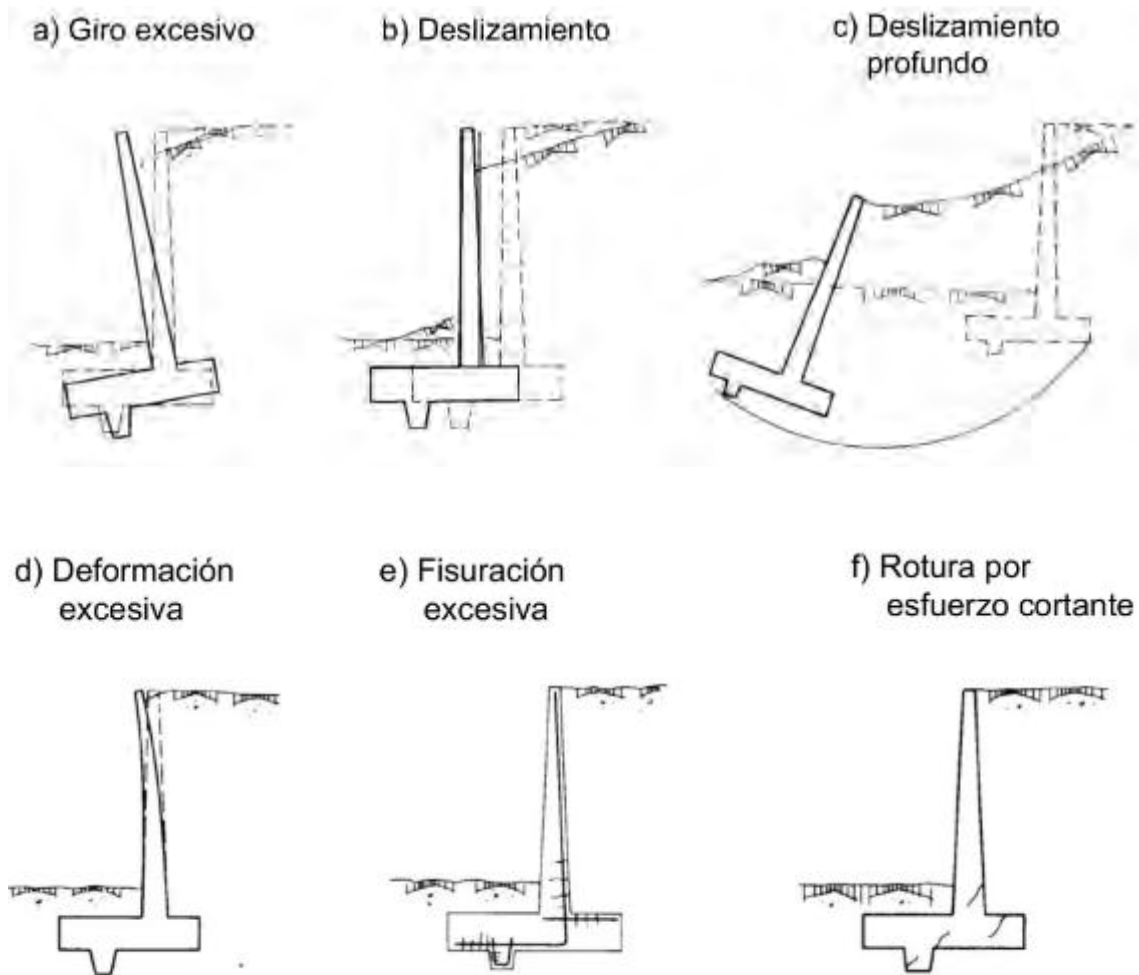
2.2.3. Tipos de falla en muros de contención

Los muros de contención cumplieron como función principal la de resistir los empujes laterales del suelo, aunque en determinadas condiciones también soportaron cargas verticales. Por ende, tanto la estabilidad como el eventual colapso de estas estructuras dependieron fundamentalmente de las características del suelo en contacto directo con su base y del peso propio

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

del muro (Bowles, 1997). A partir de estas condiciones, Das (2014) identificó los siguientes tipos de fallas.

Figura 2 Tipos de falla en muros de contención



2.2.4. Análisis de estabilidad de los muros

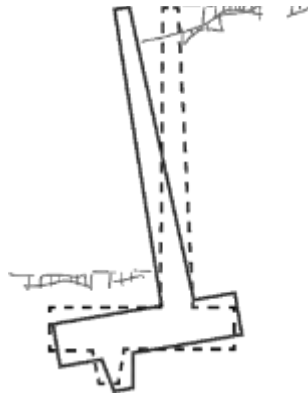
Resultó fundamental garantizar tanto la resistencia como la estabilidad del muro, para lo cual se llevaron a cabo estudios de verificación que permitieron evaluar su comportamiento estructural.

Verificación por volteo

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

La verificación por volteo implicó analizar el comportamiento del muro tomando como referencia el punto de giro ubicado en un extremo de su base. El análisis buscó comprobar que los momentos desestabilizadores resultaran menores que los momentos estabilizadores, lo cual permitió determinar si las dimensiones del muro fueron las adecuadas, dado que la resistencia frente a estos momentos dependió directamente de la forma de la estructura.

Figura 3 Falla por volteo o giro excesivo en muros de contención

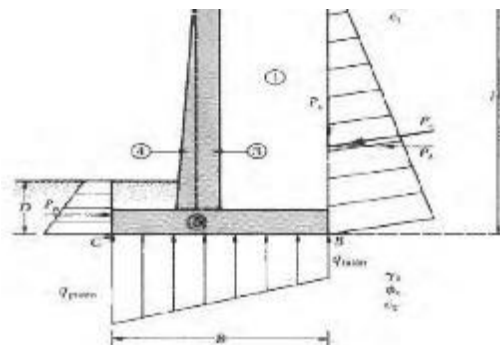


Fuente: Noticreto

Para llevar a cabo esta verificación, es necesario comprender cómo actúan las fuerzas sobre el muro. Ya determinado los momentos con respecto al punto “C” del muro, se determina una relación entre los momentos estabilizadores y desestabilizadores; de esta forma se halla el factor de seguridad el cual debe variar entre 1.5 a 2.

$$F.S. = \frac{M_{ESTABILIZADORES}}{M_{DEESTABILIZADORES}}$$

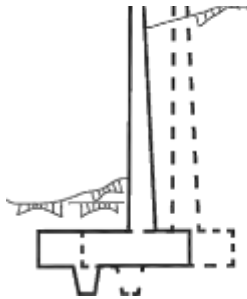
Figura 4 Fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras por volteo



Verificación por deslizamiento

El deslizamiento del muro es una falla que ocurre cuando el empuje del suelo es excesivo, y esta presión aumenta con la presencia de cargas adicionales en el terreno. Como resultado, el muro se desplaza lateralmente. Este desplazamiento se resiste principalmente mediante la fricción en la base de la estructura, cuya efectividad depende del tipo de suelo.

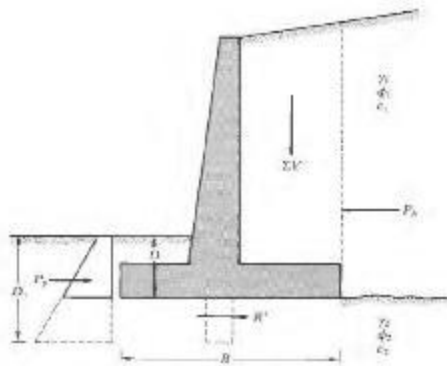
Figura 5 Deslizamiento lateral en muros de contención



Para poder realizar la verificación por deslizamiento es importante identificar las fuerzas que actúan y provocan el deslizamiento, así como las fuerzas que se oponen a este. Finalmente se determina el factor de seguridad ante el deslizamiento realizando una relación de fuerzas resistentes y actuantes.

$$F.S. = \frac{F_{RESISTENTES}}{F_{ACTUANTES}}$$

Figura 6 Fuerzas resistentes y actuantes por deslizamiento



Verificación por capacidad portante

La verificación de la capacidad portante del suelo ubicado bajo el muro buscó garantizar que este no fallara ante la presión que la estructura ejerció sobre él. Para ello, resultó necesario considerar el punto de aplicación de la carga, dado que cuando esta se ubicó dentro del tercio central de la base, el cálculo del esfuerzo máximo y mínimo respondió a la siguiente expresión:

$$\sigma_{Max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + 6 \frac{e}{B}\right)$$
$$\sigma_{Min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - 6 \frac{e}{B}\right)$$

Donde: “e= excentricidad”

“Sin embargo, cuando es aplicada fuera del tercio central se calcula de la siguiente manera”:

$$\sigma_{Max} = \frac{2\sum V}{3\left(\frac{B}{2} - e\right)}$$
$$\sigma_{Min} = 0$$

“Luego se calcula la capacidad última del terreno con la cual se halla el factor de seguridad para garantizar que el suelo no falle por asentamiento, para ello se requiere que este factor sea 3”.

$$FS_{capacidad\ de\ carga} = \frac{q_u}{q_{max}}$$

Verificación de Estabilidad Global

Esta verificación es crucial para muros de contención altos o que se construyen en laderas. Analiza la estabilidad de un bloque más grande de suelo que incluye el muro y el terreno circundante. Se busca garantizar que no haya un deslizamiento circular o profundo que arrastre tanto el muro como el suelo que lo contiene. El análisis se realiza con métodos geotécnicos, a

menudo usando software especializado, para determinar si el factor de seguridad del talud en su conjunto es suficiente.

2.2.5. Propiedades físicas y mecánicas de los suelos

2.2.5.1. Propiedades físicas

Granulometría: Describe la distribución de tamaños de las partículas que componen el suelo. Se clasifica en arena, limo y arcilla, con diferentes tamaños de partículas.

Peso específico: Es el peso por unidad de volumen del suelo. Se utiliza para calcular el peso del suelo en un determinado volumen.

Porosidad: Es el porcentaje de volumen de huecos o poros en el suelo. Influye en la permeabilidad y la capacidad de almacenamiento de agua.

Humedad: Cantidad de agua presente en el suelo, expresada como porcentaje del peso seco. Afecta la resistencia y la compresibilidad del suelo.

Consistencia: Describe la resistencia del suelo a la deformación. Se clasifica en consistencias como muy blanda, blanda, firme, dura, muy dura, etc.

Estructura: Describe la disposición espacial de las partículas del suelo. Puede ser granular, floculada, dispersa, etc.

2.2.5.2. Propiedades mecánicas

Resistencia al corte: Es la capacidad del suelo para resistir fuerzas tangenciales o de cizallamiento. Se mide mediante ensayos de corte directo o triaxial.

- **Cohesión (c):** Es la fuerza de atracción entre las partículas del suelo. Es característica de suelos finos como las arcillas.
- **Ángulo de fricción interna (ϕ):** La resistencia al corte generada por la fricción entre las partículas. Es predominante en suelos granulares como la arena y la grava.

Compresibilidad: Es la capacidad del suelo para reducir su volumen cuando se le aplica una carga. Esta propiedad conduce a los asentamientos, que son las deformaciones o hundimientos del terreno. Los suelos arcillosos son mucho más compresibles que los suelos granulares. Se estudia mediante el ensayo de consolidación o edómetro.

Permeabilidad: Es la capacidad del suelo para permitir el flujo de agua a través de él. Se mide mediante ensayos de permeabilidad.

Compactación: Un proceso mecánico para aumentar la densidad del suelo y mejorar sus propiedades de resistencia y compresibilidad. Se mide mediante el ensayo de Proctor.

Modulo de elasticidad: es un parámetro que mide la rigidez de un terreno, calculando la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación elástica resultante en un rango de comportamiento lineal.

2.2.6. Caracterización de Taludes

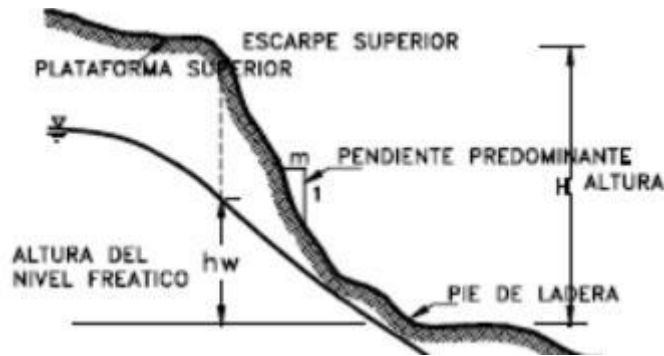
2.2.6.1. Definición de un Talud

Un talud se define como una superficie inclinada, natural o artificial, que limita un macizo de suelo o roca. En términos más sencillos, es la pendiente de un terreno o de un muro.

2.2.6.1. Elementos de un Talud

- **Cresta.** Es el borde superior del talud. Marca el límite entre la superficie inclinada y la superficie horizontal superior.
- **Pie.** Es el punto más bajo del talud, donde la superficie inclinada se encuentra con la superficie horizontal inferior.
- **Altura.** Es la distancia vertical entre la cresta y el pie del talud.
- **Pendiente.** Es la inclinación de la superficie del talud, generalmente expresada como una relación horizontal: vertical o como un ángulo.

Figura 7 Elementos de un talud



2.2.6.2. Tipos de suelos en Taludes

a) Suelos Cohesivos (Arcillas y Limos)

Características:

- Partículas finas con alta capacidad de retención de agua.
- Presentan cohesión, lo que les permite mantener su forma incluso sin presión confinante.
- Pueden ser plásticos, lo que significa que se deforman fácilmente.

Comportamiento en Taludes:

- Los taludes de arcilla pueden ser estables a corto plazo, pero son susceptibles a fallas a largo plazo debido a la saturación y la reducción de la resistencia al corte.
- Los limos son menos cohesivos que las arcillas y pueden ser más propensos a la erosión.
- La presencia de agua puede reducir significativamente la estabilidad de los taludes cohesivos.

Tipo de fallas comunes:

- Superficies de falla curvas o circulares.

b) Suelos No Cohesivos (Arenas y Gravas)

Características:

- Partículas gruesas con baja capacidad de retención de agua.
- La resistencia al corte depende principalmente de la fricción interna entre las partículas.
- Son permeables, lo que permite el drenaje del agua.

Comportamiento en Taludes:

- Los taludes de arena y grava son generalmente estables si el ángulo de inclinación es menor que el ángulo de fricción interna.
- Son susceptibles a la erosión superficial por el agua y el viento.
- El agua puede reducir la estabilidad de los taludes de arena suelta.

• Tipo de fallas comunes:

- Deslizamientos superficiales.
- Fallas planas.

c) Suelos Rocosos:

Características:

- Compuestos por fragmentos de roca de diversos tamaños.
- La estabilidad depende de la resistencia de la roca y de la presencia de discontinuidades (fracturas, juntas).

Comportamiento en Taludes:

- Los taludes rocosos pueden ser muy estables si la roca es competente y las discontinuidades son favorables.
- Las fallas pueden ocurrir a lo largo de las discontinuidades.

- La meteorización puede degradar la roca y reducir la estabilidad.

2.2.6.3. Factores que influyen en la estabilidad de taludes

La estabilidad de un talud es un equilibrio delicado influenciado por una variedad de factores, tanto naturales como provocados por el hombre. Aquí te presento los principales factores que determinan la estabilidad de un talud:

Tabla 1 Factores que influyen en la estabilidad de taludes

a. Factores Geométricos	Altura del talud Inclinación del talud Longitud del talud	b. Factores Geológicos	Tipo de suelo Estratigrafía Presencia de discontinuidades Meteorización
c. Factores Hidrológicos	Nivel freático Infiltración Drenaje	d. Factores Sísmicos	Intensidad del sismo Duración del sismo
e. Factores Humanos	Excavaciones Cargas adicionales Deforestación Vibraciones	f. Vegetación	Raíces Cobertura vegetal Transpiración

2.2.7. Clasificación de Suelos

2.2.7.1. Clasificación de suelos según el método SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), fundamentado en las normas NTP 339.134 y ASTM D-2487, describió los suelos para su aplicación en ingeniería a partir del tamaño de las partículas determinado en laboratorio. Este sistema organizó los suelos en dos categorías principales.

Suelos de grano fino: Se consideraron suelos de grano fino aquellos en los que el 50% o más del peso seco de la muestra atravesó el tamiz N° 200 (75 µm).

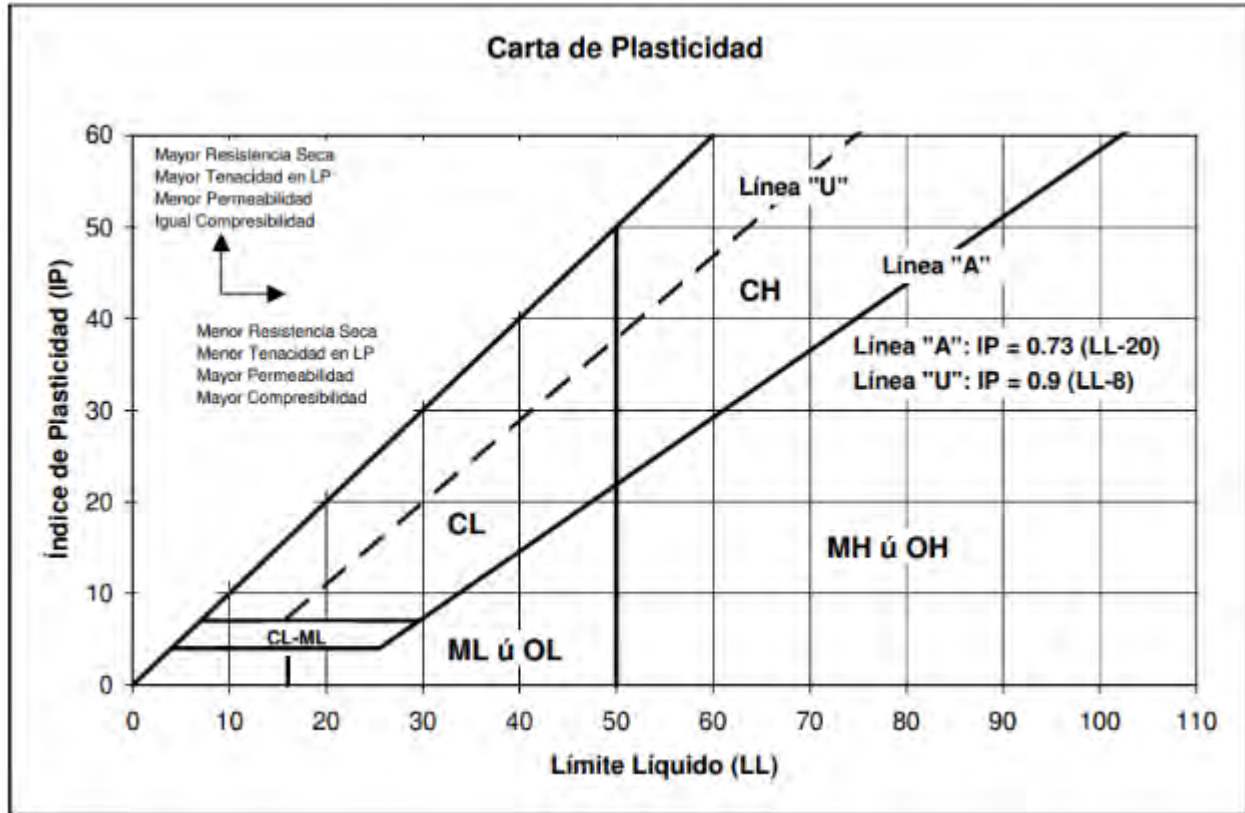
Suelos de grano grueso: Se considera suelos de grano grueso aquellos en los que más del 50% del peso seco de la muestra queda retenido en el tamiz N° 200 (75 µm).

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Tabla 2 Clasificación de suelos - Método SUCS

DIVISIONES PRIMARIAS		SÍMBOLO	DIVISIONES SECUNDARIAS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN		IDENTIFICACIÓN VISUAL
SUELOS GRANULARES Menos de la mitad del material pasa la malla #200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamaño correspondiente a la malla #4		Gravas limpias con menos de un 5% de finos (b) o la malla #200 (son GW o GP)	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = (D_{30})^2/(D_{60} D_{10})$ entre 1 y 3		Amplio rango de tamaño de granos con cantidades sustanciales de partículas intermedias.
		GW	Gravas mal graduadas, mezclas grave-arena con poco fino o sin fino	No cumple con alguno de los requerimientos indicados arriba		Predomina un tamaño o falta un tamaño intermedio.
		GP				
			Gravas que tienen entre un 5% y un 12% de finos bajo la malla #200 son casos intermedios: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC			
SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla #200	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamaño correspondiente a la malla #4		Gravas con más de un 12% de finos bajo la malla #200 (son GM o GC)	Límite de Atterberg bajo la línea A e $IP < 4$ Límite de Atterberg sobre la línea A e $IP > 7$	Límites de Atterberg sobre la línea A e IP entre 4 y 7 son casos intermedios: GM-GC	Contiene finos no plásticos o de baja plasticidad.
		GM				
		GC				Contiene finos plásticos.
			Areñas limpias con menos de un 5% de finos bajo la malla #200 (son SW o SP)	$C_u = D_{60}/D_{10} > 6$ $C_c = (D_{30})^2/(D_{60} D_{10})$ entre 1 y 3		Amplio rango de tamaño de granos con cantidades sustanciales de partículas intermedias.
		SW				
		SP	Areñas mal graduadas, arenas gravosas con poco fino o sin fino	No cumple con alguno de los requerimientos indicados arriba		Predomina un tamaño o falta un tamaño intermedio.
			Areñas que tienen entre un 5% y un 12% de finos bajo la malla #200 son casos intermedios: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC			
SUELOS FINOS Más de la mitad del material pasa la malla #200	Limos y arcillas de baja compresibilidad con Límite Líquido < 50		Areñas limpias o mezcla arenalimo que puede ser bien o mal graduada	Límite de Atterberg bajo la línea A e $IP < 4$ Límite de Atterberg sobre la línea A e $IP > 7$	Límites de Atterberg sobre la línea A e IP entre 4 y 7 son casos intermedios: SM-SC	Contiene finos no plásticos o de baja plasticidad.
		SM				
		SC	Areñas arcillosas o mezcla arenararcilla que puede ser bien o mal graduada			Contiene finos plásticos.
	Limos y arcillas de alta compresibilidad con Límite Líquido > 50		Limos inorgánicos, limos arcillosos, polvo de roca, arenas muy finas y limosas	Límite de Atterberg bajo la línea A e $IP < 4$ Límite de Atterberg sobre la línea A e $IP > 7$	Límites de Atterberg sobre la línea A e IP entre 4 y 7 son casos intermedios: CL-ML	
		ML				
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, arcillas limosas, arcillosas o gravosas			
		OL	Limos orgánicos y limo-arcilla de baja a mediana plasticidad	Límite de Atterberg bajo la línea A		Baja
Sueños orgánicos muy compresibles			Limos inorgánicos, limos arcillosos, limos elásticos arcillosos o distarcillosos	Límite de Atterberg bajo la línea A		Baja a media
		MH				
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad	Límite de Atterberg sobre la línea A		Alta
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media o alta	Límite de Atterberg bajo la línea A		Baja a media
		PI	Tubos, suelos cenagosos muy orgánicos	Alta pérdida por combustión, LL e IP decrecen al secar el suelo		Color y olor orgánicos, textura fibrosa o esponjosa

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**



Fuente: NTP 339.134

2.2.7.2. Clasificación de suelos según el método AASHTO

El sistema AASHTO se utiliza principalmente para la clasificación de las capas del pavimento de una carretera.

El sistema de clasificación de la AASHTO, los divide en ocho grupos principales, A-1 a A-8 en función de su granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. Las cuales se detallan A continuación.

Suelos de grano grueso: A-1, A-2, A-3.

Suelos de grano fino: A-4, A-5, A-6, A-7.

La turba, el fango y otros suelos altamente orgánicos: A-8.

Según el tamaño de las partículas de los suelos, se clasifican de la siguiente forma:

Grava: 75mm a 2mm

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Arena: 2mm a 0.05mm

Limos: 0.05mm a 0.002mm

Arcillas: < 0.002mm

En la siguiente tabla se muestran los siete grupos es decir de la A-1 hasta la A-2.

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Tabla 3 clasificación de suelos - Método AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35 % o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales Limoso arcilloso (más del 35 % pasa el tamiz N° 200)				
GRUPO	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6					A-2-7	
SUB-GRUPO												
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0.425mm) N° 200 (0.075 mm)	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	30 máx.	50 máx.	51 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	
	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.			50 máx.					
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Limite Líquido Índice de Plasticidad	-		-				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.	
	6 máx.	NP (1)		10 máx.	10 máx.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.		
Constituyentes Principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos Limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a Bueno							Pobre o malo				
* * A – 7 – 5 : IP ≤ (LI – 30)				** A – 7 – 6 : IP > (LI – 30)								

Fuente: Manual de ensayo de materiales (M.T.C, 2016)

2.2.8. Clasificación de las rocas

Las rocas se clasifican en rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.

2.2.8.1. Rocas Ígneas

Se originan a partir de la solidificación del magma o lava.

Tipos:

- **Intrusivas o Plutónicas:** Se forman cuando el magma se enfría lentamente bajo la superficie terrestre, lo que permite la formación de cristales grandes. Ejemplo: diorita, gabro, granito.
- **Extrusivas o volcánicas:** Se forman cuando el magma se enfría rápidamente en la superficie terrestre, resultando en cristales más pequeños. Ejemplo: andesita, basalto, obsidiana.

2.2.8.2. Rocas Sedimentarias

Se originan por la acumulación y cementación de sedimentos (fragmentos de rocas preexistentes, restos de organismos, minerales, etc.)

Tipos:

- **Clásticas:** “se forman de fragmentos de otras rocas. como la arenisca, lutita, conglomerado” (González, 2002).
- **químicas:** “Resultan de la precipitación de minerales disueltos en agua, como la caliza, yeso, halita” (González, 2002).
- **orgánicas:** “Se forman por la acumulación de restos de organismos. como el carbón o la piedra caliza de origen biológico” (González, 2002).

2.2.8.3. Rocas Metamórficas

Se originan a partir de la transformación de rocas preexistentes (ígneas, sedimentarias, incluso metamórficas) debido a cambios en temperatura, presión o actividad química.

Tipos:

- **Foliadas:** Tienen una estructura laminada o estratificada, resultado de la presión dirigida. Así como: esquisto, gneis, pizarra.
- **No foliadas:** No presentan una estructura laminada y su formación es más homogénea. Así como: cuarcita, mármol.

2.2.9. Redes viales

Se denomina red vial al conjunto de infraestructura terrestre diseñada para facilitar el desplazamiento de vehículos y personas. Incluye una variedad de vías, desde caminos rurales hasta autopistas de alta velocidad, y se complementan con elementos como puentes, túneles, señalización y sistemas de iluminación. Y se clasifican de la siguiente manera.

Red vial nacional: Son las carreteras de interés nacional, está compuesto por tres ejes longitudinales (que recorren el país de norte a sur) y 20 ejes transversales.

Red vial departamental o regional: Son las carreteras circunscritas a un solo departamento o región.

Red vial vecinal o rural: Las carreteras vecinales o rurales cumplieron la función de articular las capitales de provincia y de distrito con los centros poblados y zonas de influencia local, conectándolas a su vez con las redes nacionales y departamentales.

2.2.10. Clasificación de caminos por superficie de rodadura

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) clasificó las carreteras en dos categorías: caminos no pavimentados y caminos pavimentados.

2.2.10.1. Caminos con superficie de rodadura no pavimentada

- Caminos de tierra
- Caminos de Gravas
- Caminos afirmados
- Caminos afirmados con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales

2.2.10.2. Caminos pavimentados

- **Pavimentos flexibles:** “Está compuesto por capas granulares (subbase y base drenante) y una superficie de rodadura bituminosa de mezcla asfáltica” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).
- **Pavimentos semirrígidos:** “Esta Conformado con capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente); también es un pavimento semirrígido, cuando la estructura está compuesta por carpeta asfáltica en caliente sobre la base tratada con cemento o base tratada con cal” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).
- **Pavimentos rígidos:** “está conformado por losa de concreto y una subbase granular” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.2.11. Tráfico vehicular

El conocimiento de la demanda del tráfico constituyó un aspecto fundamental para el ingeniero, quien debió determinarlo con suficiente precisión a fin de planificar y diseñar adecuadamente los elementos de la vialidad, entre ellos el pavimento y la plataforma del camino.

En ese sentido, el estudio de tráfico proporcionó la información correspondiente al Índice Medio Diario Anual (IMDA) para cada tramo vial materia de análisis (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.2.11.1. Clasificación de carreteras según demanda vehicular

El diseño de pavimentos requirió conocer la cantidad de vehículos que circularon por día, semana, mes y a lo largo del año. Esta cuantificación se expresó mediante los ESALS, indicador que representó el volumen vehicular en tiempo real junto con las cargas transmitidas por los neumáticos, proyectadas hacia la vida útil del pavimento. Dicha clasificación se determinó en función del Índice Medio Diario Anual (IMDA) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Autopistas de primera clase

- IMDA > 6000 veh/día.
- Calzadas divididas por un separador central de al menos 6m.
- Cada calzada presenta dos o más carriles de 3.6m de ancho como mínimo.
- Superficie de rodadura debe ser pavimentada.

Autopistas de segunda clase

- 4001 veh/día < IMDA < 6000 veh/día.
- Calzadas divididas por un separador central de 1m hasta 6m.
- Cada calzada presenta dos o más carriles de 3.6m de ancho como mínimo.
- Superficie de rodadura debe ser pavimentada.

Carreteras de primera clase

- 2001 veh/día < IMDA < 4000 veh/día.
- Una calzada de dos carriles de 3.6m de ancho como mínimo.
- Superficie de rodadura debe ser pavimentada.

Carreteras de segunda clase

- 400 veh/día < IMDA < 2000 veh/día.
- Una calzada de dos carriles de 3.30m de ancho como mínimo.
- Superficie de rodadura debe ser pavimentada.

Carreteras de tercera clase

- IMDA < 400 veh/día,
- Calzada de dos carriles de 3m de ancho como mínimo. excepcionalmente hasta 2.5m,
- Las carreteras de bajo volumen de tránsito admitieron soluciones básicas o económicas en su superficie de rodadura, entre las que figuraron la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y micropavimentos, así como superficies en afirmado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Trochas carrozables

- IMDA < 200 veh/día.
- Calzadas de carriles de 4m de ancho como mínimo.
- Superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar.

2.2.12. Parámetros de Resistencia al corte

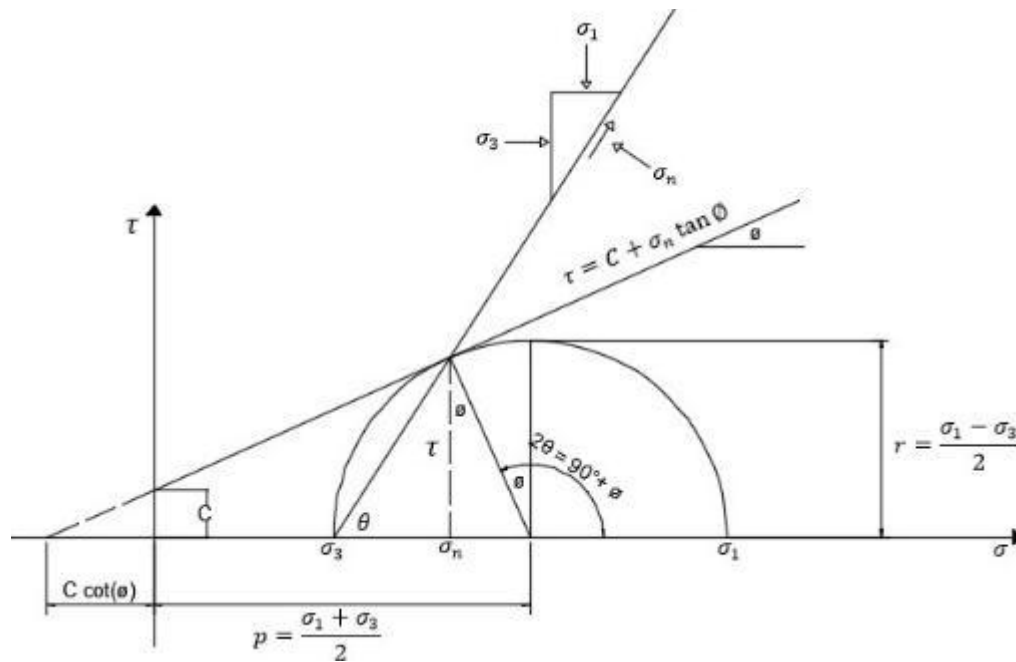
La resistencia al corte del suelo es una propiedad fundamental en la mecánica de suelos, ya que determina la capacidad del suelo para resistir fuerzas tangenciales o de cizallamiento. Es un parámetro crucial en el diseño de cimientos, taludes, excavaciones y otras estructuras geotécnicas.

Los parámetros que influyen en la resistencia al corte del suelo son: La cohesión y el ángulo de fricción. Y son determinados en laboratorio mediante ensayos de corte directo o prueba triaxial. Estos parámetros se determinan con el criterio de Mohr-Coulomb.

2.2.12.1. Cohesión

Es la fuerza de atracción entre las partículas del suelo. Representa la resistencia al corte que el suelo posee, incluso sin presión normal. En suelos cohesivos (como limos y arcillas), la cohesión es un componente significativo de la resistencia al corte. La cohesión se representa con la letra “C”. En suelos granulares o suelos no cohesivos la cohesión es $C=0$.

Figura 8 Criterio de Mohr-Coulomb.



2.2.12.2. Angulo de fricción interna

Es el ángulo que representa la resistencia al corte debido a la fricción entre las partículas del suelo. En suelos no cohesivos (como las arenas), la fricción interna es el componente principal de la resistencia al corte. A continuaciones se menciona algunos valores de Angulo de fricción en diferentes tipos de suelos.

2.2.13. Técnicas de Exploración

Las para la obtención de toda información es necesario realizar dos tipos de exploración. Directos e indirectos.

- Directos o invasivos
- Indirectos o no invasivos

2.2.13.1. Ensayos Directos

O invasivos. Son aquellos que para el análisis in situ o en laboratorio necesitan de excavaciones, calicatas o sondeos para la toma de muestra. Y también entre estos se encuentra los ensayos geotécnicos.

A. Estudios de campo

Calicatas

Las calicatas son excavaciones o sondeos realizados en el suelo para estudiar sus características y obtener información sobre la composición, estructura y propiedades del terreno. Se realizan para obtener muestras de suelo, determinar la estratigrafía (la disposición de las capas de suelo), identificar el nivel freático y evaluar la capacidad portante del suelo.

Densidad de campo

La densidad de campo es un término utilizado y en ingeniería civil para describir la densidad de un suelo o material en su estado natural, es decir, sin que haya sido compactado o alterado artificialmente. Se utiliza el método de cono de arena NTP 339.144.

Cálculo de la densidad húmeda del suelo:

$$\gamma_h = \frac{m_0 - m_f - m_c}{V}$$

γ_h =densidad húmeda

m_0 = peso del frasco más la arena inicialmente

m_f = peso del frasco más la arena final

m_c = peso de la arena del cono

V = volumen del agujero

ρ_a = densidad de la arena

$$V = \frac{m_0 - m_f - m_c}{\rho_a}$$

Cálculo de la densidad seca del suelo:

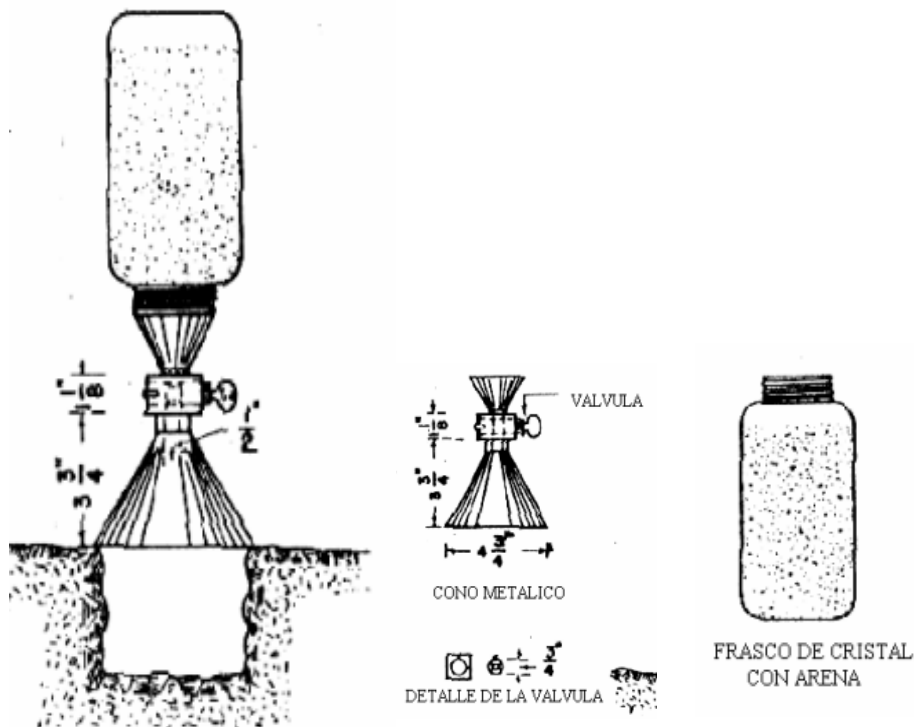
$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + w}$$

γ_d = densidad seca

γ_h = densidad húmeda

w = contenido de agua

Figura 9 Aparato de densidad de cono de arena



Fuente: Geotecniafacil.com

Ensayo de penetración dinámica ligera

El Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL, por sus siglas en inglés Dynamic Probing Light) constituyó una prueba geotécnica in situ que permitió evaluar la resistencia a la penetración y la densidad relativa de los suelos. El ensayo consistió en hincar una varilla con punta cónica

mediante golpes de un martillo de peso conocido, registrando el número de golpes requeridos para alcanzar una penetración determinada (International Organization for Standardization, 2014).

En resumen, el Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL) es una herramienta eficaz y accesible para obtener información sobre la resistencia de los suelos y obtener los valores de cohesión y ángulo de fricción interna.

24

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Tabla 4 Datos técnicos del equipo DPL

Características del Equipo	Factor	
		DPL
Características del Martillo	Peso del martillo, Kg	10±0.1
	Altura de caída, m	0.5±0.01
	Masa de guía y yunque (máx.), Kg	6
	Rebote (máx.), %	50
	Relación Largo a Diámetro (D) del martillo	1 ≤ ≤2
	Diámetro del yunque (d), mm	100<d<0.5D
Características de la Varilla	Longitud de la varilla, m	1±0.1%
	Masa máxima de la varilla, Kg/m	3
	Desviación máxima de la varilla en los primeros 5 m, %	0.1
	Desviación máxima de la varilla debajo de los 5 m, %	0.2
	Excentricidad de la varilla (máx.), mm	0.2
	Diámetro exterior de la varilla, mm	22±0.2
	Diámetro interior de la varilla, mm	6±0.2
Características del Cono	Angulo del cono, grados	90
	Área nominal del cono, cm ²	10
	Diámetro del cono nuevo, mm	35.7±0.3
	Diámetro del cono gastado, mm	34
	Longitud tramo recto del cono, mm	35.7±1
	Angulo de la parte inclinada del cono, grados	11
	Longitud de la punta del cono, mm	17.9±0.1
	Desgaste máx. de la longitud de la punta del cono, mm	3
Penetración	Número de golpes por cm. de penetración	10 cm.; N ₁₀
	Rango estándar del N° de golpes	3 – 50
Energía por golpe	Trabajo específico por golpe, MgH/A kJ/m ² .	50

Fuente: Atala, 2011

Sondeos Manuales – Posteadora

Los sondeos manuales, y en particular el método de la posteadora, son técnicas de exploración geotécnica, utilizadas para obtener información preliminar sobre las características del suelo en profundidades superficiales. Se utilizan principalmente para obtener muestras de suelo, determinar la estratigrafía (la secuencia de capas del suelo) y evaluar la presencia de agua subterránea a profundidades superficiales.

La posteadora es una herramienta manual de perforación que consiste en una barrena helicoidal o una cuchara de perforación acoplada a una serie de varillas. Se utiliza para excavar agujeros de pequeño diámetro en el suelo, permitiendo la extracción de muestras de suelo a diferentes profundidades, es una herramienta versátil que se puede utilizar en una variedad de tipos de suelo, aunque es más efectiva en suelos blandos o sueltos.

De cada porción de suelo que se extraiga con la posteadora se determinara su clasificación y se elaborara un perfil estratigráfico indicándose espesores de cada estrato.

B. Ensayos de Laboratorio

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realiza para conocer el tamaño y la distribución de las partículas que componen una muestra de suelo. Este análisis permite clasificar el suelo y entender sus características. Consiste en separar las partículas de la muestra en diferentes rangos de tamaño mediante una serie de tamices con aberturas de malla progresivamente menores. NTP 339.128.

Ahora veamos los diferentes tipos de suelo con su respectivo tamaño de las partículas, los cuales son importante conocer, para su respectiva clasificación.

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Tabla 5 Tipo de suelo y tamaño de granos

Tipo de suelo	Tamaño de las partículas
Gravas	75 mm – 4.75 mm
Arenas	Arena Gruesa: 4.75mm – 2.00 mm Arena Media: 2.00mm – 0.425 mm Arena Fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo: 0.075 mm – 0.005mm Arcilla: menor a 0.005mm

Fuente: M.T.C., 2014

A continuación, se muestra el tamaño y diámetro de la abertura cuadrada de cada tamiz.

Tabla 6 Tamaño de tamices del análisis granulométrico

TAMIZ	ABERTURA (mm)
2"	50
1 ½"	37.5
1"	25
¾"	19
3/8"	9.5
Nº4	4.75
Nº10	2
Nº20	0.85
Nº40	0.424
Nº60	0.25
Nº100	0.15
Nº200	0.075

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales

El análisis granulométrico se lleva a cabo siguiendo estos pasos:

- Se toma una muestra representativa del suelo que será analizado.
- Lavado de la muestra para liberar finos en la malla Nº 200
- Tamizado, la muestra se pasa a través de una serie de tamices dispuestos en orden decreciente de abertura de malla.
- Pesado de las fracciones, Se pesa la cantidad de material retenido en cada tamiz.
- Se calcula el porcentaje del peso total de la muestra que pasa a través de cada tamiz.
- Se elabora una curva granulométrica: un gráfico que muestra la relación entre el tamaño de las partículas (en el eje horizontal) y el porcentaje acumulado de material

que pasa por cada tamiz (en el eje vertical). Este gráfico permite visualizar cómo se distribuye el material de acuerdo con su tamaño.

- Determinar el coeficiente de curvatura y el coeficiente de uniformidad de las muestras.
- Clasificar el suelo con los datos obtenidos de granulometría y los datos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

El porcentaje retenido y el porcentaje que pasa de la muestra se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

El coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura se determina mediante la siguiente expresión.

Coeficiente de Uniformidad

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Coeficiente de Curvatura

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Límites de consistencia

Los límites de consistencia, también conocidos como límites de Atterberg, constituyeron medidas de humedad de los suelos cohesivos que determinaron su comportamiento y estado de consistencia. Terzaghi et al (1996) identificaron tres límites de consistencia: el límite plástico, el límite líquido y el límite de contracción.

- **Límite Plástico (LP):** El límite plástico representó el contenido de agua en el que el suelo pasó del estado semisólido al estado plástico. Su determinación requirió que la muestra pasara el tamiz N° 40, y se obtuvo mediante el ensayo de enrollamiento de hilos de 3 mm de diámetro, hasta que estos se rompieron o comenzaron a agrietarse (Terzaghi et al., 1996).

$$LP = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco del suelo}} * 100$$

- **Límite Líquido (LL):** El límite líquido representó el contenido de agua en el que el suelo pasó del estado plástico al estado líquido. Su determinación se realizó mediante el ensayo de la cuchara de Casagrande, en el cual una muestra de suelo se sometió a golpes controlados en el dispositivo hasta identificar el nivel de humedad en el que el suelo transitó de un estado pastoso a uno fluido (Terzaghi et al, 1996).

El límite líquido del suelo se determina en función del número de golpes y el contenido de humedad del suelo.

$$LL = W_N * \left(\frac{N}{25}\right)^{tan\beta}$$

LL= límite líquido

W_N = contenido de humedad

N = número de golpes

$tan\beta$ = pendiente de la línea de flujo (0.121)

- **Índice de Plasticidad (IP):** El índice de plasticidad se calculó como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, y proporcionó información sobre el rango de contenido de agua en el cual el suelo mantuvo un comportamiento plástico (Terzaghi et al., 1996).

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

IP= Limite Líquido-Limite Plástico.

A continuación, se muestra una tabla de plasticidad de suelos.

Tabla 7 Plasticidad de los suelos

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
$7 < IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$7 < IP$	Baja	Suelo poco arcillosos
IP = 0	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Sección Suelos y Pavimentos - (M.T.C., 2014)

Humedad

La humedad es la cantidad de agua que se encuentra en un suelo, expresada como un porcentaje del peso del material seco, influye en muchas propiedades del suelo, como su cohesión, resistencia a la compresión y permeabilidad.

El contenido de humedad se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$w\% = \left(\frac{W - D}{D} \right) * 100$$

w%= Contenido de humedad (%)

W= peso inicial de la muestra (g)

D= peso de la muestra seca (g)

Peso específico de sólidos

El peso específico (γ) se define como el peso del material por unidad de volumen.

La muestra a pesar debe pasar por el tamiz N°4. Matemáticamente, se expresa de la siguiente manera. (ASTM D854 – 58).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_s}{\frac{W_0 + W_s - W_f}{\gamma_w}}$$

W_s = Peso del sólido seco

W_0 = Peso inicial del picnómetro con agua (g)-hasta la marca

W_f = Peso final de la mezcla (Picnómetro con agua y el suelo) (g)-hasta la marca

γ_w = Peso específico del agua

Nota:

Durante el ensayo en laboratorio para la obtención del peso específico se tiene que tener en cuenta que, el agua debe ser desairado por medio de una bomba de vacío al igual que la mezcla de agua con suelo.

Corte directo

El ensayo de corte directo constituyó una prueba de laboratorio que midió la resistencia al corte de un suelo. Este ensayo resultó fundamental en los estudios geotécnicos, dado que permitió determinar la capacidad del suelo para resistir esfuerzos de corte bajo condiciones de carga normal (Das, 2014).

El objetivo principal del ensayo es determinar las propiedades de resistencia al corte de un suelo, de la ley de Coulomb se desprende dos componentes específicamente la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ).

En la ecuación existen dos cantidades desconocidas (c y ϕ), por ende, es necesario conocer el esfuerzo normal y esfuerzo tangencial para determinar dichos valores.

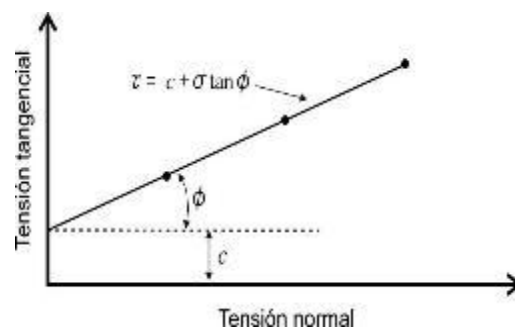
$$\tau = c + \sigma_n * \tan (\phi)$$

τ = Esfuerzo tangencial

c = Cohesión

σ_n = Esfuerzo normal

ϕ = Angulo de fricción interna



Ensayo de carga puntual

El ensayo de carga puntual que nos permite determinar aproximadamente la resistencia a la compresión simple, consiste en aplicar una carga creciente a una muestra de roca entre dos puntas cónicas de acero endurecido, hasta que la muestra se fractura. La carga aplicada y la

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

distancia entre las puntas se registran para calcular el índice de resistencia a la carga puntual (I_s).

Las ventajas de este ensayo es que se pueden usar en muestras de rocas irregulares.

El índice de carga puntual sin corrección se calcula de la siguiente manera:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \text{ (MPa)}$$

Donde:

P = carga de falla (N)

D_e = diámetro del núcleo equivalente = D (para muestras diametrales)

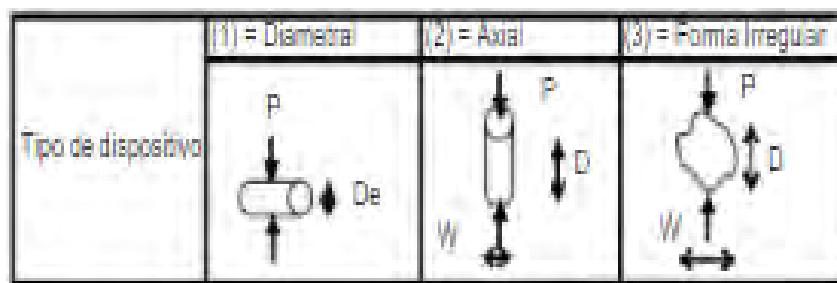
$$D_e^2 = D^2 \text{ para muestra diametrales cm}$$

$$D_e^2 = \frac{4A}{\pi} \text{ para muestras irregulares cm}^2, \text{ Donde:}$$

$A = WD$ = área de la sección transversal mínima

Ya que la presión se realiza a través de puntas cónicas, es necesario realizar una corrección, el cual es: $q_u = I_s (50) * 24$.

Figura 11 Tipos de dispositivo de muestra



Fuente: Ingeniería Geológica de Luis I González Vallejo. 2002.

A continuación, se muestra la clasificación de rocas de acuerdo a su resistencia a la compresión uniaxial.

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Tabla 8 Clasificación de rocas según su resistencia a la compresión uniaxial

Resistencia (Mpa)	Clasificación
> 250	Extremadamente alta
100 – 250	Muy alta
50 – 100	Alta
25 – 50	Media
5 – 25	Baja
1 – 5	Muy baja
0.25 - 1	Extremadamente baja

Fuente: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Brown, 1981)

2.2.13.2. Ensayos Indirectos

O no invasivos. Son aquellos métodos que se aplican sin necesidad de modificar la estructura del suelo y los estudios se realizan in situ, entre estos tenemos a los métodos geofísicos. Estos métodos aprovechan las propiedades de los materiales, como densidad y resistividad eléctrica, para indicar cambios en las condiciones del suelo. Antes de realizar el estudio de los ensayos geofísicos de refracción sísmica es necesario conocer lo que es una onda sísmica y los diferentes tipos de onda.

Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas constituyeron vibraciones que se propagaron a través de la tierra como consecuencia de la liberación repentina de energía, originada generalmente por movimientos tectónicos o erupciones volcánicas. Estas ondas generaron los terremotos y viajaron a través de la Tierra adoptando distintas formas, por lo que Kramer (1996) las clasificó en dos grupos principales:

Ondas internas

- ✓ Ondas Primarias (ondas P)
- ✓ Ondas Secundarias (ondas S)

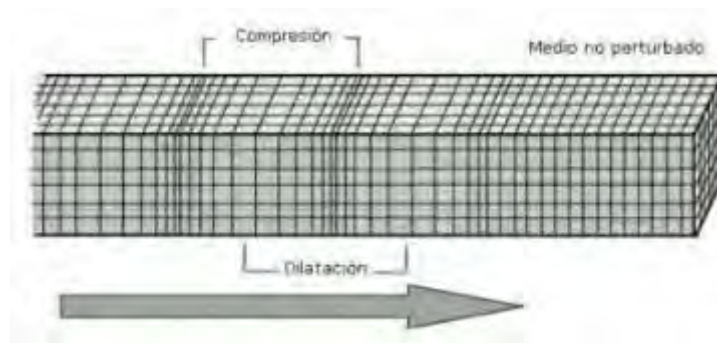
Ondas superficiales

- ✓ Ondas Love (ondas L)
- ✓ Ondas Rayleigh (ondas R)

a. Ondas Primarias

- Son ondas de compresión y expansión que se propagan a través de sólidos, líquidos y gases.
- El movimiento de las partículas en estas ondas es en la misma dirección de la propagación de la onda (longitudinal).
- Son las más rápidas y las primeras en llegar a los sismógrafos.

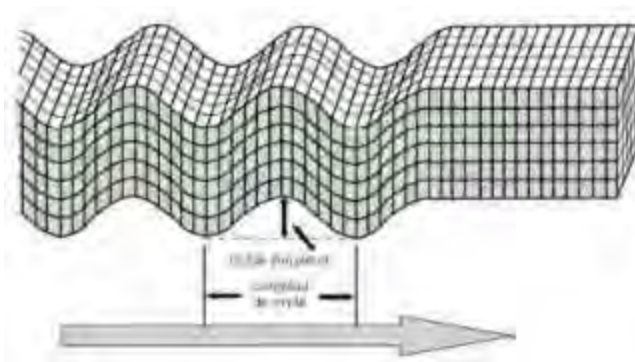
Figura 12 Propagación de ondas longitudinales P.



b. Ondas Secundarias

- Son ondas de corte el movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda (transversal).
- Son más lentas que las ondas P, pero causan más daño debido a su mayor amplitud.
- Solo se propagan a través de sólidos (no líquidos ni gases).

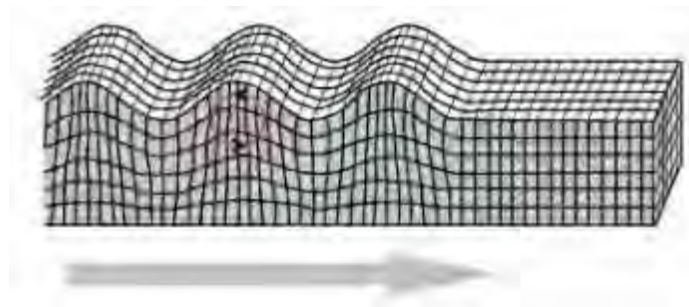
Figura 13 Propagación de ondas transversales (S)



c. Ondas Rayleigh (R)

Las ondas Rayleigh son ondas que se mueven por la superficie de un terreno en una elipse retrógrada vertical, similar a las ondas en el agua.

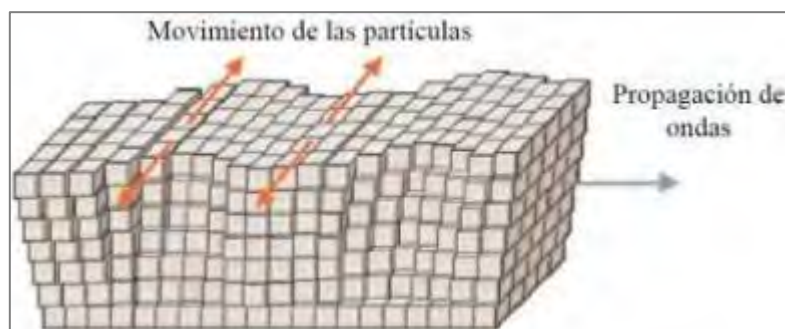
Figura 14 Movimiento de las ondas Rayleigh



d. Ondas Love (L)

Las ondas Love constituyeron ondas superficiales que provocaron cortes horizontales en la tierra. Recibieron su nombre del matemático británico Augustus Edward Hough Love, quien desarrolló su modelo matemático en 1911. Kramer (1996) señaló que la velocidad de propagación de estas ondas alcanzó aproximadamente el 90% de la velocidad de las ondas S.

Figura 15 Movimiento de las ondas Love



a. Ensayo de Refracción Sísmica

El ensayo geofísico de refracción sísmica constituyó un método que permitió determinar la estructura del subsuelo mediante el análisis de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas (Kearey et al, 2013).

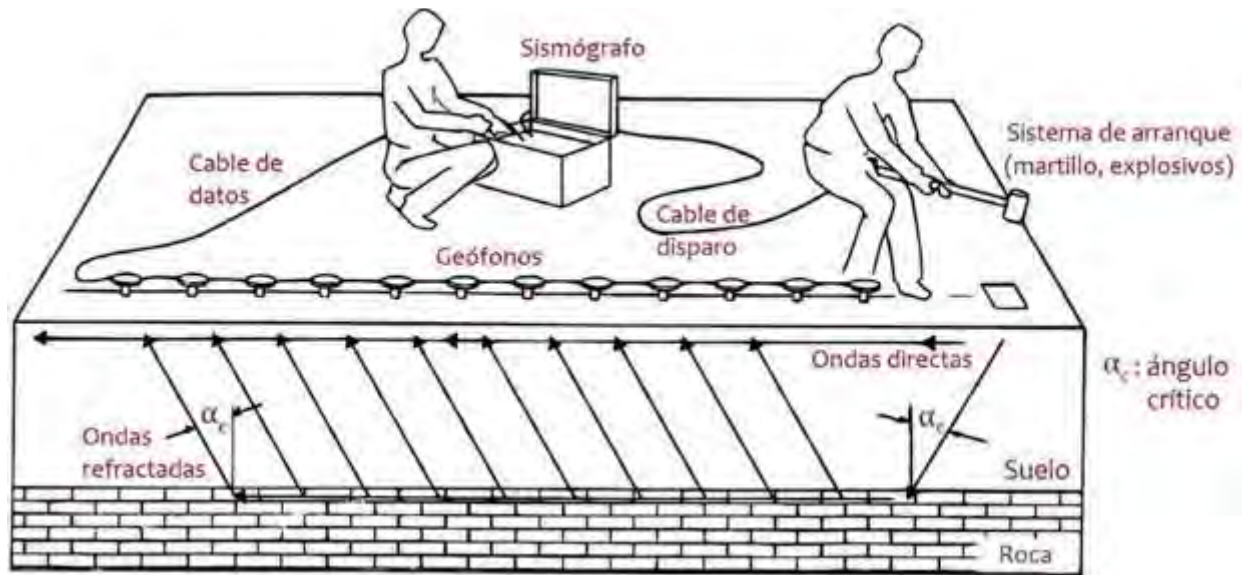
El ensayo de refracción sísmica se basa en el principio de que las ondas sísmicas se propagan a diferentes velocidades a través de diferentes materiales. Cuando una onda sísmica encuentra una interfaz entre dos materiales con diferentes velocidades de propagación, parte de la onda se refleja y parte se refracta (cambia de dirección).

El ensayo consiste en generar ondas sísmicas (ondas P) en la superficie del terreno, generalmente mediante un martillo, una explosión o un vibrador. Las ondas sísmicas se propagan a través del subsuelo y son detectadas por una serie de geófonos colocados a diferentes distancias de la fuente de energía.

El tiempo que tardan las ondas sísmicas en llegar a cada geófono se registra y se utiliza para calcular las velocidades de propagación de las ondas en las diferentes capas del subsuelo. A partir de esta información, se puede determinar la profundidad y el espesor de las diferentes capas, así como sus propiedades geotécnicas. Es importante conocer las velocidades de ondas p en suelos y rocas.

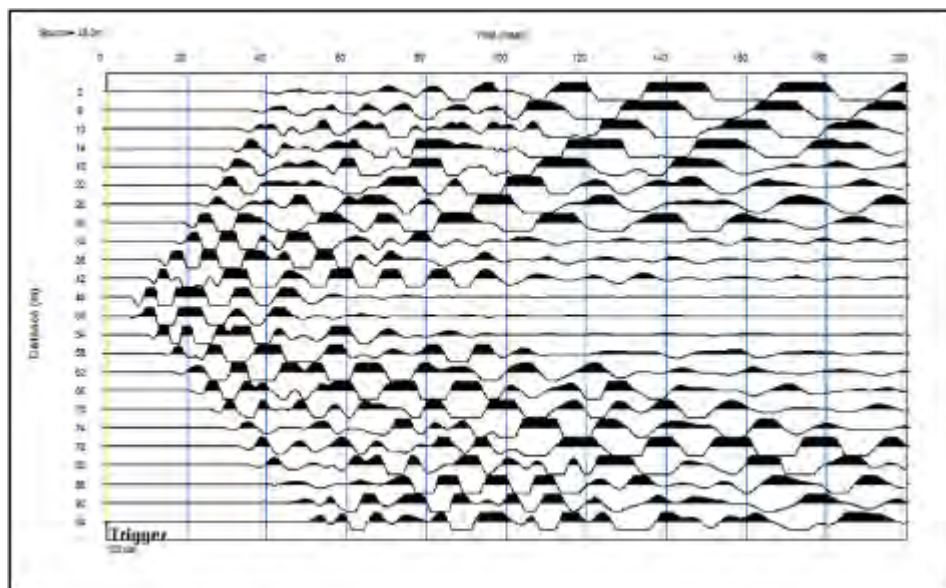
“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 16 Distribución en campo de los geófonos en el ensayo de refracción sísmica



Las vibraciones generadas por la llegada de las ondas son captadas por cada geófono, amplificadas por el sismógrafo y visualizadas en la pantalla de una laptop (Kearey et al., 2013).

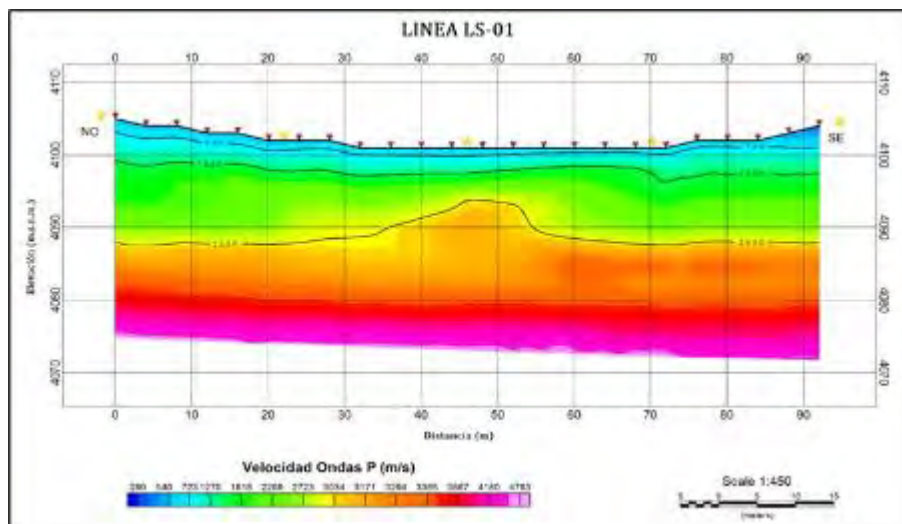
Figura 17 Llegada de ondas, el impacto se realiza al centro de la línea



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

La inversión de datos en un estudio de refracción sísmica es un proceso crucial que permite interpretar los tiempos de llegada de las ondas sísmicas registradas por los geófonos para construir un perfil del subsuelo. Este perfil describe la distribución de las velocidades sísmicas de las capas subterráneas y es fundamental para determinar la estructura y las propiedades del terreno. Esto se realiza mediante el uso de algoritmos matemáticos y modelos numéricos que simulan cómo las ondas sísmicas se propagan a través de diferentes capas.

Figura 18 Perfil invertido de Refracción Sísmica 2D - ondas P



b. Ensayo de MASW

El ensayo MASW (Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales) es una técnica no invasiva utilizada para determinar el perfil de velocidad de ondas de corte (V_s) del subsuelo. Se basa en el análisis de la dispersión de ondas superficiales, específicamente las ondas Rayleigh. Estas ondas se propagan a lo largo de la superficie del terreno y su velocidad varía en función de la rigidez del subsuelo. Al analizar cómo se dispersan estas ondas, se puede inferir el perfil de ondas de corte (V_s) con la profundidad.

El ensayo MASW, ya sea en configuraciones 1D, 2D o 3D, generalmente consta de tres pasos principales:

Adquisición de datos:

- Se generan ondas superficiales mediante una fuente de energía, como un martillo, un vibrador o una caída de peso.
- Se utilizan geófonos colocados en una línea (1D), una malla (2D) o un volumen (3D) para registrar las ondas superficiales que se propagan a través del subsuelo.
- La configuración de los geófonos y la fuente de energía varía según la dimensión del ensayo (1D, 2D o 3D) y la profundidad de investigación requerida.

Análisis de la curva de dispersión:

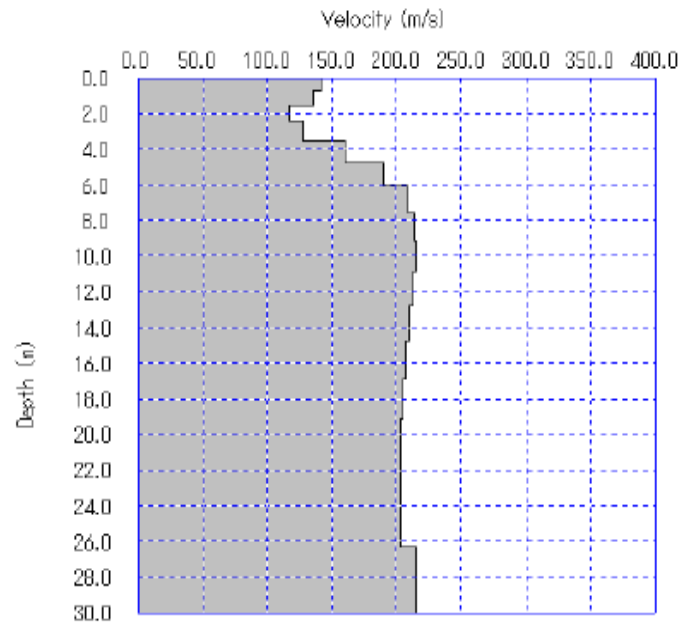
- Se procesan los datos registrados para obtener la curva de dispersión, que relaciona la velocidad de fase de las ondas Rayleigh con su frecuencia.
- La curva de dispersión representa cómo la velocidad de las ondas superficiales cambia con la frecuencia, lo que a su vez está relacionado con la rigidez del subsuelo.

Inversión de la curva de dispersión:

- Se utiliza un software especializado para invertir la curva de dispersión y obtener el perfil de ondas de corte (V_s) con la profundidad.
- La inversión es un proceso iterativo que ajusta un modelo del subsuelo hasta que la curva de dispersión calculada coincide con la curva de dispersión medida.
- El resultado final es un perfil de velocidades de onda de corte (V_s) en función de la profundidad, que proporciona información sobre la rigidez del subsuelo.

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 19 Perfil unidimensional de ondas de corte (Vs) - MASW



Ahora se muestran los siguientes cuadros indicando las características de los suelos mediante la obtención de ondas de corte (V_s).

Tabla 9 Clasificación de suelos según International Building Code

Tipo	V_s (m/s)	Descripción
A	$V_s < 1500$	Roca Dura
B	$760 < V_s < 1500$	Roca
C	$360 < V_s < 760$	Roca Blanda y/o Suelo muy Denso
D	$180 < V_s < 360$	Suelo Rígido
E	$V_s < 180$	Suelo Blando
F	Suelos Especiales (licuables, colapsables, arcillas plásticas, suelos orgánicos)	

Tabla 10 Clasificación de suelos según Norma E.030

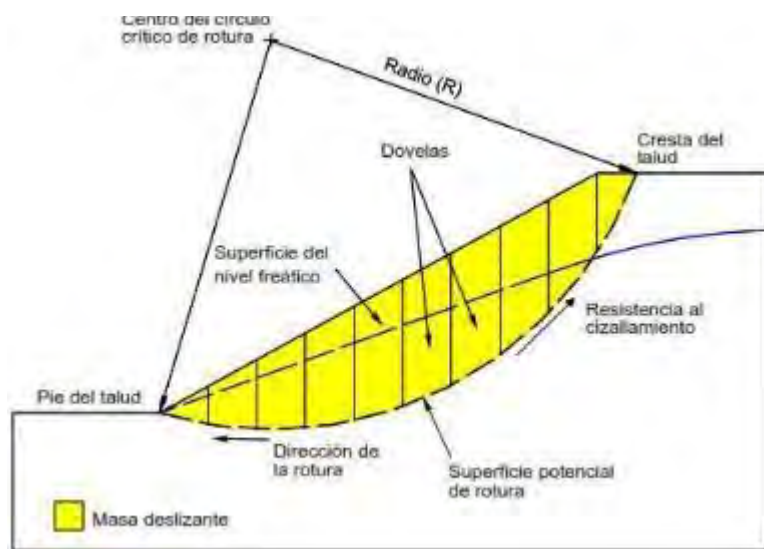
Perfil	V_s	Descripción
S_0	>1500 m/s	Roca Dura
S_1	500 a 1500 m/s	Roca o Suelos muy Rígidos
S_2	180 a 500 m/s	Suelos Intermedios
S_3	<180 m/s	Suelos Blandos
S_4	Otros casos. Clasificación basada en el EMS	

2.2.1.4. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes

2.2.14.1. Métodos de equilibrio límite

Los métodos de equilibrio límite parten del supuesto de que el talud se encuentra próximo al estado de inestabilidad, por lo que analizan las fuerzas y momentos actuantes ante un posible deslizamiento. Su objetivo consiste en determinar el factor de seguridad (FS), entendido como la relación entre las fuerzas estabilizadoras y las fuerzas desestabilizadoras del talud (Duncan et al., 2014).

Figura 20 Análisis de la estabilidad de un talud.

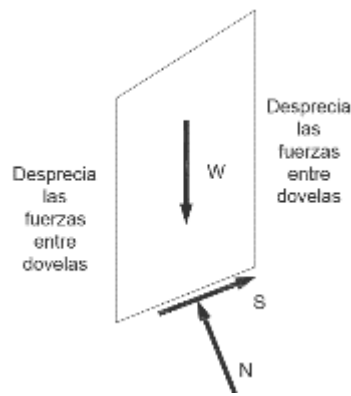


a. Método de círculo de deslizamiento (Círculo de Fellenius)

Divide la masa de suelo en dovelas verticales y calcula el equilibrio de fuerzas para cada dovela. Es adecuado para taludes con superficies de falla circulares y suelos homogéneos. La condición de equilibrio se determina con la sumatoria de momentos.

$$F.S = \frac{\sum \text{Momentos resistentes disponibles}}{\sum \text{Momentos actuantes}}$$

Figura 21 Método Fellenius

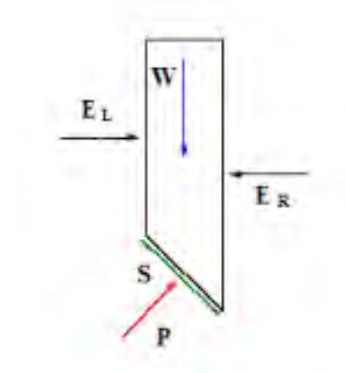


b. Método de Bishop (Mejorado)

Es una mejora del método de Fellenius, Considera las fuerzas normales entre las dovelas, lo que lo hace más preciso, También asume una superficie de deslizamiento circular.

$$F.S = \frac{\sum \text{Momentos resistentes disponibles}}{\sum \text{Momentos actuantes}}$$

Figura 22. Método Bishop

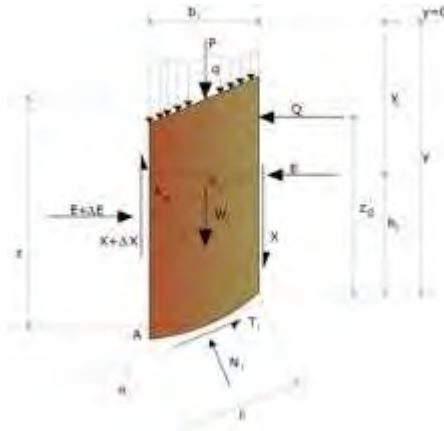


c. Método de Janbu

Es un método general que puede utilizarse para superficies de deslizamiento no circulares, divide la masa de suelo en dovelas verticales y calcula el equilibrio de fuerzas para cada dovela. Es adecuado para taludes con superficie de falla compleja. El factor de seguridad se determina con el equilibrio de fuerzas.

$$F.S = \frac{\sum \text{Resistencias disponibles al cortante}}{\sum \text{Esfuerzos al cortante}}$$

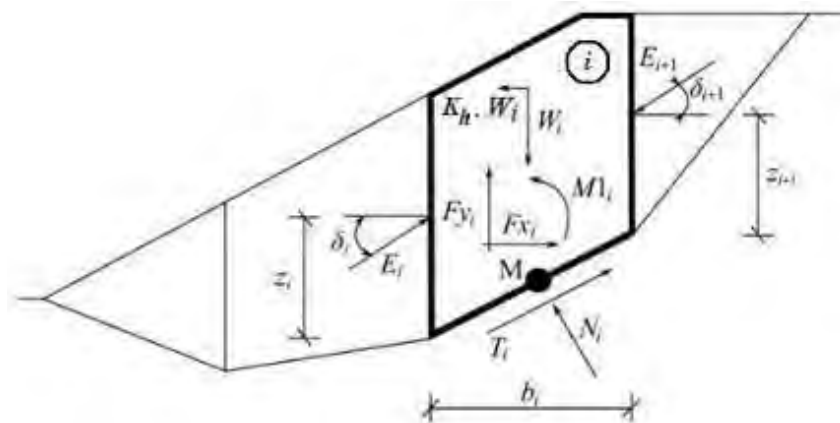
Figura 23 Método Janbu Simplificado



d. Método Spencer

El método de Morgenstern y Price (1965) se aplicó para cualquier superficie de rotura, en el cual las fuerzas de unión en las superficies de división de cada rebanada se orientaron de manera paralela entre sí e inclinadas respecto a la horizontal. Este método consideró nulos todos los momentos y tomó en cuenta tanto el equilibrio de momentos como el de fuerzas.

Figura 24 Método Spencer



e. Método Morgenstern-Price

Este es un método más general que puede aplicarse a taludes con geometría y condiciones de suelo más complejas. Considera la distribución de la resistencia a lo largo superior de falla no circular. Este método es especialmente útil cuando se trata de suelos heterogéneos o taludes de geometría irregular. Es similar al de Spencer. Se calcula el equilibrio límite de las fuerzas y momento de los bloques individuales. El gráfico de éste método es similar al del método Spencer.

2.2.14.2. Métodos numéricos

Estos métodos utilizan programas de computadora para simular el comportamiento tenso-deformacional de los taludes y calcular su estabilidad.

a. Método de Elementos Finitos (FEM):

- Divide el talud en pequeños elementos y calcula la deformación y el esfuerzo en cada elemento.
- Permite modelar taludes con geometrías complejas y suelos no homogéneos. También se pueden incluir condiciones de drenaje y modelar las tensiones y deformaciones de manera más precisa.

- Es adecuado para análisis detallados y estudios de casos complejos.

b. Método de Diferencias Finitas (FDM):

- Similar al FEM, pero utiliza una malla de puntos en lugar de elementos.
- También permite modelar taludes con geometrías complejas y suelos no homogéneos.
- Es adecuado para análisis dinámicos y estudios de casos complejos.

❖ Factor de seguridad

El Factor de Seguridad (FS) es una relación cuantitativa que expresa la capacidad de un talud para soportar las fuerzas desestabilizadoras sin que se produzca una falla.

Fuerzas actuantes:

Fuerzas resistentes: Corresponden a la resistencia al corte del material y otras fuerzas pasivas que se oponen al movimiento.

Fuerzas desestabilizadoras (o actuantes): Incluyen el peso del propio material, cargas externas, la presión del agua, y las fuerzas sísmicas que impulsan el deslizamiento.

Interpretación del resultado:

$FS > 1.5$: El talud es estable, ya que las fuerzas resistentes superan a las fuerzas desestabilizadoras. Cuanto mayor sea el valor, mayor será el margen de seguridad.

$FS = 1.5$: El talud está en un estado de equilibrio límite, es decir, al borde de la falla.

$FS < 1.5$: El talud es inestable y es probable que ocurra una falla o deslizamiento.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Formulación de hipótesis de investigación

3.1.1. Hipótesis general

H.G. los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi son inestables.

3.1.2. Hipótesis específicas

H.1. La resistencia al corte en la superficie de falla del talud es menor a la fuerza ejercida por la masa del suelo. Es decir, el factor de seguridad al deslizamiento resulta menor a 1.5

H.2. La acción de las cargas vehiculares y el peso del suelo en los muros inca influyen en la estabilidad del talud en el acceso al parque arqueológico de Raqchi.

H.3. La acción individual y en conjunto de los tres andenes influye en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.

H.4. La acción sísmica reduce la resistencia al esfuerzo cortante en los suelos, comprometiendo la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.

H.5. La técnica de columna de grava aumenta la resistencia al corte, la rigidez, la capacidad portante del suelo, mejorando la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.

3.2. Identificación de variables

3.2.1. Variable independiente

Los muros inca

3.2.2. variable dependiente

Análisis de estabilidad de los muros inca.

3.3. Operación de variables

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Tabla 11 Operacionalización de Variables

	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Independientes	Características de los muros y suelo	Propiedades de los suelos	Propiedades físicas, mecánicas y químicas.
		Estructura de los muros	Antisísmicos
	Factores externos	Estudios hidrológicos	Evacuación de aguas pluviales
		Estudios litológicos	Litología de la cimentación
	Mitigación de cargas dinámicas (vehículos) y peso de los muros.	Peso de cargas dinámicas (vehículos) y peso de los muros inca.	Magnitud de cargas dinámicas (vehículos) y peso de los muros.
Dependientes	Estabilidad de los muros	Factores de seguridad	Factor de seguridad al volteo
			Factor de seguridad al deslizamiento
	Propuestas de diseño	Modelos matemáticos	Uso de software para cálculos

3.4. Limitaciones

- Los muros incas de los andenes son patrimonio cultural, por lo que tienen acceso restringido y requiere de permiso y autorización de la Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco (DDC). Cabe señalar que para dicha autorización hubo un tiempo prolongado en espera. Principalmente para el estudio de remoción de suelos.
- El tiempo para realizar todos los estudios en los andenes fue parcial y limitado, además monitoreado con el jefe de parque.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación de estudio

La investigación se realizó en los andenes inca ubicados en la comunidad de Raqchi, distrito de San Pedro, provincia de Canchis, región Cusco, a 120 km al suroeste de la ciudad del Cusco y a 18 km al noreste de Sicuani.

Figura 25 Ubicación de estudio



4.2. Metodología de la investigación

4.2.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, dado que orientó su análisis hacia el estudio de la estabilidad de los muros inca mediante mediciones numéricas obtenidas a partir de visitas de campo, ensayos de laboratorio y procesamiento de datos en cuadros comparativos y estadísticos, cuyos resultados fueron interpretados para alcanzar los objetivos planteados (Hernández et al., 2014).

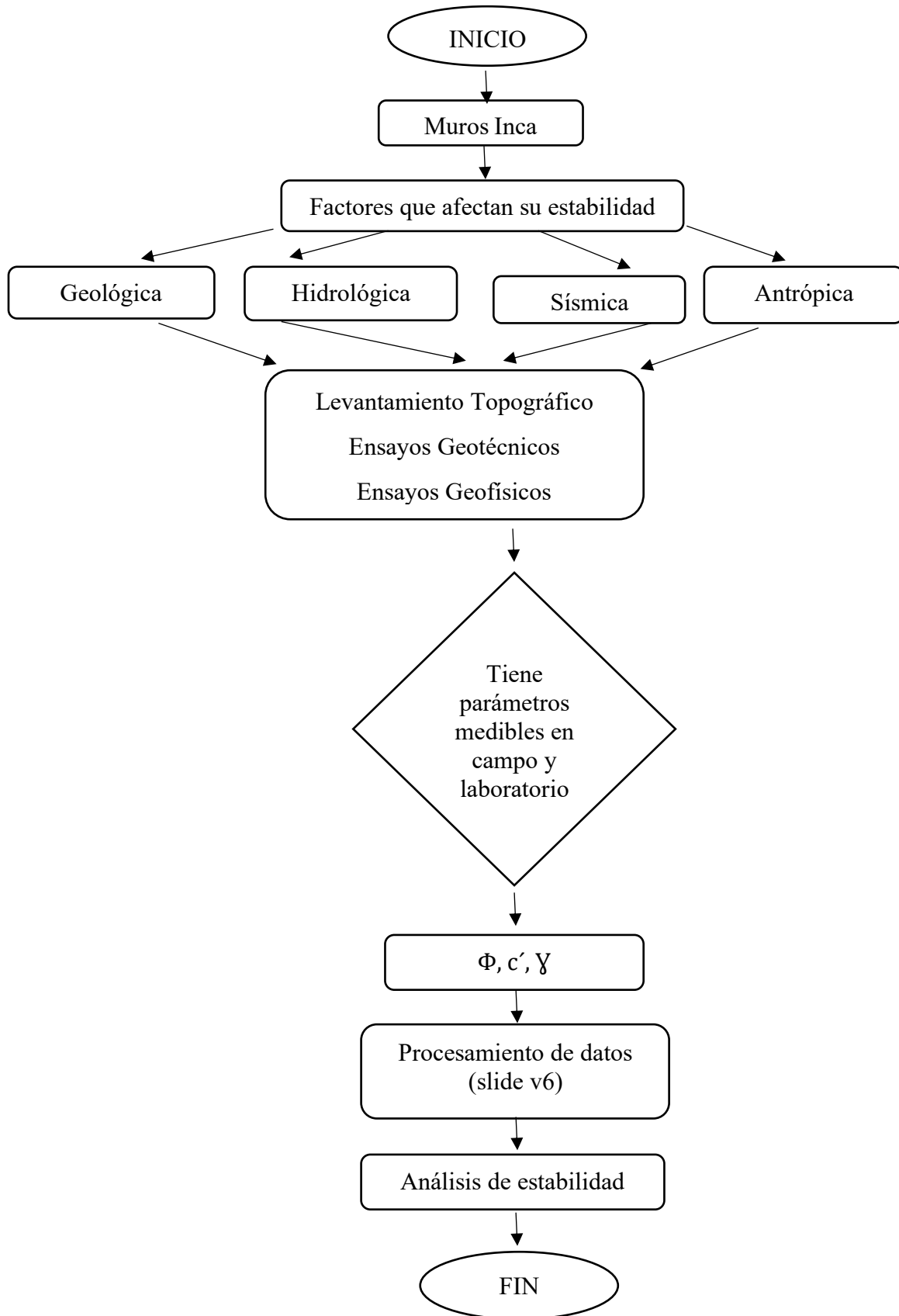
4.2.2. Nivel de la investigación

La investigación abarcó un nivel descriptivo y explicativo, dado que detalló cada etapa del proceso y se centró en mostrar y validar la información obtenida en el análisis de estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico. En ese sentido, el estudio identificó y describió los factores que condicionaron dicha estabilidad, entre ellos los efectos producidos principalmente por el tráfico vehicular, lo cual permitió interpretar el comportamiento estructural de los muros frente a las solicitaciones externas presentes en la zona (Hernández et al., 2014).

4.3. Diseño de la investigación

La investigación buscó estudiar la estabilidad de los muros inca, para lo cual resultó necesario recopilar información sobre las características geológicas, hidrológicas, sísmicas y antrópicas de la zona. A partir de ello, se determinaron los parámetros que condicionaron dicha estabilidad, lo cual permitió elaborar un diagnóstico de los problemas presentes en las estructuras analizadas.

Figura 26 Diseño metodológico



4.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis se encuentra, dentro de la red vial de caminos rurales de la provincia de Canchis y comprende las zonas más críticas de un total de 381 metros de longitud, dentro de la jurisdicción de la comunidad de Raqchi y que está bajo la supervisión de la Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco.

Datos Técnicos:

Superficie de rodadura	: trocha
Ancho promedio	: 7.0 m.
Cunetas no revestidas laterales	: no
N° de carriles	: 01
Pendiente máxima	: 5%
Vegetación	: Sí

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

Está enmarcado por los 381 metros de andén en la cual se encuentran los muros incas y el acceso al parque arqueológico de Raqchi.

4.5.2. Muestra

Está enmarcado por los 100 metros de andén de los muros inca, que es la parte en estudio que se realiza por sus características críticas.

4.5.3. Método de muestreo

El método de muestreo es no probabilístico determinado por criterio e interés de investigación por parte del tesista.

4.6. Recolección de datos

4.6.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó con un dron, sin generar daños en el medio ambiente, equipados con cámaras de alta resolución para capturar imágenes aéreas del área en estudio. Posteriormente, mediante un software especializado, se procesan estas imágenes para generar modelos tridimensionales detallados del terreno, ortofotos (imágenes georreferenciadas).

Para la planificación del vuelo se realizó de acuerdo a:

4.6.1.1. Altura de vuelo

La altura de vuelo se estableció en función de la resolución requerida, manteniéndose un promedio de 100 metros sobre el terreno.

4.6.1.2. Traslape longitudinal y transversal

Se empleó un traslape longitudinal del 80 % y transversal del 70 %, garantizando la correcta reconstrucción del modelo fotogramétrico.

4.6.1.3 Velocidad de vuelo

La velocidad de vuelo fue programada para asegurar la nitidez de las imágenes capturadas.

4.6.1.4. Puntos de control (GCP)

Se establecieron puntos de control terrestre distribuidos homogéneamente en el área de estudio.

4.6.1.5. Equipos GNSS utilizados

Los GCP fueron levantados mediante receptores GNSS de precisión geodésica.

4.6.1.6. Ejecución del vuelo

El vuelo se ejecutó conforme al plan establecido, verificando previamente las condiciones de seguridad y calibración del equipo.

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

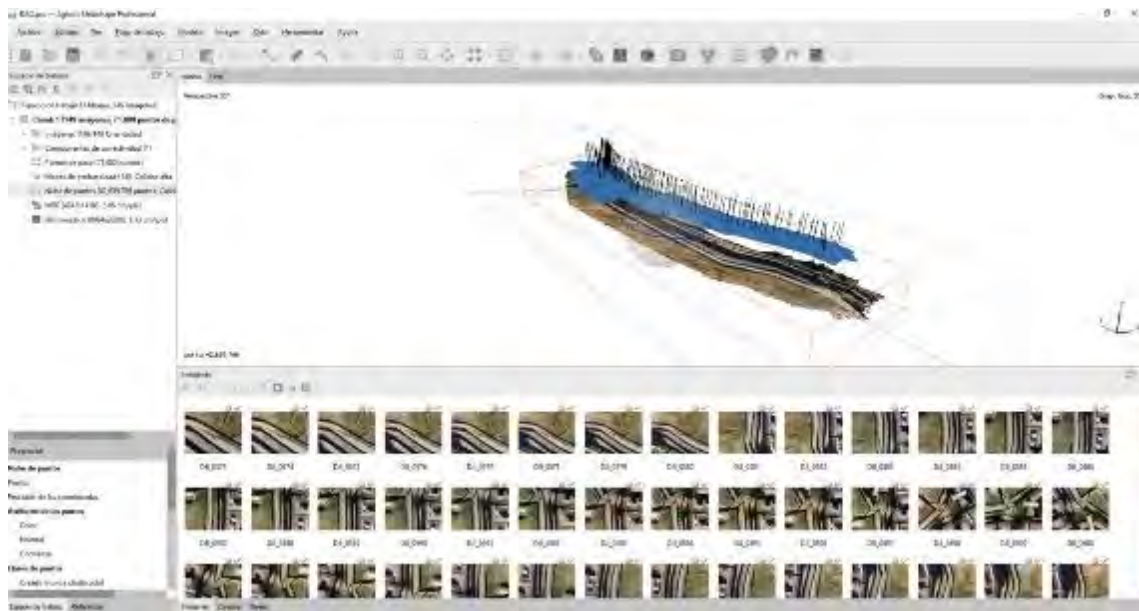
4.6.1.7 Procesamiento fotogramétrico

Las imágenes capturadas fueron procesadas mediante software especializado para generar los productos cartográficos.

Fotografía 1 Levantamiento Topográfico



Figura 27. Procesamiento de Datos de vuelo

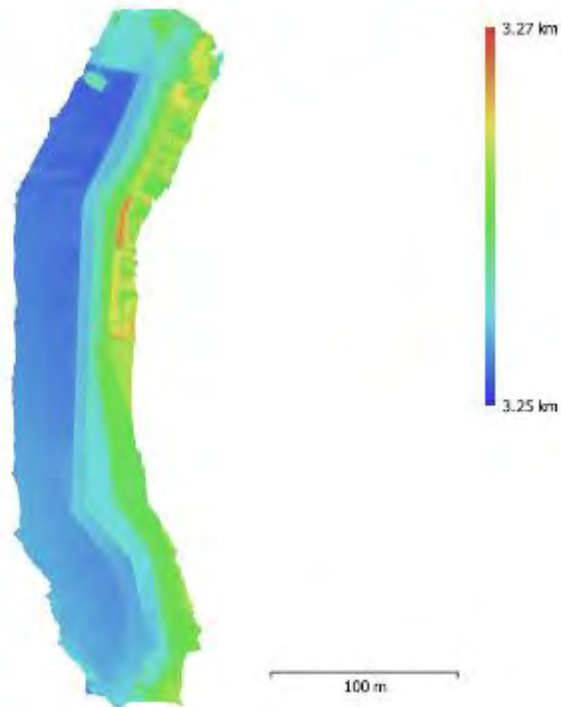


**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Figura 28. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)



Figura 29. Curvas de nivel



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 30. Nube de puntos

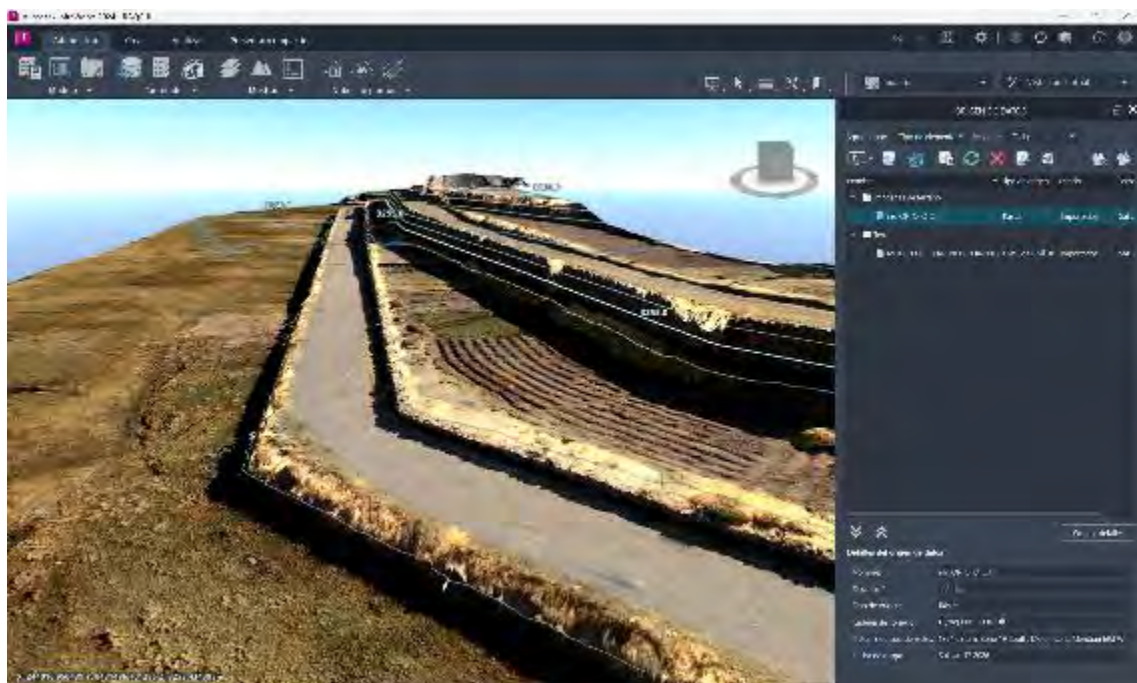


Figura 31. Planos Topográficos en formato Digital



4.6.2. Evaluación de los muros inca

4.6.2.1. Estructura de los Andenes

“**Sector A.-** El área de estudio estuvo constituida por los andenes de Urampampa y el Templo Mayor de Wiracocha, y comprendió dos subsectores denominados A1 y A2:

Sub sector A1.- comprendió un conjunto de andenes ubicados al poniente, conformado por tres terraplenes que se extendieron desde la explanada hasta la parte superior, configurando una forma triangular estilizada en torno a la explanada con orientación hacia la carretera troncal. Este sistema de andenes estuvo articulado mediante escalinatas y canales de agua, e incluyó parte de la muralla occidental con dos portadas: una sobre el camino inca de Raqchi y otra en el sitio arqueológico de Incawasi. Su estructura se compuso de muros de rocas unidas con mortero de arcilla, mientras que el talud incorporó materiales de distintas características cuya finalidad principal fue garantizar el drenaje del agua y así prevenir daños en el muro:

Figura 32. Estructura de los muros inca



Como se puede observar en la Figura 27, las capas de suelos por detrás del muro inca constituían un sistema de drenaje eficiente:

1. Suelo orgánico: Este estrato era el utilizado para la siembra, se regaba constantemente mediante canales inca o precipitaciones pluviales.

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

2. Relleno con Arena: Este estrato permitía que el agua del estrato superior pueda filtrarse hacia abajo ya tiene alta permeabilidad.
3. Relleno con Piedras Pequeñas: Finalmente este estrato hacía que toda el agua de la parte superior se deslice hasta la base de los muros inca.
4. Sistema de drenaje: Estaba constituido por espacios vacíos de 05cmx05cm distribuidos cada 2 m, de manera que toda el agua que se filtraba de los estratos superiores pasaba por estos espacios hacia el andén inferior y se repetía el ciclo.

De esta manera se lograba que el estrato orgánico siempre se mantuviese húmedo para la agricultura y que el agua se filtrase hacia abajo y no perjudique la estabilidad del muro inca.

A pesar de los cuidados que realiza la DDC (Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco), los muros incas de los andenes van sufriendo daños, principalmente el primer andén que es el acceso vehicular al parque arqueológico. Son las cargas dinámicas de los vehículos las que ocasionan este daño.

Fotografía 2 Daño en el primer andén-desplazamiento lateral



Fotografía 3 Muro con falta de mortero – Segundo y tercer andén



4.6.3. Obtención de los parámetros geotécnicos

4.6.3.1. Calicata

a) Equipos y/o materiales

Pico, pala, barreta, wincha.

b) Procedimiento

1. Seleccionar el lugar de exploración, luego procedimos a la excavación de la calicata con dimensiones aprox. De 1.00m × 1.00m.
2. Luego empezar a excavar respetando las líneas marcadas.
3. Tomar una muestra de suelo de aproximadamente 5 kg para su posterior análisis en laboratorio del fondo de la calicata (Muestra alterada)

Fotografía 4 Excavación de calicatas



4.6.3.2. Densidad de campo

Fotografía 5 Densidad de campo



Tabla 12 Toma de datos-Densidad de campo

P1	1° ESTRATO GRAVA	2° ESTRATO ORGANICO	3° ESTRATO ARENA
Peso del frasco + arena gr.	8365	7598	7740
Peso del frasco + sobrante gr.	2569	1458	1675
Peso del suelo	5369	4685	4886
P2	1° ESTRATO ORGANICO	2° ESTRATO ARENA	
Peso del frasco + arena gr.	7564	7540	
Peso del frasco + sobrante gr.	1432	1605	
Peso del suelo	4562	4553	
P3	1° ESTRATO ORGANICO	2° ESTRATO ARENA	
Peso del frasco + arena gr.	7525	7625	
Peso del frasco + sobrante gr.	1422	1586	
Peso del suelo	4586	4564	
P5	1° ESTRATO ORGANICO	2° ESTRATO ARENA	
Peso del frasco + arena gr.	7555	7625	
Peso del frasco + sobrante gr.	1428	1648	
Peso del suelo	4572	4563	

4.6.3.3. Ensayo de Penetración Dinámica Ligera

Fotografía 6 Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL)



A continuación, se muestra todos los ensayos de DPL por secciones.

Tabla 13 Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL)

DPL	SECCION 1-1			SECCION 2-2			SECCION 3-3		
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Profundidad (m)	Nº golpes	Nº golpes	Nº golpes	Nº golpes	Nº golpes	Nº golpes	Nº golpes	Nº golpes	Nº golpes
0.10	-	3	6	-	3	6	-	3	6
0.20	-	4	6	-	3	7	-	4	7
0.30	-	4	7	-	4	8	-	4	7
0.40	-	6	7	-	4	8	-	4	8
0.50	9	5	8	-	5	9	8	5	8
0.60	7	5	9	7	6	9	8	5	9
0.70	7	6	9	8	6	9	9	6	9
0.80	10	6	10	10	7	10	10	7	9
0.90	11	8	8	10	7	7	8	7	8
1.00	8	7	7	7	8	8	9	8	7
1.10	7	9	7	8	9	9	8	9	8
1.20	8	10	8	9	13	8	9	11	8
1.30	9	17	9	10	15	10	11	14	10
1.40	12	22	11	11	19	12	11	18	11
1.50	15	rechazo	13	16	22	14	15	22	12

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

1.60	20		16	18	24	15	17	23	14
1.70	23		17	21	rechazo	18	20	25	17
1.80	25		21	23		22	24	rechazo	23
1.90	33		23	31		25	34		27
2.00	rechazo		26	35		rechazo	rechazo		rechazo
2.10			rechazo	rechazo					
2.20									

4.6.3.4. Sondeos Manuales – Posteadora

Se utilizan principalmente para obtener muestras de suelo, determinar la estratigrafía (la secuencia de capas del suelo) y evaluar la presencia de agua subterránea a profundidades superficiales. se hace penetrar en el terreno ejerciendo un giro sobre el suelo adaptado al extremo superior de la tubería de perforación. Las herramientas se conectan al extremo de una tubería de perforación, que se van añadiendo según aumenta la profundidad del sondeo. Este método resulta práctico en terrenos blandos.

Fotografía 7 Sondeo con la Posteadora



4.6.3.5. Ensayos Geofísicos

Los ensayos de campo se realizaron con instrumentos de medición geofísica para determinar las condiciones del terreno a profundidades someras, empleando el método de

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

refracción sísmica mediante prospección geofísica, con el fin de obtener un perfil 2D a partir de las propiedades de las ondas P y S. Para ello, se utilizó el equipo adecuado según el número de tendidos previamente planificado en la etapa de gabinete, lo cual permitió organizar de manera eficiente el trabajo en campo y optimizar los tiempos de adquisición de datos.

Una vez en campo, se procedió a instalar los cables y equipos de medición, entre ellos geófonos de 4.5 Hz destinados a los ensayos de refracción sísmica y MASW-2D, distribuyéndolos conforme a la disposición establecida en el plan de trabajo. Tras verificar minuciosamente las conexiones y contactos entre cables y geófonos, el ingeniero geólogo con especialidad en geofísica y geotecnia asumió la operación del sismógrafo y ejecutó el control de calidad de los datos conforme estos se fueron adquiriendo mediante el software, evaluando en tiempo real la necesidad de repeticiones, cambios en las fuentes de energía o ajustes en la posición del equipo, según las condiciones del terreno lo requirieron.

De esta manera, se obtuvieron los valores de velocidades de ondas P y S, denominadas V_p y V_s respectivamente, los cuales fueron recepcionados y almacenados en campo a través del software para su posterior procesamiento e interpretación en gabinete, donde se generaron los perfiles de velocidad y se determinaron las características geomecánicas del subsuelo (Kearey et al., 2013).

Fotografía 8 - Ensayos Geotécnicos



V. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

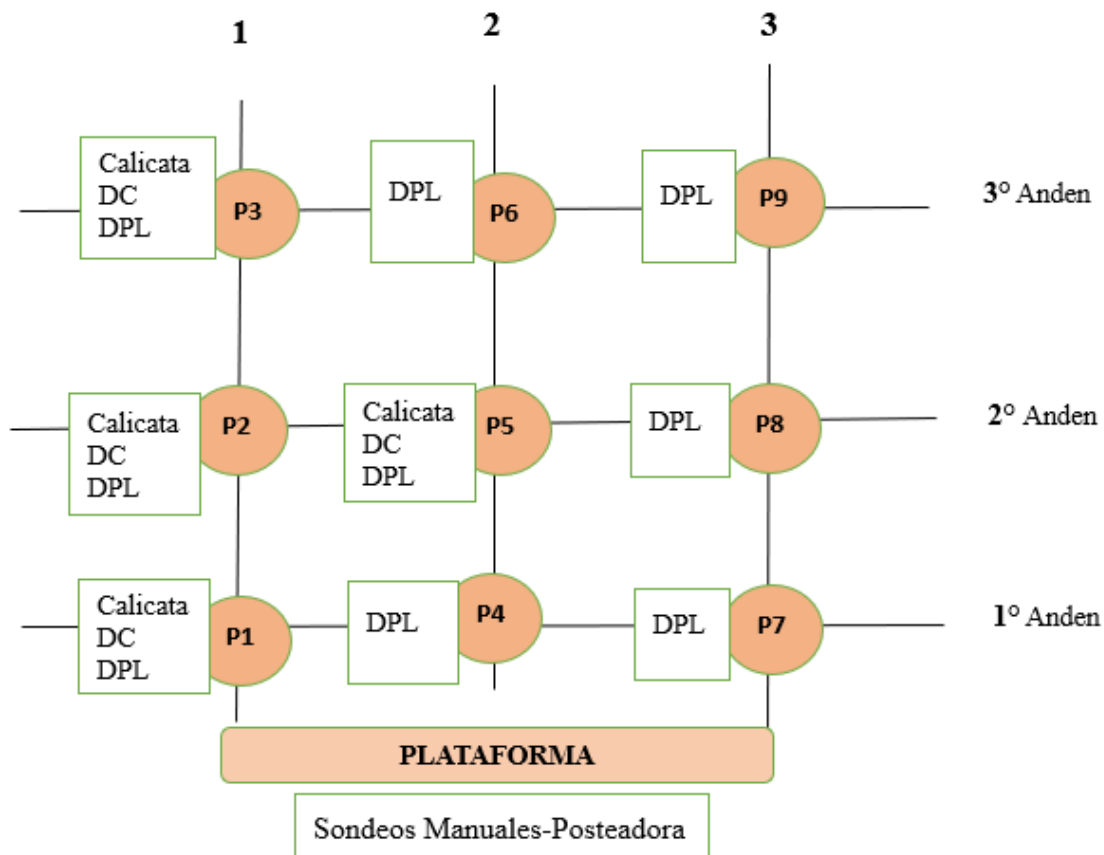
5.1. Procedimiento de análisis de datos

5.1.1. Ensayos geotécnicos

Los ensayos geotécnicos son necesarios para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, de los diferentes estratos en la zona de estudio, donde se realizaron tanto en campo como y en laboratorio. En el campo, se llevaron a cabo actividades como sondeos, calicatas, densidad de campo y DPL. Mientras que en laboratorio se desarrollaron ensayos como: análisis granulométrico, límites de consistencia, humedad, peso específico, corte directo y carga puntual en rocas.

A continuación, se muestra un diagrama de los estudios realizados en campo.

Figura 33 Diagrama de los estudios realizados en campo



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Estratos del suelo de los tres andenes y plataforma

Figura 34 Estratos del suelo de los tres andenes y plataforma



5.1.1.1. Análisis granulométrico por tamizado

a) Suelo inorgánico

- Grava**

Peso inicial: 2020gr	peso lavado: 1461.52gr	perdida: 5.51gr
----------------------	------------------------	-----------------

Tabla 14 Análisis granulométrico - grava

Tamiz N°	Diam. (mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
3 pulg	75	409.68	20.34	79.66
2 pulg	50	253.63	12.59	67.07
1 pulg	25.4	225.22	11.18	55.89
3/8 pulg	9.5	144.09	7.15	48.74
N°4	4.750	99.30	4.93	43.81
N°10	2.000	65.61	3.26	40.55
N°40	0.426	74.23	3.68	36.87
N°100	0.149	98.19	4.87	32.00
N°200	0.075	85.71	4.25	27.74
bandeja	0.010	558.83	27.74	0.00
	TOTAL	2014.49	100.00	

- Arena**

Peso inicial: 280gr	peso lavado: 254.68gr	perdida: 1.72gr
---------------------	-----------------------	-----------------

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Tabla 15 Análisis granulométrico - arena

Tamiz N°	Diam. (mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	29.32	10.54	89.46
4	4.750	59.75	21.47	67.99
10	2.000	53.42	19.20	48.80
20	0.840	21.31	7.66	41.14
40	0.425	37.25	13.39	27.75
60	0.250	11.68	4.20	23.56
100	0.150	32.17	11.56	12.00
200	0.075	7.74	2.78	9.21
bandeja	0.000	25.64	9.21	0.00
		278.28	100.00	

• **Arcilla**

Peso inicial: 300gr	peso lavado: 91.55gr	perdida: 3.69gr
---------------------	----------------------	-----------------

Tabla 16 Análisis granulométrico - arcilla

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	13.40	4.52	95.48
4	4.750	15.22	5.14	90.34
10	2.000	12.20	4.12	86.22
20	0.840	6.44	2.17	84.05
40	0.425	6.53	2.20	81.85
60	0.250	2.27	0.77	81.08
100	0.150	10.48	3.54	77.54
200	0.075	20.96	7.07	70.47
bandeja	0.000	208.81	70.47	0.00
		296.31	100.00	

b) Suelo orgánico

Peso inicial: 420gr	peso lavado: 83.01gr	perdida: 7.52gr
---------------------	----------------------	-----------------

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Tabla 17 Análisis granulométrico – Orgánico

Tamiz N°	Diam. (mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	100.00
4	4.750	0.00	0.00	100.00
10	2.000	0.00	0.00	100.00
20	0.840	0.00	0.00	100.00
40	0.425	0.00	0.00	100.00
60	0.250	0.00	0.00	100.00
100	0.150	48.75	11.82	88.18
200	0.075	26.40	6.40	81.78
bandeja	0.000	337.33	81.78	0.00
		412.48	100.00	

5.1.1.2. Límites de consistencia

Límite plástico (LP)

$$LP = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco del suelo}} * 100$$

Límite líquido (LL) – Método de la Cuchara de Casagrande

$$LL = W_N * \left(\frac{N}{25}\right)^{tan\beta}$$

LL= limite liquido

W_N = contenido de humedad natural

N = Numero de golpes

$tan\beta$ = Pendiente de la línea de flujo (0.121)

Índice de plasticidad (IP)

$$IP = LL - LP$$

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Tabla 18 Límites de consistencia de todos los estratos.

PUNTO	ESTRATO	Límite Líquido LL (%)	Límite plástico LP (%)	Índice de Plasticidad IP (%)
P1=P4=P7	1°- GRAVA	22.25	17.13	5.12
	2°- ORGANICO	42.34	29.01	13.33
	3°- ARENA	-	-	-
P2	1°- ORGANICO	42.27	29.50	12.77
	2°- ARENA	-	-	-
P3=P6=P9	1°- ORGANICO	41.58	29.18	12.40
	2°- ARENA	-	-	-
P5=P8	1°- ORGANICO	42.32	30.15	12.17
	2°- ARENA	-	-	-
Plataforma	1°- ORGANICO	41.82	28.64	13.18
	2°- ARCILLA	36.35	18.55	17.80

5.1.1.3. Clasificación de suelos (SUCS)

Tabla 19 clasificación de suelos- todos los estratos

PUNTO	ESTRATO	CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)
P1=P4=P7	1°- GRAVA	GC-GM (Grava arcillosa limosa de baja plasticidad)
	2°- ORGANICO	OL (Limo Orgánico de baja plasticidad)
	3°- ARENA	SW-SM (Arena bien graduada con limo)
P2	1°- ORGANICO	OL (Limo Orgánico de baja plasticidad)
	2°- ARENA	SW-SM (Arena bien graduada con limo)
P3=P6=P9	1°- ORGANICO	OL (Limo Orgánico de baja plasticidad)
	2°- ARENA	SW-SM (Arena bien graduada con limo)
P5=P8	1°- ORGANICO	OL (Limo Orgánico de baja plasticidad)
	2°- ARENA	SW-SM (Arena bien graduada con limo)
Plataforma	1°- ORGANICO	OL (Limo Orgánico de baja plasticidad)
	2°- ARCILLA	CL (Arcilla de baja plasticidad)

5.1.1.4. Humedad

$$w\% = \left(\frac{W - D}{D} \right) * 100$$

w%= Humedad (%)

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

W= Masa inicial de la muestra (g)

D= masa de la muestra seca (g)

Tabla 20 Humedad de todos los estratos

PUNTOS	ESTRATOS	Muestra 01 %	Muestra 02 %	Muestra 03 %	Humedad %
P1=P4=P7	1° - GRAVA	5.23	5.55	5.18	5.32
	2° - ORGANICO	19.65	19.34	19.03	19.34
	3° - ARENA	5.70	5.72	5.03	5.48
P2	1° - ORGANICO	17.12	17.17	17.65	17.31
	2° - ARENA	3.77	3.32	3.06	3.39
P3=P6=P9	1° - ORGANICO	18.03	18.22	18.51	18.25
	2° - ARENA	4.49	4.22	4.04	4.25
P5=P8	1° - ORGANICO	17.20	16.84	17.77	17.27
	2° - ARENA	3.63	3.57	3.53	3.57
Plataforma	1° - ORGANICO	27.52	27.65	28.08	27.75
	2° - ARCILLA	16.85	16.55	15.68	16.36

5.1.1.5. Peso específico

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_s}{\frac{W_0 + W_s - W_f}{\gamma_w}}$$

W_s = Peso del solido

W_0 = Peso inicial del picnómetro con agua (g)-hasta la marca

W_f = Peso final de la mezcla (Picnómetro con agua y el suelo) (g)-hasta la marca

γ_w = Peso específico del agua

Tabla 21 Peso específico de todos los estratos

PUNTO	ESTRATOS	PESO ESPECIFICO (g/cm3)
P1=P4=P7	1° -GRAVA	1.87
	2° -ORGANICO	1.48
	3° -ARENA	1.75
P2	1° -ORGANICO	1.47
	2° -ARENA	1.74
P3=P6=P9	1° -ORGANICO	1.45
	2° -ARENA	1.75
P5=P8	1° -ORGANICO	1.44

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

	2° -ARENA	1.76
Plataforma	1° -ORGANICO	1.46
	2° -ARCILLA	1.85

5.1.1.6. Densidad de campo

Cálculo de la densidad húmeda mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_h = \frac{m_0 - m_f - m_c}{V}$$

γ_h =densidad húmeda

m_0 = peso del frasco más la arena inicialmente

m_f = peso del frasco más la arena final

m_c = peso de la arena del cono

V = volumen del agujero

ρ_a = densidad de la arena

$$V = \frac{m_0 - m_f - m_c}{\rho_a}$$

La densidad seca del suelo la obtenemos mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + w}$$

γ_d =densidad seca de campo

γ_h =densidad húmeda

w =humedad

Tabla 22. Densidad de campo (densidad húmeda - densidad seca) - todos los estratos

PUNTOS	ESTRATOS	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
P1=P4=P7	1° -GRAVA	2.02	1.92
	2° -ORGANICO	1.86	1.56
	3° -ARENA	1.97	1.86
P2	1° -ORGANICO	1.81	1.54
	2° -ARENA	1.89	1.83
P3=P6=P9	1° -ORGANICO	1.83	1.55
	2° -ARENA	1.85	1.78
P5=P8	1° -ORGANICO	1.82	1.55
	2° -ARENA	1.88	1.88

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

5.1.1.7. Corte directo

Tabla 23 Corte directo (Cohesión y ángulo de fricción)-todos los estratos

PUNTOS	ESTRATOS	COHESION (C)-Kg/cm ²	ANGULO DE FRICCIÓN (φ) - °
P1=P4=P7	1° -GRAVA	0.15	34.99
	2° -ORGANICO	0.25	18.33
	3° -ARENA	0.07	25.78
P2	1° -ORGANICO	0.21	19.29
	2° -ARENA	0.06	26.10
P3=P6=P9	1° -ORGANICO	0.22	18.78
	2° -ARENA	0.07	24.70
P5=P8	1° -ORGANICO	0.21	19.29
	2° -ARENA	0.06	26.10
Plataforma	1° -ORGANICO	0.19	20.30
	2° -ARCILLA	0.46	18.41

5.1.2. Propiedades de los muros inca

Con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas de las rocas presentes en la zona de estudio, se llevaron a cabo estudios en campo y laboratorio. En el campo, se realizaron actividades como reconocimiento de las rocas (roca andesita). En el laboratorio, se desarrollaron ensayos tales como: peso específico y la determinación de la resistencia a la compresión a través de la carga puntual.

5.1.2.1. Peso específico

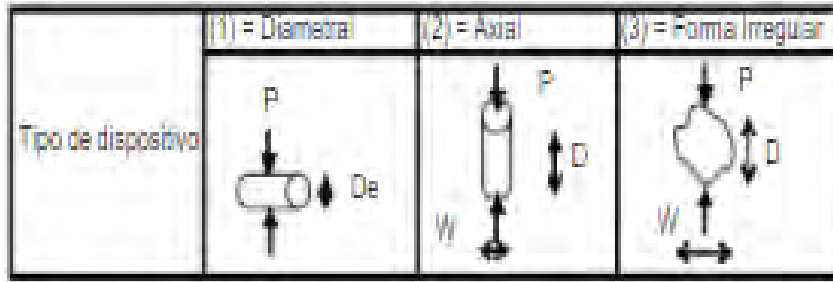
A=	PESO SECO EN EL AIRE	715.06 gr
B=	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	720.53 gr
C=	PESO DE LA MUESTRA EN AGUA	442.48 gr

$$\gamma_{esp} = \frac{A}{B - C}$$

$$\gamma_{esp} = 2.75 \frac{gr}{cm^3}$$

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

5.1.2.2. Carga puntual



Debido a que la presión se realiza a través de puntas cónicas, es necesario realizar una corrección, la cual es:

$$q_u = 24 * Ls_{(50)}$$

Tabla 24 Resistencia a la compresión uniaxial – carga puntual en roca andesita

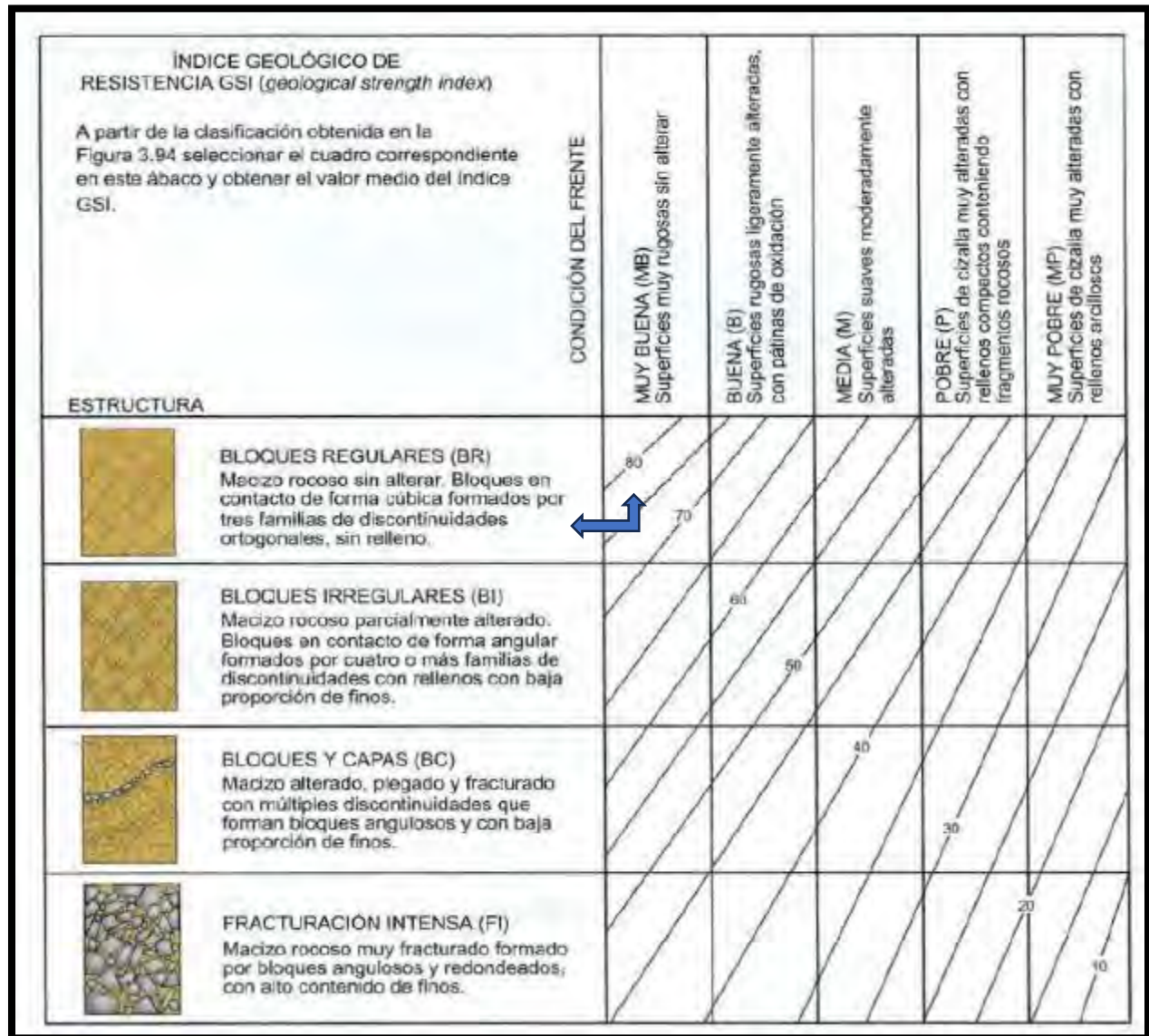
Nº	DESCRIPCION	TIPO DE DISPOSITIVO	W (cm)		D (cm)		A (cm²)	De² (cm²)	P (kg)	Ls=P/De² (kg/cm²)	f=(De/5)^0.45	Ls(50) (kg/cm²)	RESISTENCIA COMPRESION ESTIMADA $q_u=Ls(50)*24$ (Mpa)	RESISTENCIA COMPRESION ESTIMADA $q_u=Ls(50)*24$ (kg/cm²)
01	ROCA 01	3	6.40	5.62	4.78	4.20	30.59	38.95	393.6	10.11	1.10	11.17	26.27	267.97
			6.10		4.20									
			5.62		4.95									
02	ROCA 02	3	6.50	6.00	5.10	4.10	33.15	42.21	340.0	8.06	1.13	9.06	21.32	217.51
			6.00		4.75									
			6.20		4.10									
03	ROCA 03	3	5.00	4.71	5.19	4.84	25.95	33.04	558.8	16.91	1.06	18.01	42.37	432.18
			4.40		4.57									
			4.72		4.75									

RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAxIAL PROMEDIO (Kg/cm2)	305.89
RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAxIAL PROMEDIO (Mpa)	30.0

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI)

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 35 Índice geológico de resistencia – GSI



VALORACION DEL GSI y RMR					
TIPO DE ROCA		CORRELACION	CLASE DE MACIZO ROCOSO	DESCRIPCION	RMR
TODO TIPO DE ROCA		GSI=RMR-6	I	MACIZO ROCOSO DE EXCELENTE CALID	81-100
ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO GRUESO		GSI=RMR-7	II	MACIZO ROCOSO DE BUENA CALIDAD	61-80
ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO FINO		GSI=1.1*RMR-12.5	III	MACIZO ROCOSO DE CALIDAD REGULA	41-60
ROCAS METAMORFICAS		GSI=RMR-4	IV	MACIZO ROCOSO DE MALA CALIDAD	21-40
ROCAS PLUTONICAS		GSI=1.15-RMR-15	V	MACIZO ROCOSO DE MUY MALA CALID	0-20
ROCAS VOLCANICAS		GSI=0.95*RMR			
GSI		80	CLASIFICACION DE MACIZO ROCOSO		
RMR		84	EXCELENTE CALIDAD		

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Tabla 25 Capacidad portante – roca andesita

CAPACIDAD PORTANTE EN ROCA, USANDO MÉTODO POR SERRANO Y OLAYA (2001)				
$\sigma_c (q_u) =$	Resistencia a la compresión simple de la roca.	305.89 kg/cm ²	30.00 Mpa	
RMR =	Clasificación geomecánica de la roca según Bieniawski.	84%	84%	
$m_0 =$	Parámetro m para rocas intactas.	19	19	
$i_1 =$	Inclinación de la carga sobre la cimentación.	0 °	0 °	
$\gamma =$	Peso específico (Sobrecarga)	0.00 g/cm ³	0.00 kN/m ³	
H (D) =	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación.	0.00 m	0.00 m	
$\sigma_1 (q_0) =$	Carga externa.	0.00 kN/m ²	0.000 Mpa	
a =		14	14	
b =		6	6	
m =	$m_0 \cdot \exp ((RMR - 100) / a)$		6.1510	
s =	$\exp ((RMR - 100) / b)$		0.071965	
$\beta =$	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		23.0642	
$\zeta =$	$(8 \cdot s) / m^2$		0.0152	
$\sigma_{01} =$	$(\sigma_1 / \beta) + \zeta$		0.015	
$N_\beta =$		5.00	5.00	
$P_h (q_h) =$	$\beta \cdot (N_\beta - \zeta)$ Carga de hundimiento.		114.97 Mpa	
$F_p =$	Coefficiente de seguridad parcial de los parámetros.	25	25	
$F_m =$	Coefficiente de seguridad parcial del modelo.	1.80	1.80	
F =	$F_p \cdot F_m$		45.00	
$\sigma_{adh} (q_{adm}) =$	Capacidad portante	0.85 Mpa	8.69 kg/cm ²	
E =	Módulo de deformación.	68.42 Gpa	684211 kg/cm ²	
	$E_{min} =$	27.37 Gpa	273684 kg/cm ²	
	$E_{max} =$	109.47 Gpa	1094737 kg/cm ²	

Valor de m_0 en función del tipo de roca:

Sedimentaria			Metamórfica		Ignea	
Clástica	Conglomerado	22	Mármol	9	Granito	33
	Arenisca	19	Hornblenda	19	Riolita	16
	Limonita	9	Cuarcita	24	Obsidiana	19
	Lutita	4	Migmatita	30	Granodiorita	30
			Anfibolita	31	Dacita	17
No clástica			Milonita	6	Diorita	28
	Grauvaca	18	Gneis	33	Andesita	19
	Orgánica		Esquisto	10	Gabro	27
Carbonatada	Creta	7	Filita	10	Dolerita	19
	Carbón	8-21	Pizarra	9	Basalto	17
	Brecha	20			Norita	22
Química	Caliza esparítica	10			Aglomerado	20
	Caliza micrítica	8			Brecha	18
	Yeso	16			Toba	15
	Anhidrita	13				

Coef. de seg. Parcial F_p

NB (Inclinación por carga aplicada 0°)

NB para inclinación de la carga aplicada	
σ_{01}	N_β
0.01	5.00
0.02	5.55
0.03	5.94
0.04	6.2
0.05	6.53
0.06	6.7
0.07	6.98
0.08	7.1
0.09	7.3
0.10	7.54
0.15	8.29
0.20	8.90
0.30	9.92
0.40	10.7
0.50	11.51
0.60	12.2
0.70	12.80
0.80	13.4
0.90	13.9
1.00	14.4

5.75

Fm (Coeficiente de seg. parcial del modelo)

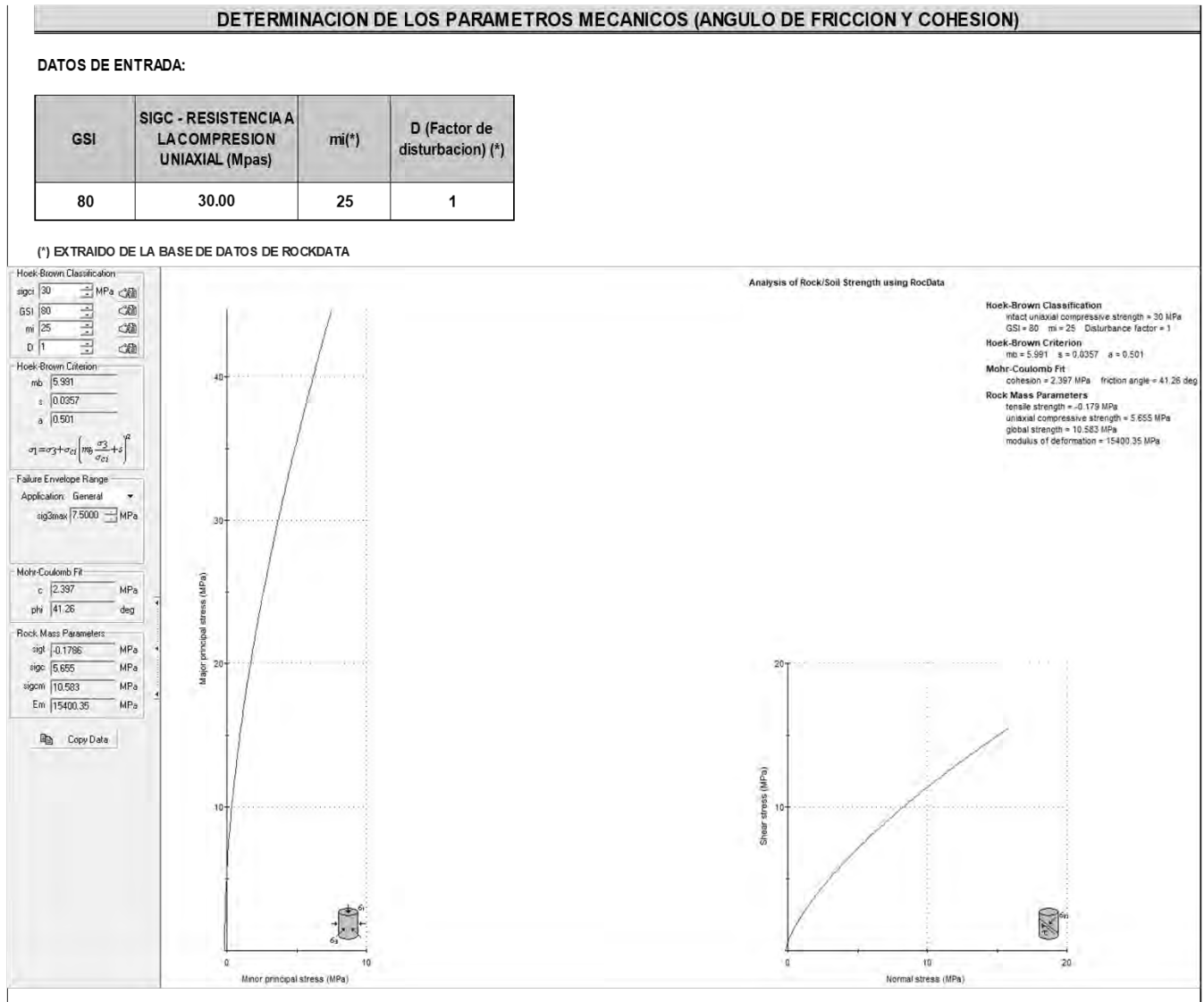
Compresión simple σ_c (MPa)	Fm
$\sigma_c > 100$	5 a 8
$12.5 < \sigma_c < 100$	1 a 5
$12.5 < \sigma_c$	1

Compresión simple σ_c (MPa) entre:	Fm entre:
12.5	1
100	5

para el presente caso:	$\sigma_c = 30.00$ Mpa Fm = 1.80
------------------------	-------------------------------------

“ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Mediante el software **rock data** se determinó los parámetros mecánicos de cohesión y ángulo de fricción interna.



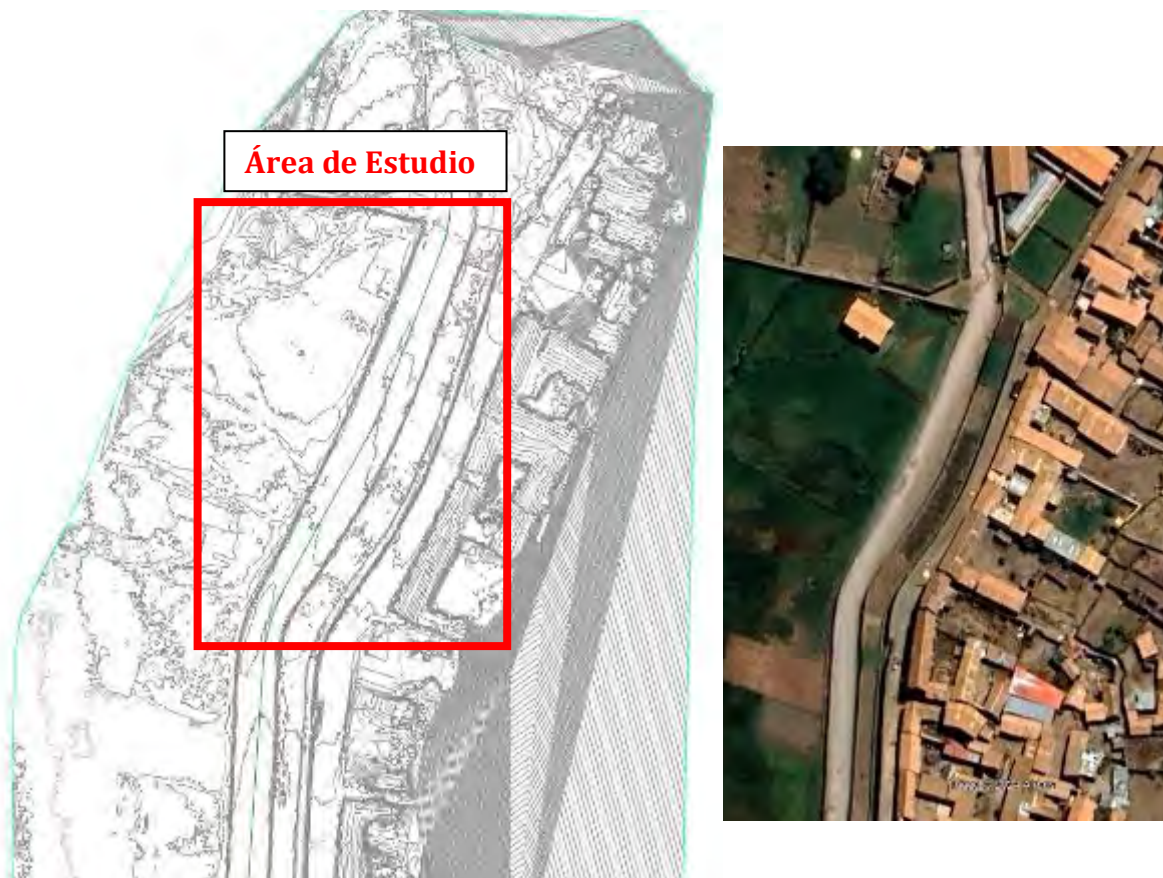
COHESION	2.40 Mpa	24.43 kg/cm2
ANGULO DE FRICCION INTERNA	41.26 °	

5.1.3. Secciones de Análisis

Para la obtención de las secciones a analizar se realizó el siguiente procedimiento:

Se inició con el sobrevuelo con Drone para la captura de imágenes aéreas (Ortofotos) del sector que posteriormente fueron procesadas y exportadas a un formato DWG para poder ser utilizadas en el programa AutoCAD Civil 3D

Figura 36 Definición Topográfica del Área de Estudio

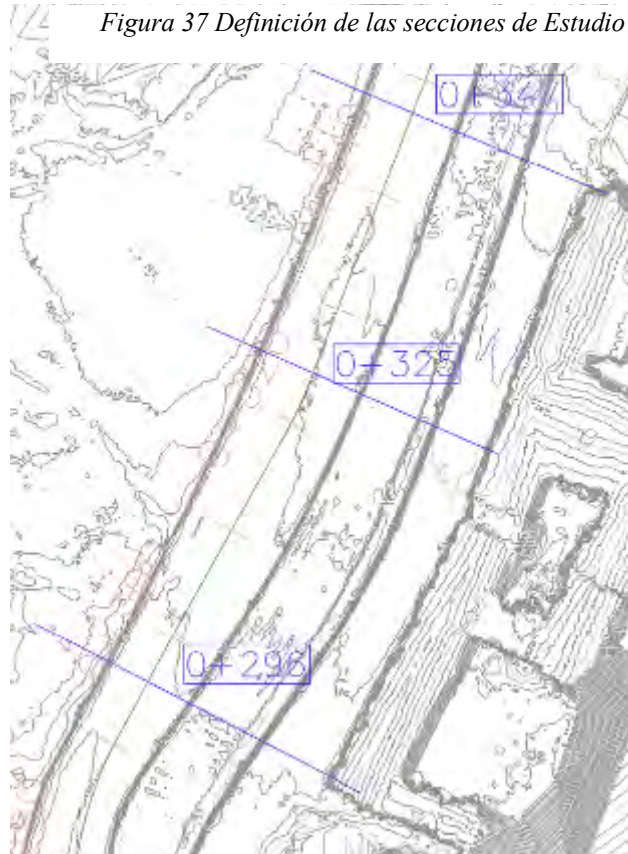


Posteriormente se procedió a realizar la creación de un alineamiento a partir de la progresiva PE 3S 1069 de la Panamericana sur y se tomó como para el estudio las progresivas:

- | | |
|--------------|--------------------|
| a. Sección 1 | : Progresiva 0+347 |
| b. Sección 2 | : Progresiva 0+325 |
| c. Sección 3 | : Progresiva 0+296 |

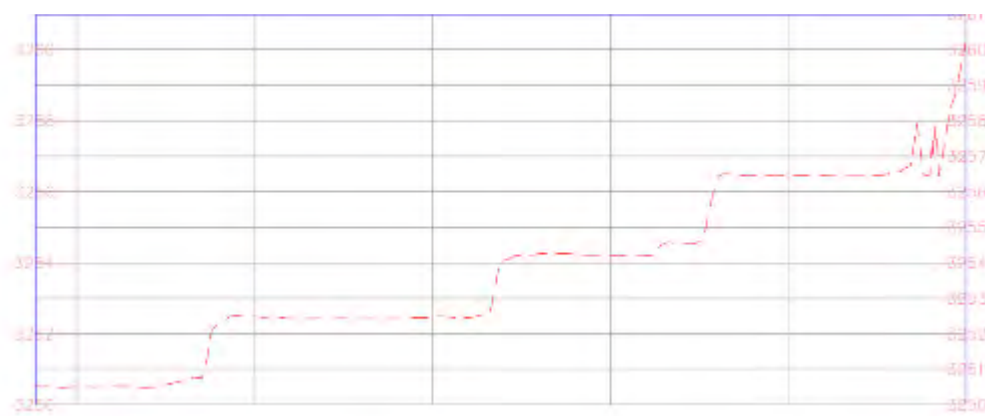
“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 37 Definición de las secciones de Estudio



Posteriormente se procedió a obtener los perfiles transversales de las áreas a estudiar:

Figura 38 Sección transversal perfil 1



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 39 Sección transversal perfil 2

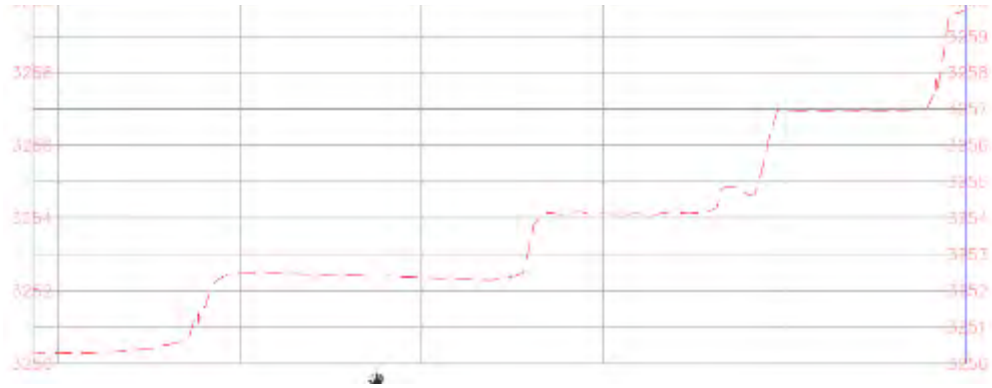
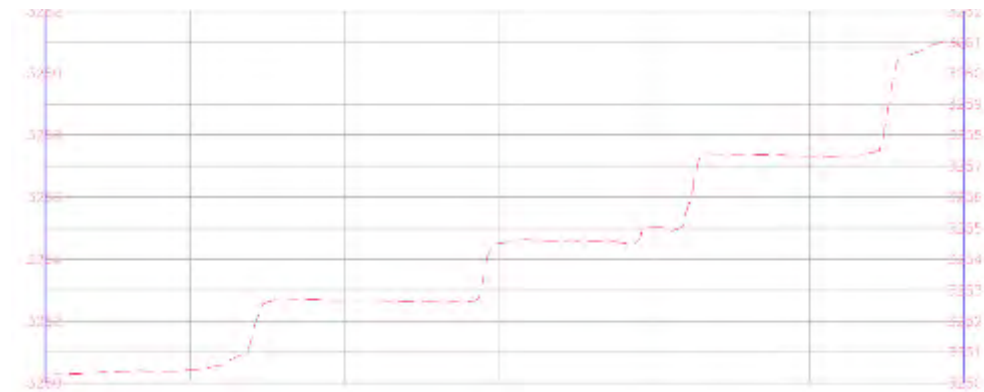


Figura 40 Sección transversal perfil 3



Se corrigió y acotó las secciones para poder ingresarlo en el programa Slide V.6

5.1.4. Estudio Sísmico

Para calcular las aceleraciones sísmicas en las direcciones horizontal y vertical a usarse en el programa Slide V6, se tomó en consideración la norma técnica sismorresistente NTP E 030, en cuyo primer capítulo Generalidades punto 1.2. alcance, se menciona:

El Reglamento Nacional de Edificaciones (2020) indicó que para estructuras como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones, resultó aplicable la norma en lo que corresponda

Para nuestro caso se requiere la carga sísmica que en el programa Slide V6 se refiere a las aceleraciones espectrales en las direcciones horizontal y vertical:

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

En el punto 4.6.2. de la NTP E 030, se menciona que el valor del espectro de pseudo-aceleraciones está definido por:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} * g$$

Donde

Z: Factor de zona

U: Factor de uso

C: Factor de amplificación sísmica

S: Factor de suelo

R: Factor de Reducción sísmica

g: aceleración de la gravedad

Determinación de los parámetros sísmicos

Factor de zona (Z):

Figura 41 Zonificación sísmica del Perú



A cada zona se le asignó un factor Z conforme a la tabla de Factores de Zona, el cual representó la máxima aceleración horizontal en suelo rígido con una probabilidad de excedencia del 10% en un periodo de 50 años, expresado como fracción de la aceleración de la gravedad (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020).

Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Para nuestro caso, la zona de estudio se encuentra dentro de la Región Cusco, provincia Canchis, Distrito San Pedro y cuya zona corresponde a “zona 2” por ende:

$$Z = 0.25$$

Factor de Uso (U)

Para el caso de estudio se ha visto por conveniente considerar al conjunto de andenes como una estructura sobre la primera plataforma del sitio, es decir sobre la plataforma sobre la que se ubica el primer andén, a partir de dicha premisa el factor de uso correspondiente sería:

Edificaciones importantes descritas dentro de la norma NTP E-030 como: El Reglamento Nacional de Edificaciones (2020) definió esta categoría como aquellas edificaciones donde se concentró gran cantidad de personas, tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros y establecimientos penitenciarios, así como aquellas destinadas a resguardar patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. Y cuyo factor de uso es de:

$$U = 1.30$$

Factor de Amplificación Sísmica (C) y Factor de Suelo (S)

Para la obtención del factor de amplificación sísmica en el suelo, lo primero es conocer el perfil de suelo correspondiente, el cual viene definido de acuerdo a la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte ($\bar{V}_s$) y clasificarlos de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{s}_y$
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

Para nuestro caso de estudio, se realizó el ensayo técnico geofísico de refracción sísmica y MASSW2D ASTM D-5777 / E030.

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Fotografía 9 Ensayo de Refracción sísmica



Luego de haber procesado los datos se obtuvieron las velocidades de onda correspondientes de acuerdo al siguiente gráfico

Figura 42 Mapa de velocidades de onda

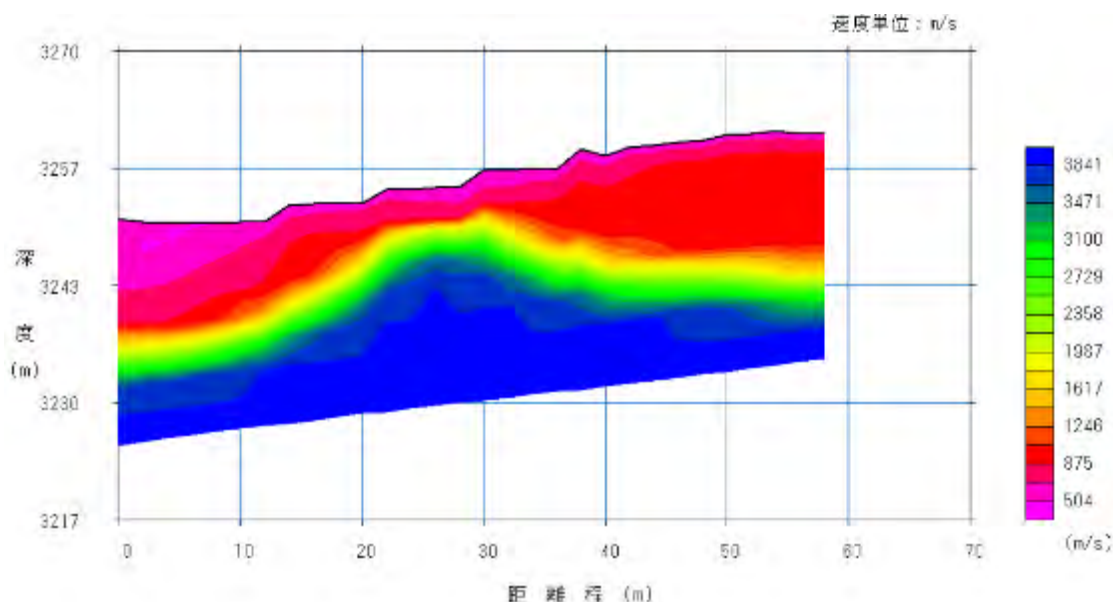


Tabla 26 Velocidades de onda en profundidad

PROF. (m)	VELOCIDAD DE ONDAS (m/s)	VELOCIDAD DE ONDA P (m/s)	COEFICIENTE DE POISSON (ν) [Kramer 1996]	MODULO DE YOUNG E (Mpa) [Perez et al 2012]	MODULO DE CORTE G (Mpa) [Perez et al 2012]	DELEMS		qa (kg/cm ²) [Tezcan et al 2006]	
						DENSIDAD NATURAL		PARA CUALQUIER GEOMETRIA DE CIMENTACION	
						g/cm ³	Kn/m ³	kPa	kg/cm ²
5.00	280	550	0.33	367.8	130.4	2.10	20.59	138.35	1.41
10.00	360	870	0.40	634.5	226.0	2.10	20.59	177.88	1.81
15.00	400	1246	0.44	797.5	284.7	2.10	20.59	197.65	2.02
20.00	424	1987	0.48	905.0	323.4	2.10	20.59	209.51	2.14
25.00	446	2348	0.48	1010.0	361.3	2.10	20.59	220.38	2.25
30.00	600	3471	0.48	1922.5	691.9	2.10	20.59	296.47	3.02
PROFUNDIDAD		H	30.0		Ts				
Vs promedio		(m/s)	418		0.29				

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

De donde podemos inferir que para nuestro estudio la velocidad de onda V_s promedio es de 418 m/s que de acuerdo a la tabla de CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELO corresponde a un suelo tipo S_2 , por lo que, teniendo el factor de zona y el tipo de suelo, podemos obtener los parámetros de sitio S, T_p, T_l , de acuerdo a las tablas

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO “S”				
SUELO 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

Tabla N° 4 PERÍODOS “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

De donde se obtiene que para nuestro caso con factor de zona Z_2 y Tipo de Suelo S_2 , se tiene el factor de Suelo:

$$S = 1.20$$

y adicionalmente:

$$T_p(s) = 0.6$$

$$T_l(s) = 2.0$$

Posteriormente calculamos el valor del Periodo Fundamental de Vibración T que viene definido por:

$$T = \frac{h_n}{C_t}$$

Donde:

h_n : altural total de la estructura

C_t : coeficiente para estimar el periodo fundamental

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

El valor de C_t está definido por:

$C_T = 35$	Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente: a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte. b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.
$C_T = 45$	Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean: a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras. b) Pórticos de acero arriostrados.
$C_T = 60$	Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

Para nuestro caso de estudio se considera el valor de $C_t = 60$, y anteriormente se mencionó que consideraremos los andenes como una estructura donde la altura en promedio es $h_n = 2.36m$, teniendo que el valor del Periodo Fundamental de Vibración es:

$$T = \frac{2.36}{60}$$

$$T = 0.039$$

Teniendo dicho valor se procede a calcular el valor del factor de amplificación sísmica que viene definido por las siguientes expresiones:

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_i \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_i \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_i}{T^2} \right)$$

En nuestro caso se el valor de $T < T_p$ ($0.039 < 0.6$), por ende:

$$C = 2.5$$

Coefficiente de Reducción de las fuerzas Sísmicas (R)

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se obtuvo como producto del coeficiente básico de reducción y los coeficientes de irregularidad estructural (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020):

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

$$R = R_o * I_a * I_p$$

Donde:

R_o : *coeficiente basico de reducción*

I_a : *factor de irregularidad en altura*

I_p : *factor de irregularidad en planta*

Para el cálculo de R_o se tomó la siguiente tabla:

Tabla N° 7	
SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_o (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Para nuestro caso en particular, se considera como un tipo similar al sistema de albañilería confinada, por lo que $R_o = 3$

Para el cálculo de los factores de irregularidad I_a y I_p , se consideró que el sistema presenta irregularidad geométrica vertical y sistemas no paralelos en una de las direcciones, por lo que se tiene $I_a = 0.90$ y $I_p = 0.90$.

Por lo que el factor de reducción de las fuerzas sísmicas R es:

$$R = R_o * I_a * I_p$$

$$R = 3 * 0.9 * 0.90$$

$$\mathbf{R = 2.43}$$

Finalmente, el valor del espectro de pseudo-aceleraciones en el suelo es:

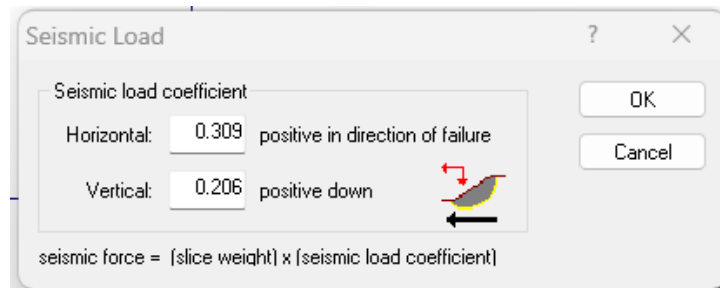
$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} * g$$
$$S_a = \frac{0.25 * 1.30 * 2.50 * 1.20}{2.43} * g$$
$$S_a = 0.309 g$$

Para el análisis en la dirección vertical, se empleó un espectro cuyos valores correspondieron a dos tercios del espectro utilizado para las direcciones horizontales.

Entonces los valores de carga o aceleración sísmica para ingresar al programa Slide V6 son:

- Coeficiente de carga sísmica horizontal = 0.309 g
- Coeficiente de carga sísmica vertical = 0.206 g

Figura 43 Valores de las aceleraciones sísmicas



5.1.5. Estudio Hidrológico

Para el análisis de los factores de seguridad en condiciones pseudo-estáticas con infiltración se tiene que considerar un análisis Hidrológico.

En nuestra zona de estudio al igual que en la región del cusco, las precipitaciones pluviales son de origen orográfico cuya máxima intensidad se presenta durante los meses de noviembre a marzo y éstas disminuyen en la época de estiaje de mayo a septiembre. Para nuestro caso se buscó registros hidrológicos de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio:

Figura 44 Estaciones meteorológicas del Senamhi por internet



De acuerdo a la información disponible en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024), la estación más cercana a la zona de estudio correspondió a la estación de Pomacanchi; sin embargo, sus registros dentro del sistema se encontraron actualizados únicamente hasta el año 2013, por lo que sus valores no resultaron representativos para la presente investigación. Por ende, se solicitaron los registros meteorológicos de la estación hidrológica de Perayoc de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), la cual contó con datos desde 1961. No obstante, para los fines de este estudio se consideraron

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

únicamente los últimos 30 años, periodo que resultó adecuado para llevar a cabo un análisis hidrológico confiable.

Tabla 27 Registro de precipitación Mensual Estación meteorológica de Perayoc

DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1994	196.40	220.90	232.60	60.50	15.20	0.00	0.00	21.00	0.00	44.50	64.20	165.00	232.60 marzo
1995	127.00	90.60	137.80	26.10	1.70	0.30	3.10	0.00	52.00	20.10	27.50	124.00	137.80 marzo
1996	169.00	87.40	48.60	28.90	9.70	0.60	0.00	9.80	16.00	61.20	66.00	168.00	169.00 enero
1997	137.20	105.10	145.40	75.30	3.20	0.00	0.00	11.10	13.40	35.50	126.00	178.70	178.70 diciembre
1998	155.30	163.20	54.30	34.80	3.80	3.40	0.00	6.20	2.20	84.90	70.60	69.40	163.20 febrero
1999	165.00	96.70	104.00	50.70	10.20	6.00	0.00	0.00	57.90	24.80	52.70	119.20	165.00 enero
2000	234.90	117.10	113.10	9.40	1.80	3.50	2.40	6.70	24.60	53.00	53.80	90.70	234.90 enero
2001	295.00	155.40	156.10	34.20	5.90	0.00	22.40	11.90	19.20	70.50	66.90	102.90	295.00 enero
2002	184.90	179.80	203.70	25.40	6.90	2.20	32.50	6.00	14.40	73.80	113.00	129.30	203.70 marzo
2003	216.60	156.90	145.40	95.30	2.80	7.10	0.00	13.10	9.80	23.50	126.00	127.80	216.60 enero
2004	203.00	149.00	89.50	30.40	3.40	20.60	9.60	10.00	32.70	83.70	155.10	94.20	203.00 enero
2005	118.80	122.40	108.50	35.70	1.10	0.00	1.00	3.10	6.50	36.90	66.60	57.80	122.40 febrero
2006	196.30	122.30	126.50	73.90	0.0	6.80	0.0	5.50	18.60	77.80	67.40	165.70	196.30 enero
2007	139.50	86.90	113.50	68.60	13.00	0.00	4.00	0.80	6.10	74.30	103.80	77.70	139.50 enero
2008	130.80	138.00	80.80	5.30	6.50	2.50	3.10	6.70	136.40	120.20	54.90	128.80	138.00 febrero
2009	122.30	117.30	55.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	129.90	129.90 diciembre
2010	339.10	213.30	166.30	25.40	6.60	0.00	45.30	10.60	7.20	84.10	49.50	244.10	339.10 enero
2011	98.70	245.20	180.70	66.70	0.50	0.69	4.50	0.00	34.50	25.80	77.67	62.80	245.20 febrero
2012	59.40	118.80	70.20	51.40	3.80	3.60	0.20	1.40	14.40	16.80	107.40	178.40	178.40 diciembre
2013	160.61	128.90	112.50	29.20	8.10	12.20	2.50	17.30	19.70	120.00	94.22	199.80	199.80 diciembre
2014	117.40	75.40	49.70	64.10	19.30	0.00	2.60	12.80	17.60	79.00	17.60	170.90	170.90 diciembre
2015	165.70	145.00	86.80	70.18	20.60	4.40	9.10	12.10	28.80	20.40	70.10	157.40	165.70 enero
2016	100.10	182.70	59.20	45.70	11.20	0.20	9.70	1.30	22.60	77.40	33.60	93.10	182.70 febrero
2017	126.20	133.80	176.00	48.50	22.50	5.80	1.30	11.40	17.60	60.50	67.70	125.60	176.00 marzo
2018	172.20	174.40	160.50	33.70	3.00	16.30	16.30	14.60	18.20	77.60	74.20	80.30	174.40 febrero
2019	113.70	123.50	133.50	25.70	22.60	4.10	4.20	0.00	5.60	66.20	137.50	210.25	210.25 diciembre
2020	208.95	150.67	89.25	34.24	3.51	15.83	29.75	1.83	0.56	11.54	103.87	149.57	208.95 enero
2021	84.38	156.36	66.62	44.50	5.06	2.05	0.61	13.83	26.79	39.77	109.64	81.30	156.36 febrero
2022	194.20	147.00	159.40	12.60	0.00	0.00	0.00	2.80	5.00	12.70	21.00	53.80	194.20 enero
2023	47.00	94.60	78.80	55.60	22.20	0.00	0.00	7.10	20.10	23.00	52.10	146.60	146.60 diciembre
MAX	339.10	245.20	232.60	95.30	22.60	20.60	45.30	21.00	136.40	120.20	155.10	244.10	339.10

De acuerdo al manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC, para el análisis estadístico de datos hidrológicos se puede utilizar la función de distribución Gumbel, así que para nuestro estudio se realizó de acuerdo a las fórmulas correspondientes.

Cálculo de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia

Se calculó la precipitación mensual máxima de cada año y luego la media de dichos valores, para posteriormente calcular el valor de la variación cuadrática y la desviación estándar de cada valor:

Tabla 28 Cálculo de precipitaciones máximas y variación cuadrática

N°	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1994	marzo	232.60	1888.89
2	1995	marzo	137.80	2635.66

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

3	1996	enero	169.00	405.57
4	1997	diciembre	178.70	108.97
5	1998	febrero	163.20	672.81
6	1999	enero	165.00	582.68
7	2000	enero	234.90	2094.10
8	2001	enero	295.00	11206.62
9	2002	marzo	203.70	212.03
10	2003	enero	216.60	754.12
11	2004	enero	203.00	192.14
12	2005	febrero	122.40	4454.05
13	2006	enero	196.30	51.28
14	2007	enero	139.50	2464.00
15	2008	febrero	138.00	2615.16
16	2009	diciembre	129.90	3509.22
17	2010	enero	339.10	22488.40
18	2011	febrero	245.20	3142.87
19	2012	diciembre	178.40	115.32
20	2013	diciembre	199.80	113.66
21	2014	diciembre	170.90	332.65
22	2015	enero	165.70	549.37
23	2016	febrero	182.70	41.46
24	2017	marzo	176.00	172.62
25	2018	febrero	174.40	217.23
26	2019	diciembre	210.25	445.69
27	2020	enero	208.95	392.49
28	2021	febrero	156.36	1074.44
29	2022	enero	194.20	25.62
30	2023	diciembre	146.60	1809.54
30		Suma	5674.2	64768.7

Calculamos la media:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{5674.20}{30} = 189.44 \text{ mm}$$

La desviación estándar es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{64768.7}{30 - 1}} = 47.26 \text{ mm}$$

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

También se realizó el cálculo de las variables probabilísticas α y u :

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S = 36.85 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 167.87 \text{ mm}$$

Con dichos valores, se calculó las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias de acuerdo a la distribución Gumbel o doble exponencial:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Tabla 29 Cálculo de precipitaciones máximas diarias probables

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
T(Años)	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	181.3754	0.5000	204.9541
5	1.4999	223.1394	0.8000	252.1475
10	2.2504	250.7909	0.9000	283.3937
25	3.1985	285.7285	0.9600	322.8733
50	3.9019	311.6473	0.9800	352.1615
100	4.6001	337.3747	0.9900	381.2334
500	6.2136	396.8267	0.9980	448.4142

Posteriormente se realizó el cálculo de las precipitaciones máximas por tiempos de duración para lo cual se procedió a multiplicar las precipitaciones obtenidas en la tabla 30 por los coeficientes de duración de lluvias entre 48 horas y 1 hora.

Tabla 30 Coeficientes de duración de lluvias entre 48 hr y 1 hr

Duración de la precipitación	coeficiente
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

12	0.79
18	0.90
24	1.00

Fuente: D. F. Campos A., 1978

Entonces se tiene:

Tabla 31 Precipitaciones máximas por tiempos de duración y periodos de retorno

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	204.9541	252.1475	283.3937	322.8733	352.1615	381.2334	448.4142
18 hr	X18 = 91%	184.4587	226.9328	255.0543	290.5859	316.9453	343.1101	403.5728
12 hr	X12 = 80%	161.9138	199.1966	223.8810	255.0699	278.2075	301.1744	354.2472
8 hr	X8 = 68%	131.1707	161.3744	181.3720	206.6389	225.3833	243.9894	286.9851
6 hr	X6 = 61%	114.7743	141.2026	158.7005	180.8090	197.2104	213.4907	251.1120
5 hr	X5 = 57%	102.4771	126.0738	141.6968	161.4366	176.0807	190.6167	224.2071
4 hr	X4 = 52%	90.1798	110.9449	124.6932	142.0642	154.9510	167.7427	197.3023
3 hr	X3 = 46%	77.8826	95.8161	107.6896	122.6918	133.8214	144.8687	170.3974
2 hr	X2 = 39%	63.5358	78.1657	87.8520	100.0907	109.1701	118.1824	139.0084
1 hr	X1 = 30%	51.2385	63.0369	70.8484	80.7183	88.0404	95.3083	112.1036

Teniendo las precipitaciones máximas, lo siguiente es calcular las intensidades de precipitaciones, las cuales nos indican la cantidad de agua que cae sobre un área específica en un periodo de tiempo determinado, viene definido por:

$$I_m = \frac{P}{t}$$

Donde:

Im = Intensidad máxima (mm/hr)

P = Precipitación en altura de agua

t = Tiempo en Horas

por lo que reemplazando los datos obtenidos en la tabla 32, se tiene:

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Tabla 32 Intensidad de precipitaciones

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	8.5398	10.5061	11.8081	13.4531	14.6734	15.8847	18.6839
18 hr	1080	10.2477	12.6074	14.1697	16.1437	17.6081	19.0617	22.4207
12 hr	720	13.4928	16.5997	18.6568	21.2558	23.1840	25.0979	29.5206
8 hr	480	16.3963	20.1718	22.6715	25.8299	28.1729	30.4987	35.8731
6 hr	360	19.1291	23.5338	26.4501	30.1348	32.8684	35.5818	41.8520
5 hr	300	20.4954	25.2148	28.3394	32.2873	35.2161	38.1233	44.8414
4 hr	240	22.5450	27.7362	31.1733	35.5161	38.7378	41.9357	49.3256
3 hr	180	25.9609	31.9387	35.8965	40.8973	44.6071	48.2896	56.7991
2 hr	120	31.7679	39.0829	43.9260	50.0454	54.5850	59.0912	69.5042
1 hr	60	51.2385	63.0369	70.8484	80.7183	88.0404	95.3083	112.1036

Para calcular las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia se utilizará la relación:

$$I = \frac{K T^m}{t^n}$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

teniendo nuestras tablas de intensidades y duraciones de las precipitaciones por periodos de retorno, se realizarán regresiones logarítmicas para calcular los valores de los factores característicos de la zona de estudio, para lo cual primero realizaremos un cambio de variable de la fórmula anterior, donde:

$$d = K T^m$$

Con lo que la intensidad vendría dada por:

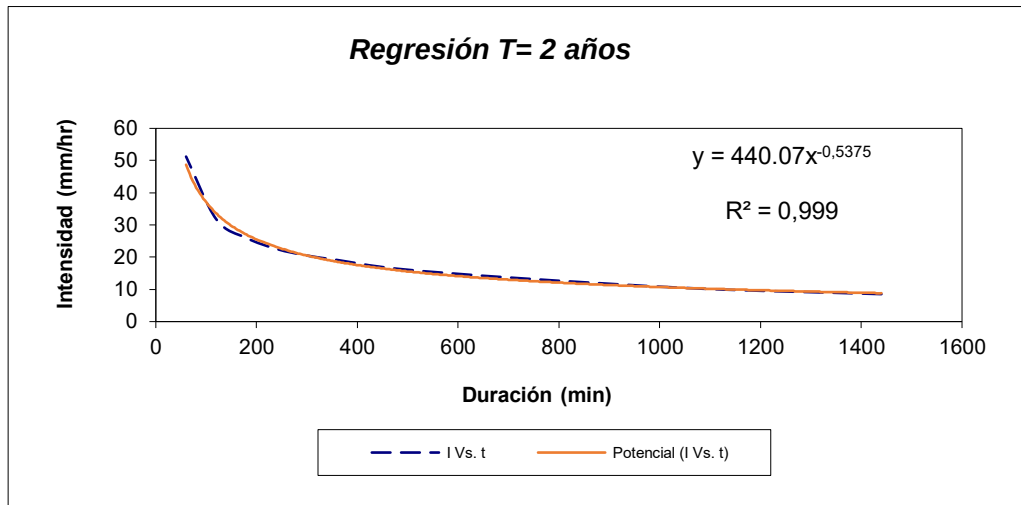
$$I = \frac{d}{t^n}$$

$$I = d * t^{-n}$$

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Por lo que teniendo los valores de duración e intensidad en la tabla 33 se calculará d y n :

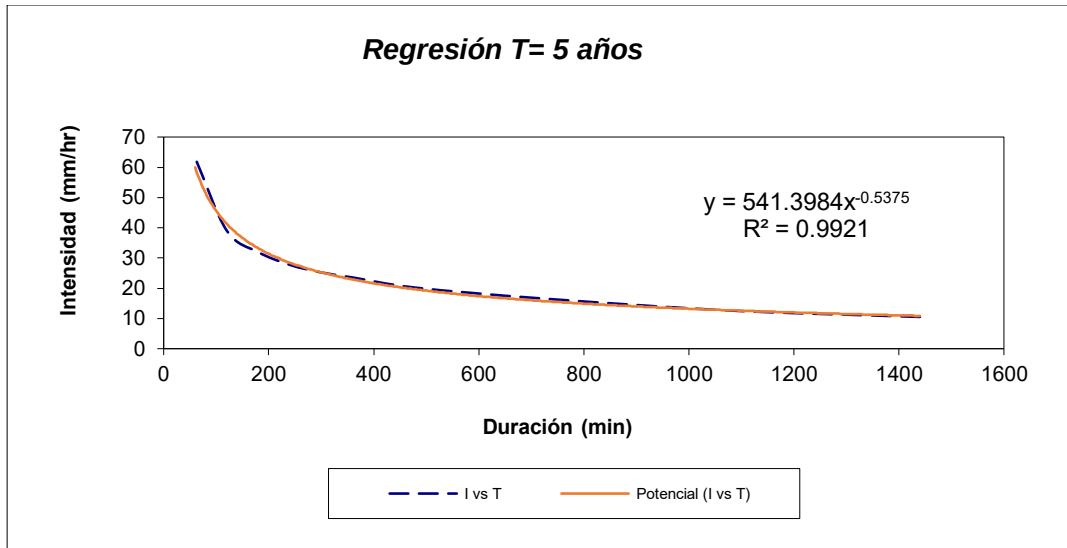
Para un periodo de retorno de 2 años:



Periodo de retorno para $T = 2$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	8.5398	7.2724	2.1447	15.5973	52.8878
2	1080	10.2477	6.9847	2.3271	16.2538	48.7863
3	720	13.4928	6.5793	2.6022	17.1202	43.2865
4	480	16.3963	6.1738	2.7971	17.2684	38.1156
5	360	19.1291	5.8861	2.9512	17.3711	34.6462
6	300	20.4954	5.7038	3.0202	17.2266	32.5331
7	240	22.5450	5.4806	3.1155	17.0750	30.0374
8	180	25.9609	5.1930	3.2566	16.9113	26.9668
9	120	31.7679	4.7875	3.4585	16.5573	22.9201
10	60	51.2385	4.0943	3.9365	16.1174	16.7637
10	4980	219.8133	58.1555	29.6095	167.4985	346.9435
$Ln(d) =$	6.0869	$d =$	440.0671	$n =$	-0.5375	

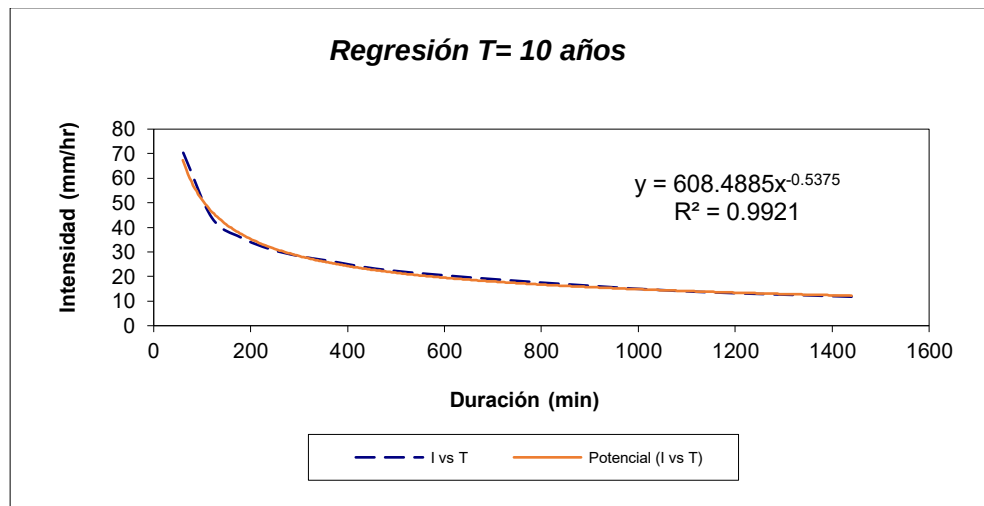
Para un periodo de retorno de 5 años:

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**



Periodo de retorno para T = 5 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	10.5061	7.2724	2.3520	17.1044	52.8878
2	1080	12.6074	6.9847	2.5343	17.7012	48.7863
3	720	16.5997	6.5793	2.8094	18.4837	43.2865
4	480	20.1718	6.1738	3.0043	18.5478	38.1156
5	360	23.5338	5.8861	3.1584	18.5909	34.6462
6	300	25.2148	5.7038	3.2274	18.4086	32.5331
7	240	27.7362	5.4806	3.3227	18.2107	30.0374
8	180	31.9387	5.1930	3.4638	17.9875	26.9668
9	120	39.0829	4.7875	3.6657	17.5494	22.9201
10	60	63.0369	4.0943	4.1437	16.9658	16.7637
10	4980	270.4282	58.1555	31.6817	179.5500	346.9435
Ln (d) =	6.2942	d =	541.3984	n =	-0.5375	

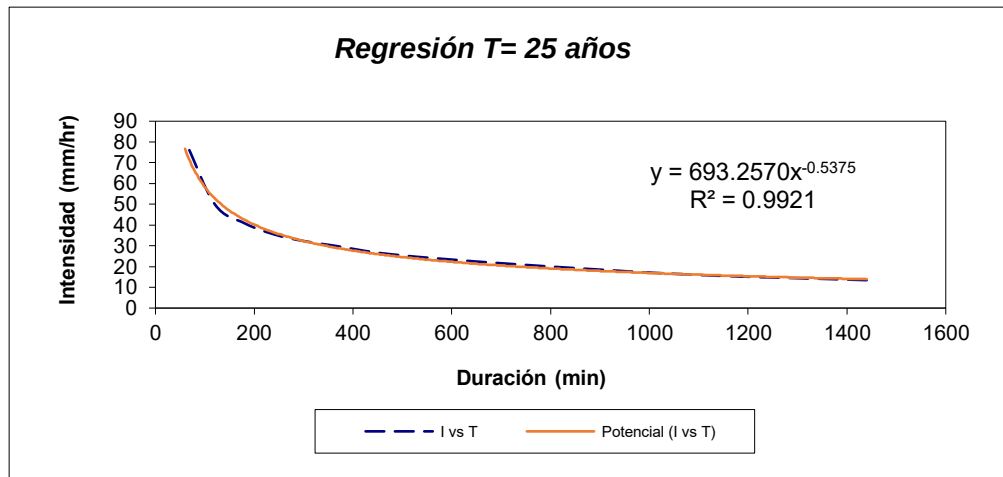
Para un periodo de retorno de 10 años:



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Periodo de retorno para T = 10 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	11.8081	7.2724	2.4688	17.9540	52.8878
2	1080	14.1697	6.9847	2.6511	18.5172	48.7863
3	720	18.6568	6.5793	2.9262	19.2523	43.2865
4	480	22.6715	6.1738	3.1211	19.2691	38.1156
5	360	26.4501	5.8861	3.2753	19.2785	34.6462
6	300	28.3394	5.7038	3.3443	19.0749	32.5331
7	240	31.1733	5.4806	3.4396	18.8510	30.0374
8	180	35.8965	5.1930	3.5806	18.5941	26.9668
9	120	43.9260	4.7875	3.7825	18.1087	22.9201
10	60	70.8484	4.0943	4.2605	17.4441	16.7637
10	4980	303.9397	58.1555	32.8500	186.3439	346.9435
Ln (d) =	6.4110	d =	608.4885	n =	-0.5375	

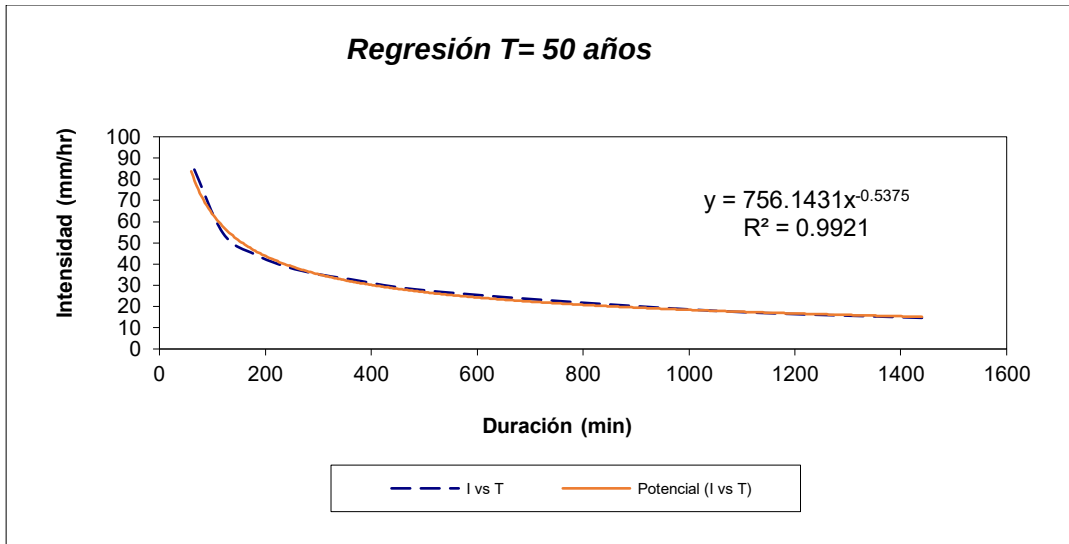
Para un periodo de retorno de 25 años:



Periodo de retorno para T = 25 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	13.4531	7.2724	2.5992	18.9025	52.8878
2	1080	16.1437	6.9847	2.7815	19.4282	48.7863
3	720	21.2558	6.5793	3.0566	20.1103	43.2865
4	480	25.8299	6.1738	3.2515	20.0743	38.1156
5	360	30.1348	5.8861	3.4057	20.0462	34.6462
6	300	32.2873	5.7038	3.4747	19.8188	32.5331
7	240	35.5161	5.4806	3.5700	19.5658	30.0374
8	180	40.8973	5.1930	3.7111	19.2714	26.9668
9	120	50.0454	4.7875	3.9129	18.7331	22.9201
10	60	80.7183	4.0943	4.3910	17.9781	16.7637
10	4980	346.2816	58.1555	34.1542	193.9287	346.9435
Ln (d) =	6.5414	d =	693.2570	n =	-0.5375	

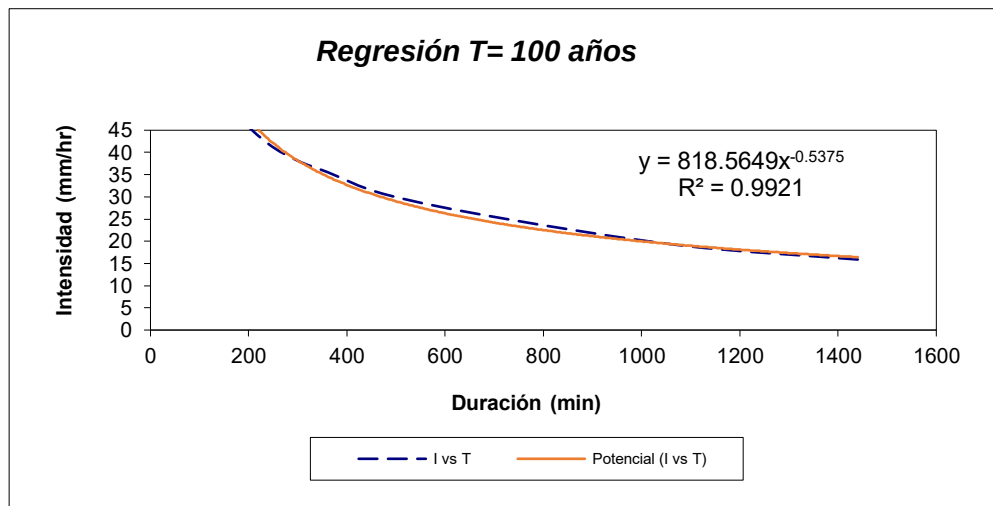
Para un periodo de retorno de 50 años:

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”



Periodo de retorno para T = 50 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	14.6734	7.2724	2.6860	19.5339	52.8878
2	1080	17.6081	6.9847	2.8684	20.0347	48.7863
3	720	23.1840	6.5793	3.1435	20.6816	43.2865
4	480	28.1729	6.1738	3.3384	20.6103	38.1156
5	360	32.8684	5.8861	3.4925	20.5573	34.6462
6	300	35.2161	5.7038	3.5615	20.3140	32.5331
7	240	38.7378	5.4806	3.6568	20.0417	30.0374
8	180	44.6071	5.1930	3.7979	19.7223	26.9668
9	120	54.5850	4.7875	3.9998	19.1488	22.9201
10	60	88.0404	4.0943	4.4778	18.3336	16.7637
10	4980	377.6932	58.1555	35.0225	198.9783	346.9435
Ln (d) =	6.6282	d =	756.1431	n =	-0.5375	

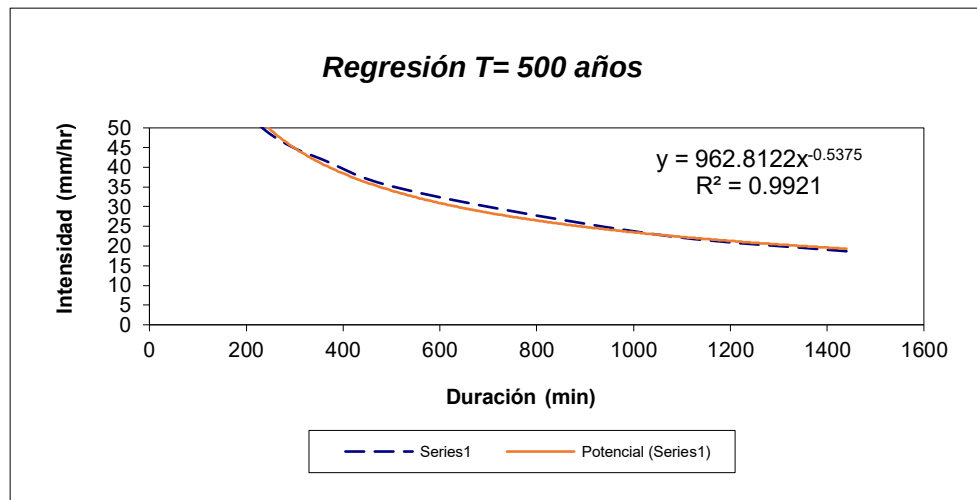
Para un periodo de retorno de 100 años:



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Periodo de retorno para $T = 100$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	15.8847	7.2724	2.7654	20.1108	52.8878
2	1080	19.0617	6.9847	2.9477	20.5887	48.7863
3	720	25.0979	6.5793	3.2228	21.2035	43.2865
4	480	30.4987	6.1738	3.4177	21.1000	38.1156
5	360	35.5818	5.8861	3.5718	21.0242	34.6462
6	300	38.1233	5.7038	3.6408	20.7665	32.5331
7	240	41.9357	5.4806	3.7361	20.4764	30.0374
8	180	48.2896	5.1930	3.8772	20.1342	26.9668
9	120	59.0912	4.7875	4.0791	19.5286	22.9201
10	60	95.3083	4.0943	4.5571	18.6584	16.7637
10	4980	408.8728	58.1555	35.8157	203.5913	346.9435
Ln (d) =	6.7076	d =	818.5649	n =	-0.5375	

Para un periodo de retorno de 500 años:



Periodo de retorno para $T = 500$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	18.6839	7.2724	2.9277	21.2911	52.8878
2	1080	22.4207	6.9847	3.1100	21.7224	48.7863
3	720	29.5206	6.5793	3.3851	22.2713	43.2865
4	480	35.8731	6.1738	3.5800	22.1021	38.1156
5	360	41.8520	5.8861	3.7341	21.9795	34.6462
6	300	44.8414	5.7038	3.8031	21.6922	32.5331
7	240	49.3256	5.4806	3.8984	21.3660	30.0374
8	180	56.7991	5.1930	4.0395	20.9771	26.9668
9	120	69.5042	4.7875	4.2414	20.3056	22.9201
10	60	112.1036	4.0943	4.7194	19.3229	16.7637
10	4980	480.9243	58.1555	37.4388	213.0303	346.9435
Ln (d) =	6.8699	d =	962.8122	n =	-0.5375	

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

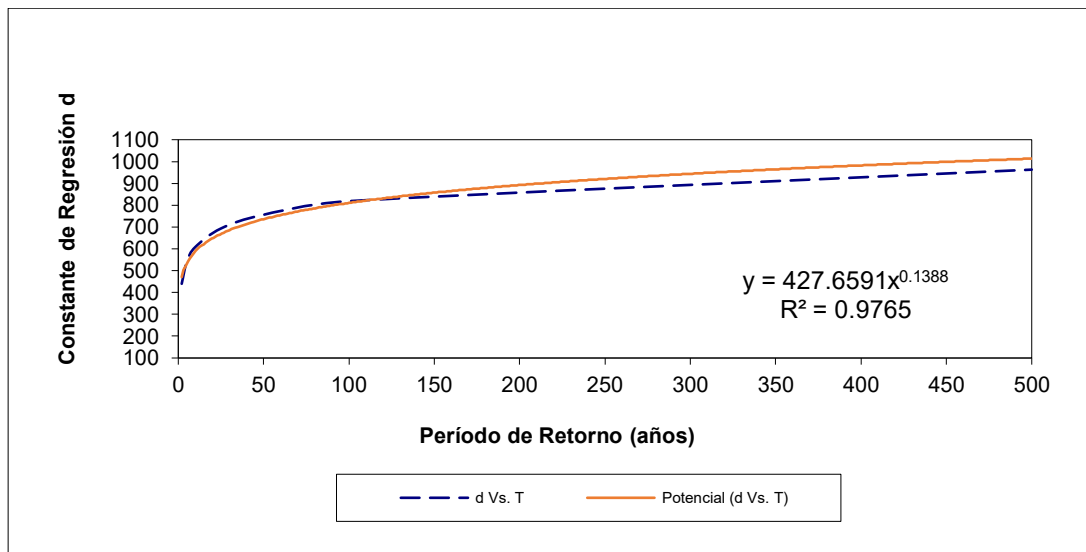
Teniendo el valor de n para cada uno de los años de retorno de lluvias se elegirá el promedio de los mismos como valor representativo, así:

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	440.06711635954	-0.53752143702
5	541.39837263354	-0.53752143702
10	608.48848141045	-0.53752143702
25	693.25701170252	-0.53752143702
50	756.14314993933	-0.53752143702
100	818.56494680271	-0.53752143702
500	962.81219018063	-0.53752143702
Promedio =	688.67589557553	-0.53752143702

En función del cambio de variable realizado, se efectuó una regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión, con el fin de obtener los valores de la ecuación correspondiente (Gumbel, 1958):

$$d = K T^m$$

Teniendo la regresión potencial:



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Regresión potencial						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	440.0671	0.6931	6.0869	4.2191	0.4805
2	5	541.3984	1.6094	6.2942	10.1301	2.5903
3	10	608.4885	2.3026	6.4110	14.7618	5.3019
4	25	693.2570	3.2189	6.5414	21.0560	10.3612
5	50	756.1431	3.9120	6.6282	25.9298	15.3039
6	100	818.5649	4.6052	6.7076	30.8894	21.2076
7	500	962.8122	6.2146	6.8699	42.6935	38.6214
7	692	4820.7313	22.5558	45.5391	149.6797	93.8667
Ln (K) =		6.0583	K =	427.6591	m =	0.1388

Habiendo obtenido los valores de los factores característicos de la zona de estudio k, m y n, se obtiene finalmente la fórmula de intensidades de precipitaciones para nuestra zona de estudio:

$$I = \frac{427.6591 * T^{0.1388}}{t^{-0.53752}}$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

T = período de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

con lo que obtenemos la tabla de Intensidad-Duración-Frecuencia:

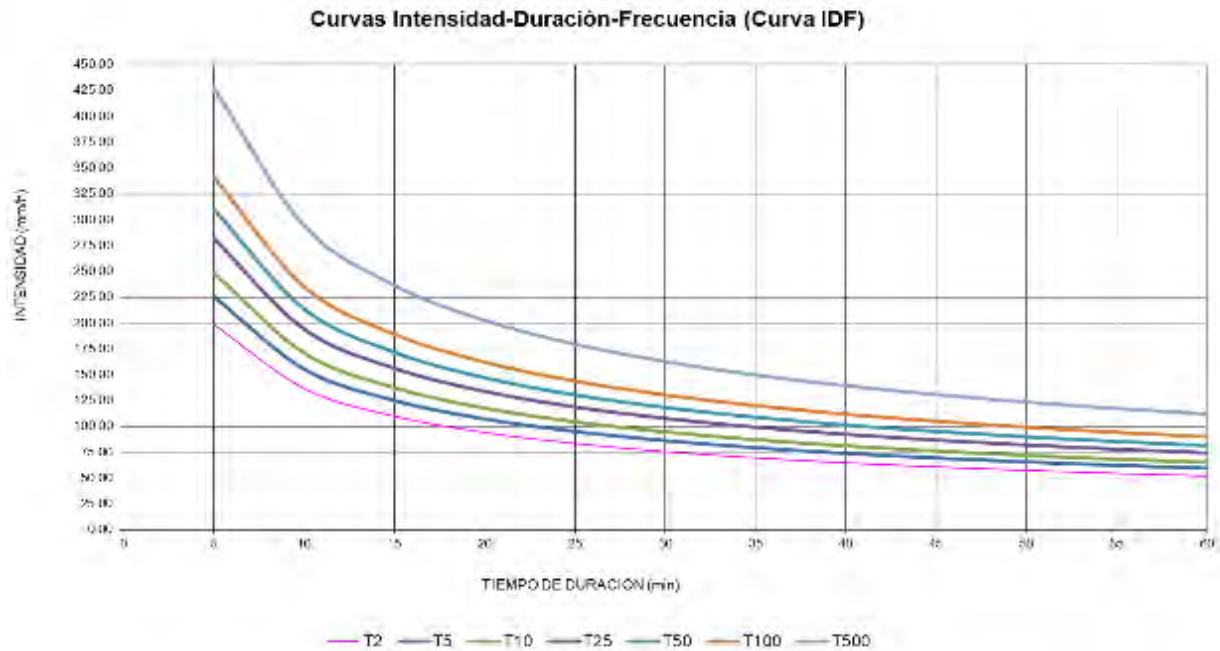
Tabla 33 Tabla de Intesidad-Duración-Frecuencia

Tabla de intensidades - Tiempo de duración - Frecuencia												
Frecuencia	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	198.23	136.57	109.83	94.09	83.46	75.67	69.65	64.82	60.85	57.50	54.63	52.13
5	225.12	155.09	124.72	106.85	94.78	85.93	79.09	73.62	69.10	65.30	62.03	59.20
10	247.85	170.76	137.32	117.64	104.35	94.61	87.08	81.05	76.08	71.89	68.30	65.18
25	281.47	193.92	155.94	133.60	118.50	107.44	98.89	92.04	86.40	81.64	77.56	74.02
50	309.89	213.50	171.69	147.09	130.47	118.29	108.88	101.34	95.12	89.88	85.40	81.49
100	341.19	235.06	189.03	161.95	143.64	130.23	119.88	111.57	104.73	98.96	94.02	89.72
500	426.59	293.90	236.35	202.48	179.60	162.83	149.88	139.50	130.94	123.73	117.55	112.18

Y finalmente, la curva Intensidad-Duración-Frecuencia:

Figura 45 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia IDF

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”



El Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) estableció que para adoptar el periodo de retorno en el diseño de una obra, resultó fundamental analizar la relación entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, el cual dependió de factores económicos, sociales, técnicos y otros criterios de evaluación.

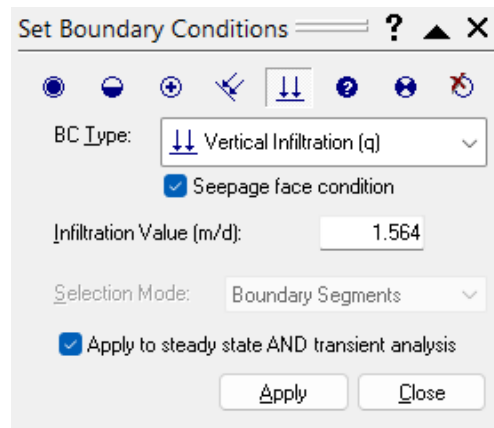
Para nuestro caso, al ser un estudio sobre la condición actual de los andenes de estudio, se tomó la decisión de considerar un periodo de retorno de 10 años y un tiempo de concentración de 1 hora, por lo cual se tiene que la intensidad de estudio es de 65.18 mm/hr.

En el programa Slide V6, dicha intensidad se coloca con unidades de m/día, por lo que se tendría que nuestra intensidad es de:

$$I = 1.564 \text{ m/d}$$

Figura 46 Datos de la precipitación pluvial en Slide V6

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”



Para obtener los factores de seguridad en condiciones de los suelos con infiltración a causa de las precipitaciones pluviales se deben establecer propiedades de los materiales como la conductividad hidráulica y permeabilidad horizontal y vertical. Estas propiedades se obtienen a partir de la recolección de datos como sigue:

Valores para conductividad eléctrica en algunos materiales

Tabla 34 Valores típicos de conductividad eléctrica de materiales

Tipo de suelo	Conductividad hidráulica cm/s
Grava limpia	1 a 100
Arena y grava mezclada	10^{-2} a 10
Arena gruesa limpia	10^{-2} a 1
Arena fina	10^{-2} a 10^{-1}
Arena limosa	10^{-3} a 10^{-2}
Arena arcillosa	10^{-4} a 10^{-2}
Limo	10^{-8} a 10^{-2}
Arcilla	10^{-10} a 10^{-6}

Teniendo los valores de densidad seca de los materiales obtenido en los ensayos de laboratorio, los valores de conductividad eléctrica y permeabilidad horizontal y vertical, se ingresa en el programa y se obtiene los valores de F.S. en condiciones pseudo-estáticas con infiltración:

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Tabla 35 Valores de los materiales para condición con infiltración

Material Name	Color	Model	KS (m/s)	K2/K1	K1 Angle	Soil Type
Muro Inca		Simple	1e-009	0.56	0	Clay
Arena		Simple	1e-005	0.4	0	Sand
Suelo Orgánico		Simple	1e-005	1	0	Clay
Arcilla		Simple	1e-009	0.5	0	Clay
Depósito Fluvioglacial		Simple	1e-006	0.67	45	Loam
Grava		Simple	0.0001	1	0	General
Roca Alterada		Simple	1e-006	1	0	General
Roca Sana		Simple	1e-011	1	0	General
Piedras Medianas		Simple	0.001	1	45	General

Donde:

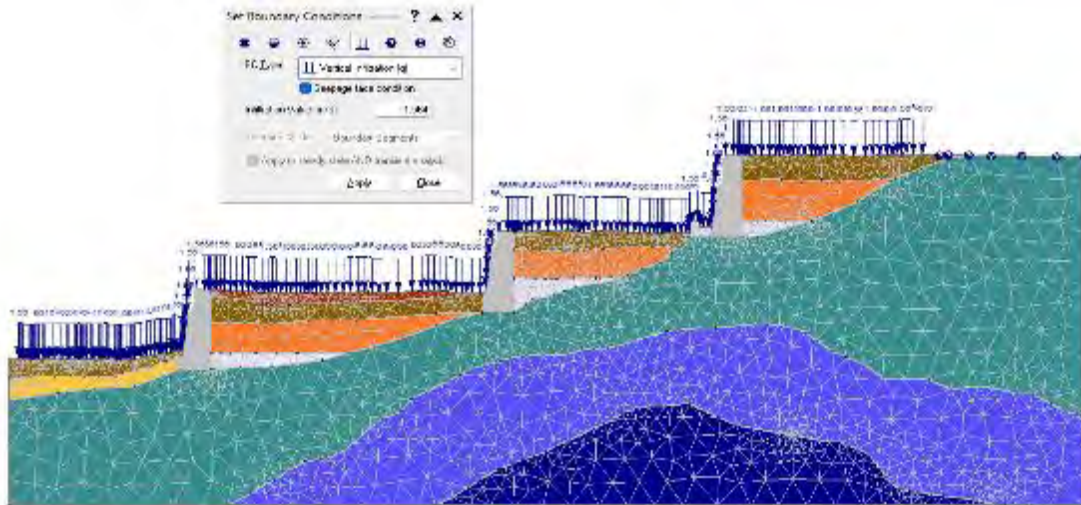
Ks: Conductividad hidráulica saturada

K1: Conductividad en la dirección horizontal

K2: Conductividad en la dirección vertical

Figura 47 Asignación de la Precipitación al modelo de análisis

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”



5.1.6. Obtención de las cargas vehiculares

Para determinar la demanda vehicular, se tomó como referencia lo establecido en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (R.D. N° 10-2014-MTC/14) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), el cual indicó que el estudio de tráfico debió proporcionar la información del Índice Medio Diario Anual (IMDA) para cada tramo vial materia de análisis.

Para calcular el IMDA, se necesitan los índices de variación mensual, datos que el MTC posee y puede facilitar a partir de los registros continuos obtenidos en las estaciones de peaje y pesaje que administra, así como en aquellas vinculadas a los contratos de concesiones viales.

Para el proyecto de investigación se realizó el estudio de tránsito a partir del día lunes 06 de junio del 2022 al día domingo 12 de junio del 2022. La razón para elegir estas fechas fue porque en nuestra región se celebran las fiestas del Cusco, hecho que incrementa la concurrencia de turistas nacionales y extranjeros con lo que se incrementa el número de vehículos de transporte turístico que circulan por los sitios arqueológicos. Siendo Raqchi uno de estos sitios, durante el mes de junio de cada año también se incrementa el tránsito vehicular pesado, y ésta fue la principal razón para realizar nuestro estudio en dichas fechas, ya que nos proporcionará la situación más

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

desfavorable para los andenes. Lo primero fue realizar el conteo vehicular y registrar en las tablas correspondientes, teniendo por ejemplo el registro para el día lunes 06 de junio en sentido de ingreso:

Tabla 36 Volumen de tráfico promedio sentido ingreso para el día Lunes 06/06/22

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS		COMBI RURAL	MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL			2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2.86
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
06-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
07-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
08-09	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2.86
09-10	2	-	-	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	17.14
10-11	3	-	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	25.71
11-12	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5.71
12-13	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	8.57
13-14	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	11.43
14-15	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2.86
15-16	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	14.29
16-17	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5.71
17-18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
18-19	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2.86
19-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
TOTAL	21	0	1	0	2	0	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	100.00
%	60.00	0.00	2.86	0.00	5.71	0.00	22.86	5.71	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Así sucesivamente para cada uno de los días de la semana y en ambos sentidos, obteniendo al final:

Tabla 37 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Lunes 06/06/22

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS		COMBI RURAL	MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL			2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.82
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
06-07	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.82
07-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
08-09	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4.23
09-10	2	-	-	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	8.45
10-11	5	-	-	-	1	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	18.31
11-12	3	-	-	-	1	-	7	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	18.31
12-13	2	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	7.04
13-14	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	12.68
14-15	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4.23
15-16	6	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	9.86
16-17	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	9.86
17-18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
18-19	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.41
19-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
TOTAL	43	0	2	0	4	0	16	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	100.00
%	60.56	0.00	2.82	0.00	5.63	0.00	22.54	5.63	2.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Tabla 38 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Martes 07/06/22

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.08
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
06-07	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.04
07-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
08-09	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.08
09-10	3	1	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8.33
10-11	7	-	3	-	-	2	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	22.92
11-12	5	1	1	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15.63
12-13	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3.13
13-14	1	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7.29
14-15	6	-	1	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10.42
15-16	7	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10.42
16-17	8	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	11.46
17-18	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3.13
18-19	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.04
19-20	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.04
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
TOTAL	48	4	8	0	0	8	26	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	100.00
%	50.00	4.17	8.33	0.00	0.00	8.33	27.08	2.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Tabla 39 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Miércoles 08/06/22

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
06-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
07-08	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4.21
08-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
09-10	4	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10.53
10-11	8	-	4	-	-	-	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	25.26
11-12	6	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	14.74
12-13	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.05
13-14	6	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12.63
14-15	2	4	2	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12.63
15-16	8	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12.63
16-17	4	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5.26
17-18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
18-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
19-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.05
TOTAL	42	6	7	0	0	8	28	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	100.00
%	44.21	6.32	7.37	0.00	0.00	8.42	29.47	2.11	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Tabla 40 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Jueves 09/06/22

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
06-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
07-08	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2.40
08-09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
09-10	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4.00
10-11	9	2	3	-	-	-	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	20.00
11-12	7	-	1	-	-	-	12	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	18.40
12-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
13-14	6	1	1	-	1	-	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	13.60
14-15	8	4	2	-	-	-	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	17.60
15-16	9	1	2	-	1	1	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	13.60
16-17	5	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	6.40
17-18	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.60
18-19	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.80
19-20	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.80
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.80
TOTAL	55	8	10	0	4	2	38	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	100.00
%	44.00	6.40	8.00	0.00	3.20	1.60	30.40	4.80	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Tabla 41 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Viernes 10/06/22

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
06-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
07-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
08-09	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.11
09-10	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.22
10-11	5	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	12.22
11-12	8	-	1	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	16.67
12-13	2	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6.67
13-14	4	-	5	-	-	-	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	17.78
14-15	5	1	1	-	-	-	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	14.44
15-16	8	-	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	13.33
16-17	8	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11.11
17-18	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.22
18-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
19-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.22
TOTAL	44	2	10	0	0	6	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	100.00
%	48.89	2.22	11.11	0.00	0.00	6.67	31.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Tabla 42 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Sábado 11/06/22

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.72
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
06-07	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.72
07-08	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.86
08-09	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4.31
09-10	3	-	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	6.03
10-11	6	-	1	-	-	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	14.66
11-12	9	-	3	-	-	-	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	18.97
12-13	4	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	6.03
13-14	6	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	10.34
14-15	3	-	4	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	13.79
15-16	9	-	3	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	14.66
16-17	2	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3.45
17-18	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.86
18-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
19-20	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.86
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.72
TOTAL	54	0	16	0	0	2	42	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	100.00
%	46.55	0.00	13.79	0.00	0.00	1.72	36.21	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Tabla 43 Volumen de tráfico promedio ambos sentidos para el día Domingo 12/06/22

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.79
06-07	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.79
07-08	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.79
08-09	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3.97
09-10	5	1	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	7.94
10-11	6	-	2	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	11.90
11-12	8	1	2	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	13.49
12-13	6	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	7.14
13-14	6	-	2	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	9.52
14-15	8	2	2	-	-	-	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	16.67
15-16	9	1	3	-	-	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	13.49
16-17	7	1	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	8.73
17-18	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2.38
18-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
19-20	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.79
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.59
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
TOTAL	66	6	16	0	0	4	30	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126	100.00
%	52.38	4.76	12.70	0.00	0.00	3.17	23.81	1.59	1.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

En resumen:

Tabla 44 Resumen del volumen de tráfico promedio de salida y entrada

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
LUNES 06/06/2022																				
ENTRADA	21	0	1	0	2	0	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
SALIDA	22	0	1	0	2	0	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
Ambos	43	0	2	0	4	0	16	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71
MARTES 07/06/2022																				
ENTRADA	24	2	4	0	0	4	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
SALIDA	24	2	4	0	0	4	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
Ambos	48	4	8	0	0	8	26	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96
MIERCOLES 08/06/2022																				
ENTRADA	21	3	4	0	0	4	14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
SALIDA	21	3	3	0	0	4	14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
Ambos	42	6	7	0	0	8	28	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95
JUEVES 09/06/2022																				
ENTRADA	28	4	5	0	2	1	19	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63
SALIDA	27	4	5	0	2	1	19	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
Ambos	55	8	10	0	4	2	38	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125
VIERNES 10/06/2022																				
ENTRADA	22	1	5	0	0	3	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
SALIDA	22	1	5	0	0	3	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
Ambos	44	2	10	0	0	6	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
SABADO 11/06/2022																				
ENTRADA	27	0	8	0	0	1	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58
SALIDA	27	0	8	0	0	1	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58
Ambos	54	0	16	0	0	2	42	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116
DOMINGO 12/06/2022																				
ENTRADA	33	3	8	0	0	2	15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63
SALIDA	33	3	8	0	0	2	15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63
Ambos	66	6	16	0	0	4	30	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126
TOTAL	352	26	69	0	8	30	208	18	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	719

Figura 48 Variación horaria de tránsito vehicular



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 49 Distribución porcentual de vehículos en la zona de estudio

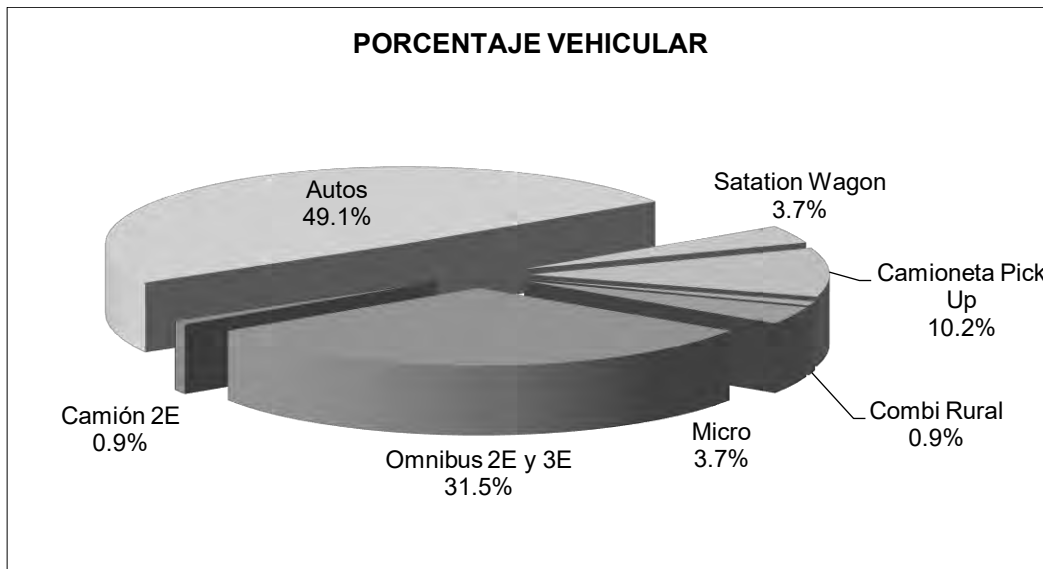
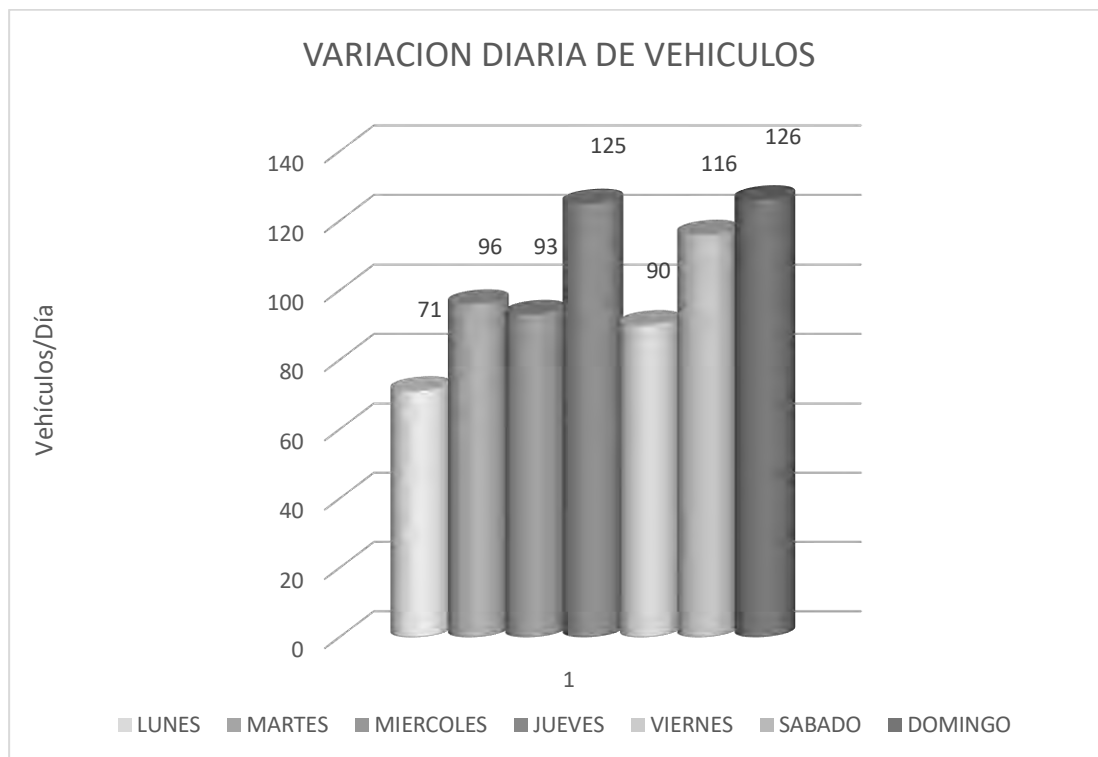


Figura 50 Variación diaria de vehículos

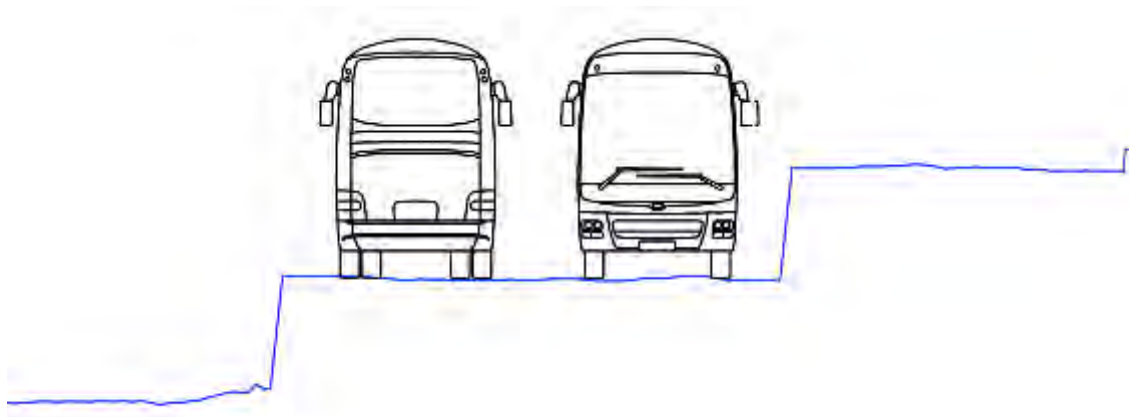


Del grafico anterior podemos inferir que, para el sitio de estudio, los principales tipos de vehículos a considerar son los buses de dos y 3 ejes, ya que estos son los que mayor carga vehicular generan en los andenes.

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

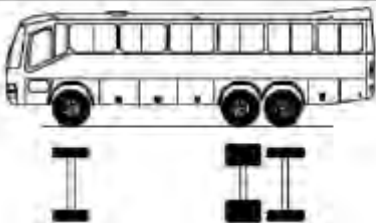
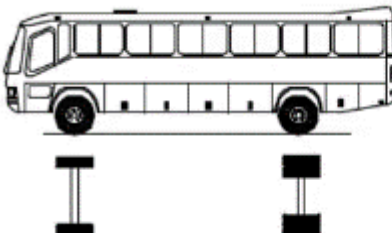
Entonces se considera la situación más crítica cuando existen dos vehículos pesados tipo B3-1 y B2 sobre la misma plataforma en el primer andén como se muestra en la figura:

Figura 51 Situación crítica de carga vehicular sobre el primer andén



Por consiguiente, se tomará el peso bruto máximo de acuerdo al manual de carreteras Suelos Geológicos, Carreteras y Pavimentos en la sección Suelos y Pavimentos, donde indica:

Tabla 45 Pesos máximos a considerar para nuestro análisis

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
B3-1		14,00	7	16	---	---	---	23
B2		13,20	7	11	---	---	---	18

Para el programa Slide V6 la carga vehicular se representa en una carga distribuida sobre una superficie de contacto, esto se expresa en términos de presión lineal en unidades de KN/m^2 , en el presente cálculo se consideró una sección lineal de 1m de ancho unitario. Además, para el

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

caso más crítico de análisis se consideró el momento en el que se produzca el cruce entre los dos vehículos de diseño coincidiendo un alineamiento entre los ejes traseros de ambos vehículos.

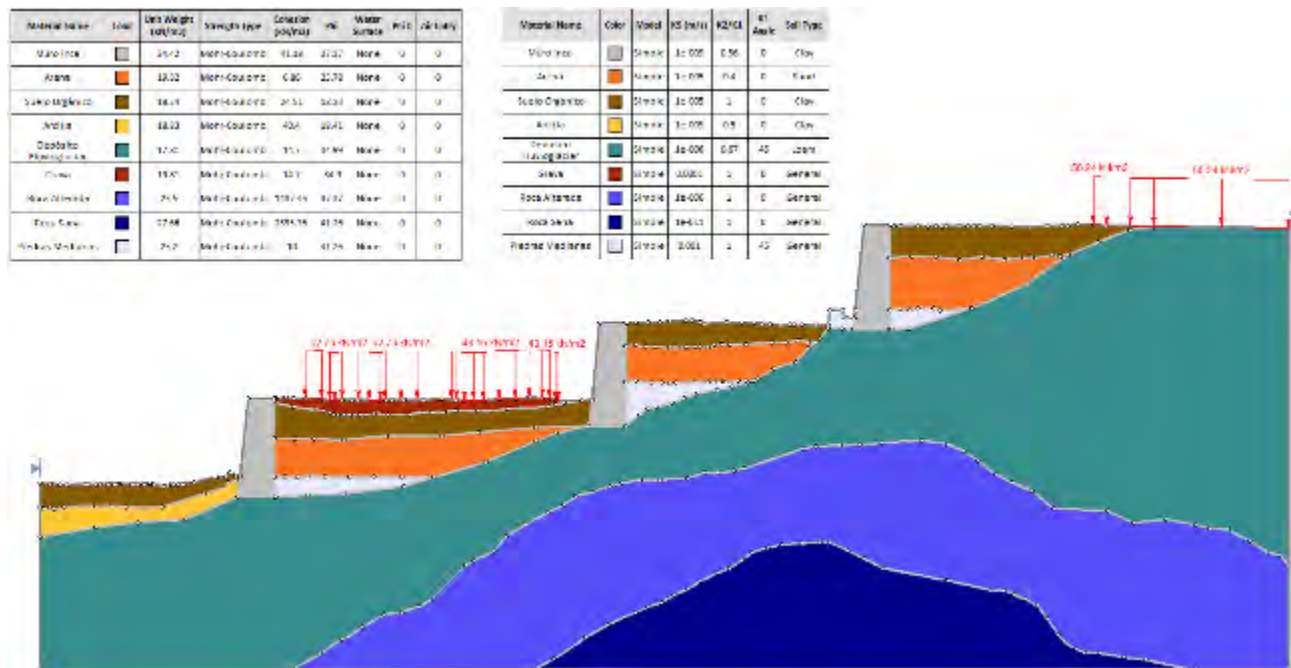
Entonces tenemos:

Tabla 46 Pesos de los vehículos para el programa

Vehículo	Peso máx. Ejes posteriores (t)	Peso máx. Ejes posteriores (kN)	Ancho de ejes (m)	Carga distribuida (NK/m)
B3-1	16	156.91	2.5	62.764
B2	11	107.87	2.5	43.148

Entonces tendremos:

Figura 52 Esquema de análisis final con carga vehicular



5.1.7. Método de equilibrio Límite

El método de equilibrio límite se realizó con el programa Slide V6, en el cual se ingresó la estratigrafía de los suelos existentes en el área de estudio, además de las propiedades físicas y las condiciones para el análisis estático y pseudo-estático mediante la superficie de falla circular y se computará el factor de seguridad.

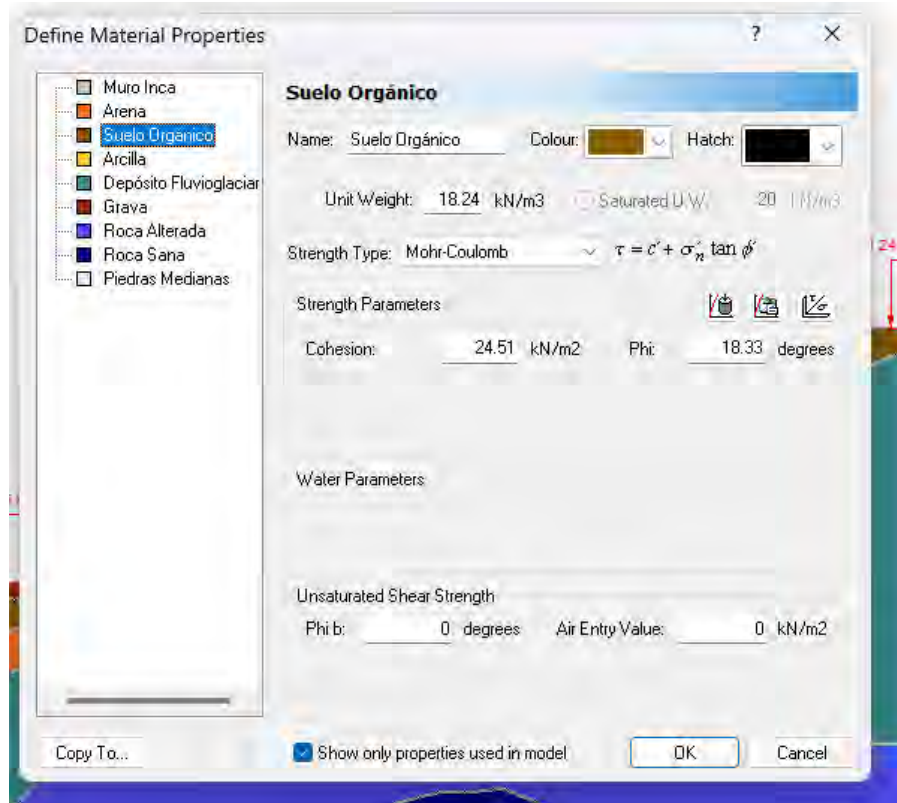
5.1.7.1. Modelamiento y asignación de las propiedades a los taludes

Para la modelación en el programa Slide V.6 lo primero es importar el perfil longitudinal de los taludes desde el programa AutoCAD en formato DXF, y de la misma forma se definen las capas de los suelos de acuerdo al análisis estratigráfico realizado anteriormente.

Completado la delimitación de la superficie y las capas del terreno, se procedió a introducir los parámetros de resistencia que se obtuvieron de los análisis de suelos en laboratorio y de algunos valores obtenidos de las fuentes externas que se consultaron.

Cabe mencionar que, para los muros inca, al ser compuestos por piedras y mortero, se realizó el análisis como un material suelto habiendo realizado un análisis de ponderación aritmética para convertir el valor representativo entre las piedras y el mortero que los une, pero que sin embargo el valor de la cohesión del muro en conjunto depende únicamente del valor de la cohesión del mortero utilizado para la unión de la mampostería.

Figura 53. Asignación de Propiedades de los Materiales



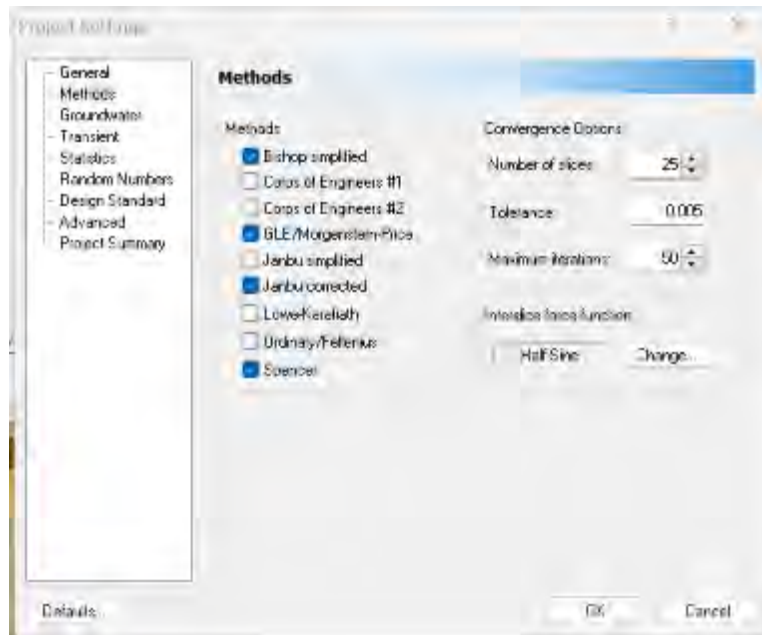
Asignación de las cargas presentes en el talud

Se asigna la carga sísmica que se determinó mediante los parámetros del suelo y la norma NTP E.030 Diseño Sismorresistente, además de las cargas externas consideradas para el análisis como son el peso de las viviendas construidas sobre el tercer andén y el peso de los vehículos sobre el primer andén, existen cargas adicionales como el peso de las personas, animales y cultivo sobre los andenes pero que representan un valor ínfimo por lo que no son consideradas para el análisis.

Definición de los métodos de análisis

Se utilizó 4 métodos de análisis de fajas o dovelas a usar para obtener el factor de seguridad, así mismo se delimitaron la cantidad de dovelas a tener en cuenta, su tolerancia y el número de iteraciones que determinan la convergencia de los resultados. Los métodos a utilizar serán: Bishop simplified, GLE/Mongestern-Price, Janbu corrected y Spencer.

Figura 54 Métodos de análisis

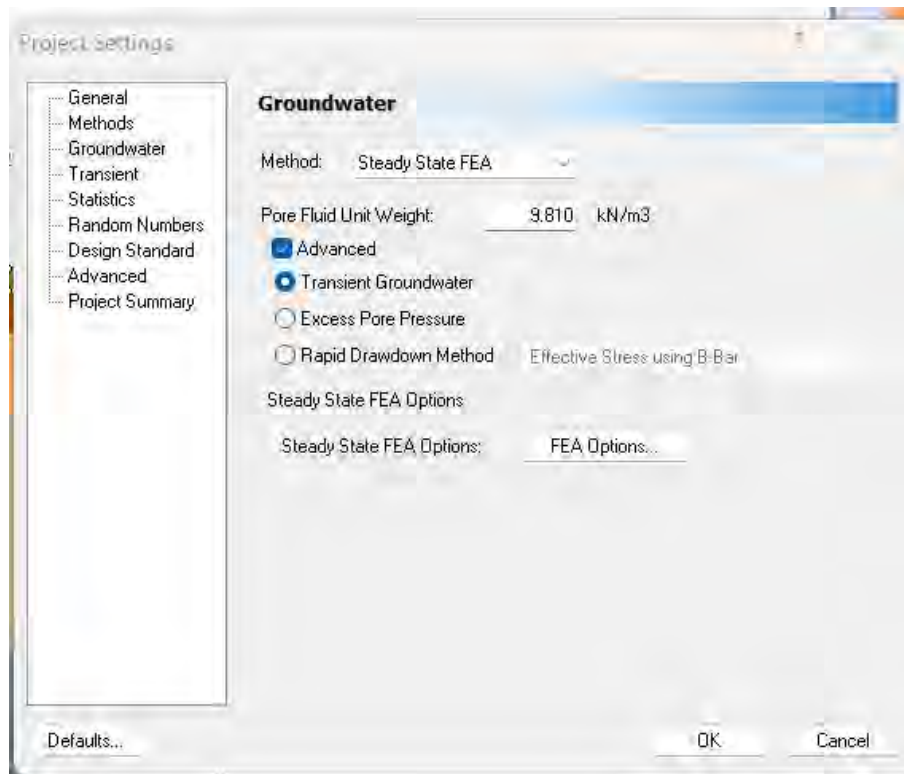


Etapas de Flujo Estacionario

El flujo estacionario determina las condiciones de frontera para el análisis de la infiltración de aguas pluviales, se ha seleccionado el flujo estacionario como parámetro de análisis.

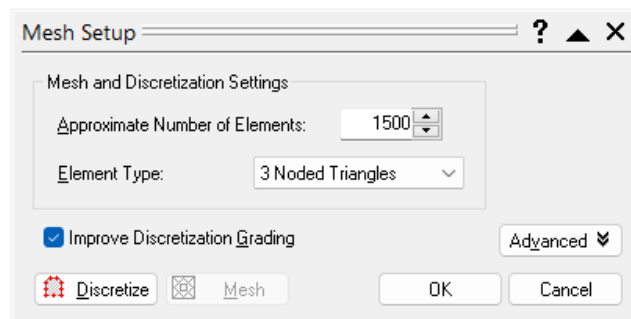
“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 55 Métodos equilibrio límite para condición pseudo-estatica con infiltración



Una vez generado el flujo estacionario se ha establecido el tipo de elemento para la división de la malla que para el caso nuestro fue de 3 nodos (triangulo).

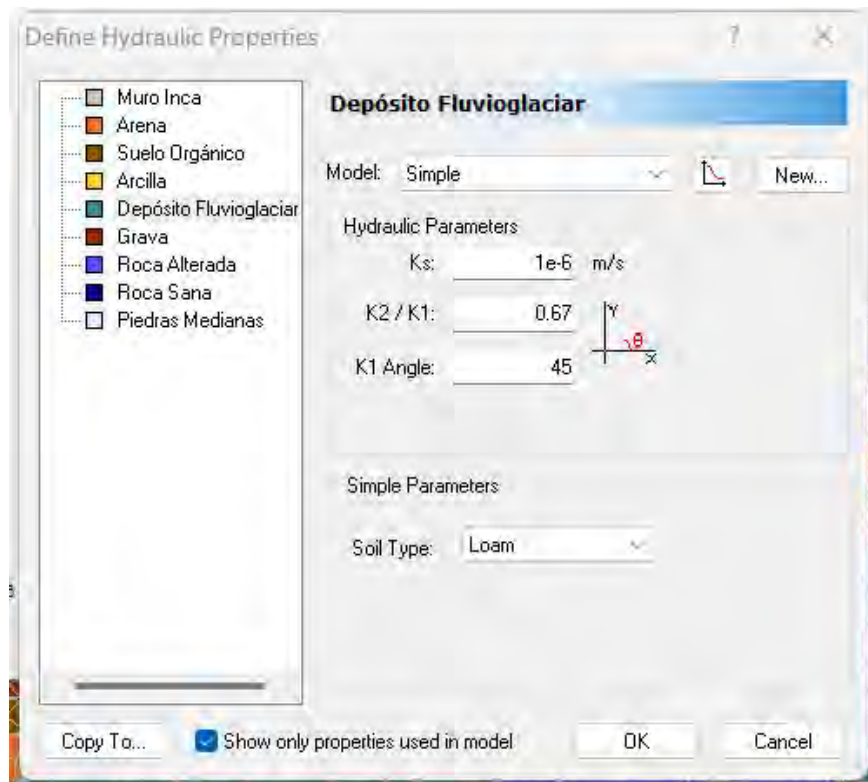
Figura 56. Definición de los métodos de análisis hidrológico



Posteriormente, se asignan las propiedades hidráulicas de los materiales:

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 57. Asignación de Propiedades Hidráulicas de los Materiales



Finalmente, se procede a establecer las condiciones de frontera que se requieren en el programa Slide V6 para definir la infiltración en m/d que como se mencionó líneas arriba para el caso de estudio es de:

$$I = 1.564 \text{ m/d}$$

VI. RESULTADOS

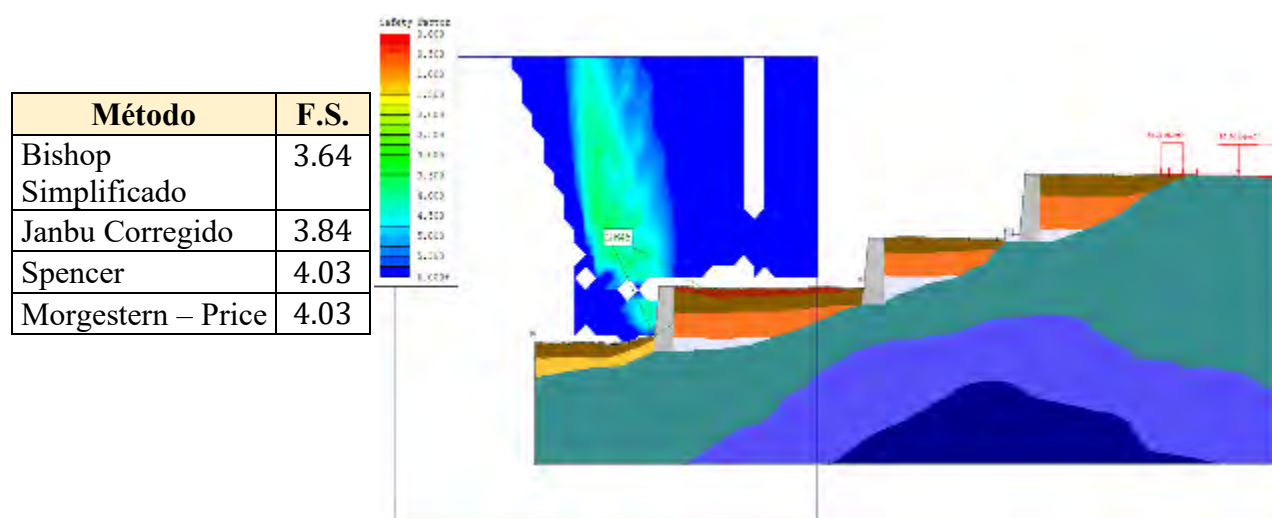
6.1. Resultados de la estabilidad de taludes sin carga vehicular

6.1.1. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Estáticas

Luego de haber ingresado los valores de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos dentro del programa Slide V6, se procedió a calcular los factores de Seguridad para los muros individualmente y en conjunto para la condición estática, obteniendo los siguientes resultados:

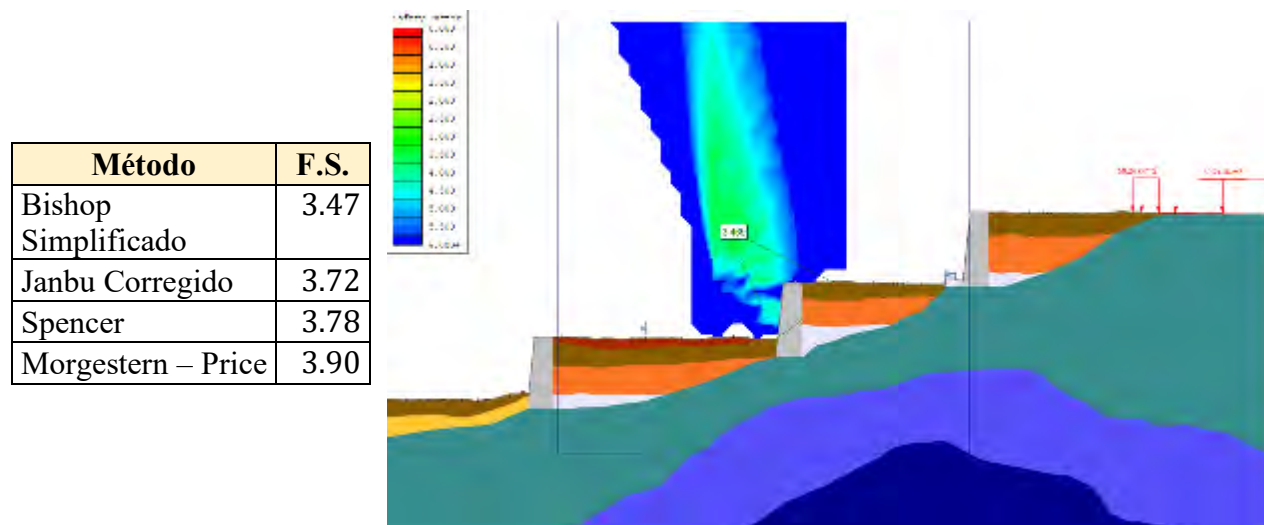
PRIMER ANDEN

Figura 58. Factores de Seguridad Condición estática - Primer Anden



SEGUNDO ANDEN

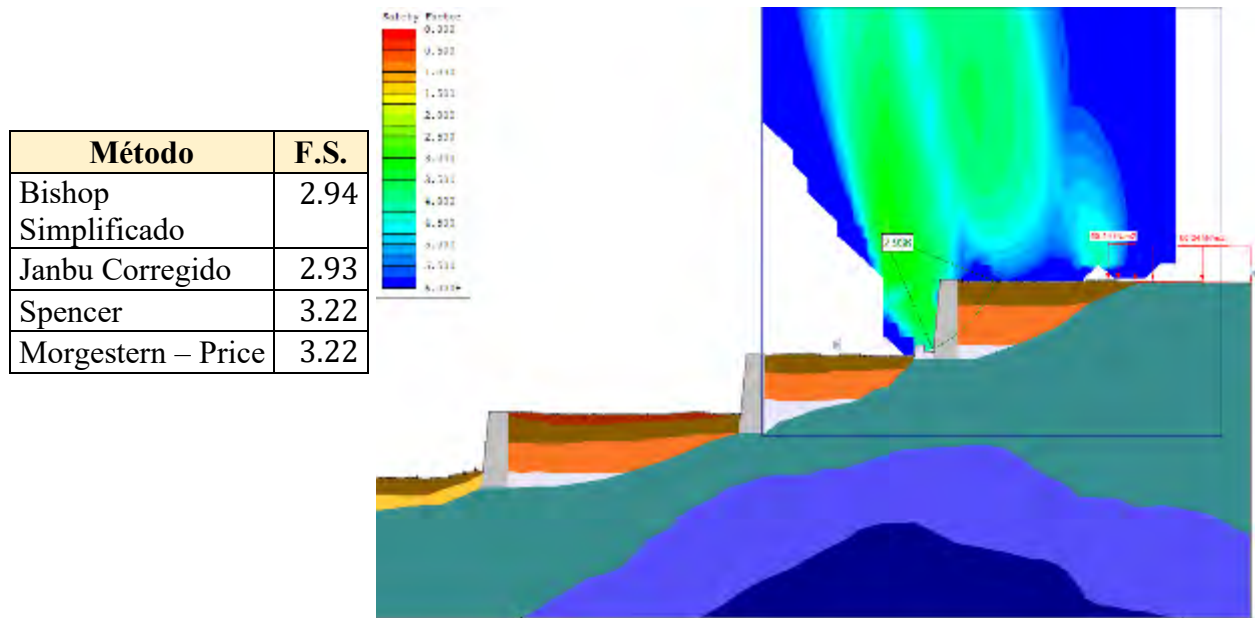
Figura 59. Factores de Seguridad Condición estática - Segundo Andén



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

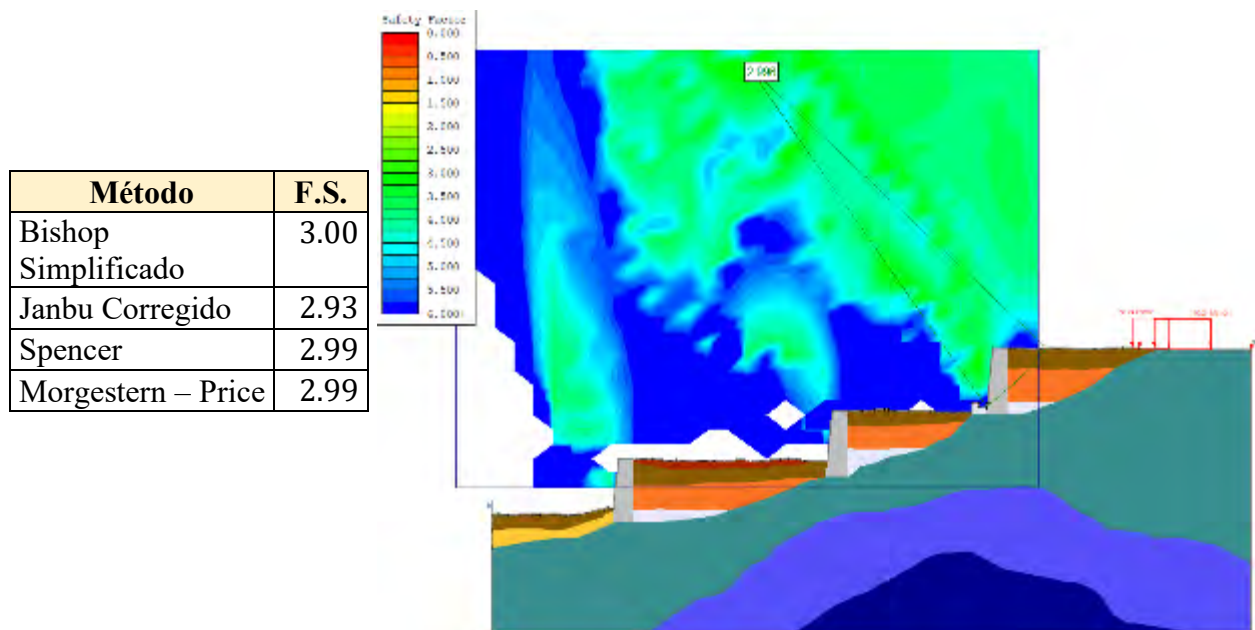
TERCER ANDEN

Figura 60. Factores de Seguridad Condición estática – Tercer Andén



SISTEMA DE LOS 3 ANDENES EN CONJUNTO

Figura 61. Factores de Seguridad Condición estática - En Conjunto



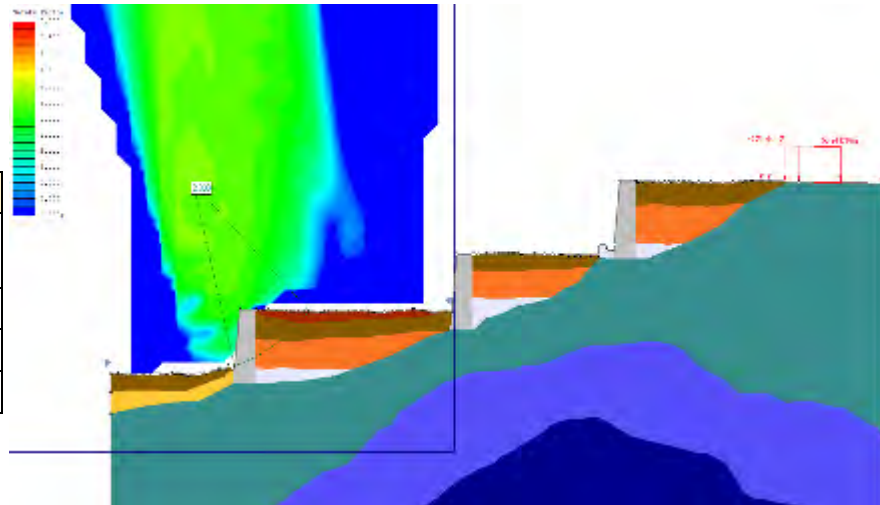
“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

6.1.2. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Pseudo-estática

PRIMER ANDEN

Figura 62. Factores de Seguridad Condición Pseudo-estática - Primer Andén

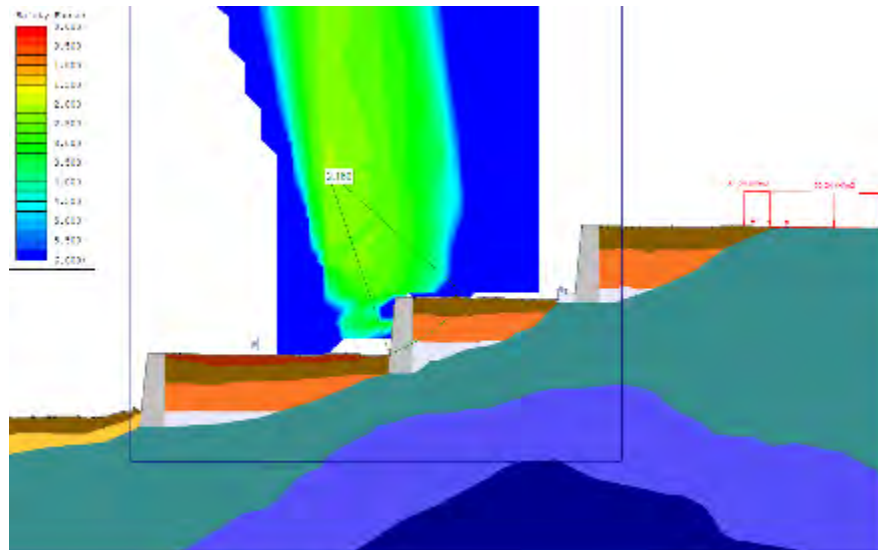
Método	F.S.
Bishop Simplificado	2.30
Janbu Corregido	2.28
Spencer	2.54
Morgestern – Price	2.51



SEGUNDO ANDEN

Figura 63. Factores de Seguridad Condición Pseudo-estática - Segundo Andén

Método	F.S.
Bishop Simplificado	2.16
Janbu Corregido	2.16
Spencer	2.45
Morgestern – Price	2.43

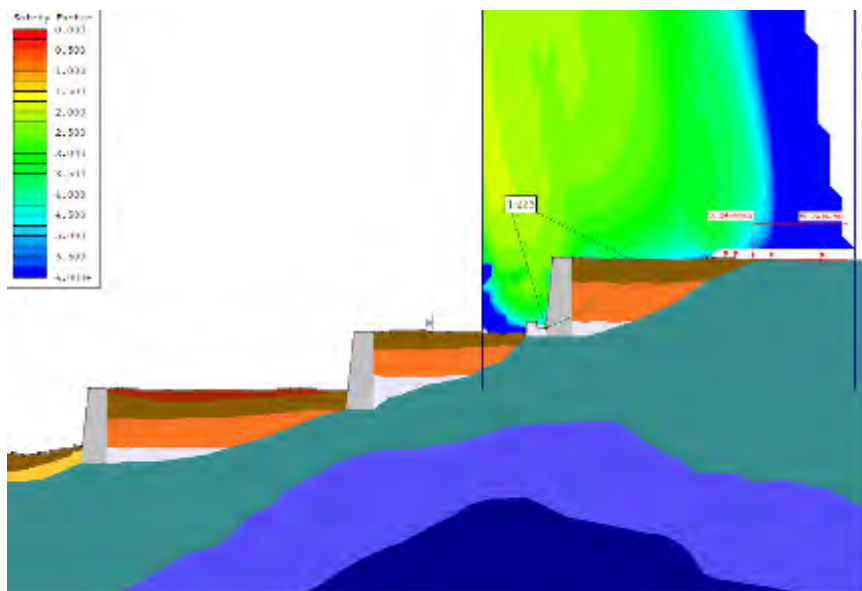


“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

TERCER ANDEN

Figura 64. Factores de Seguridad Condición Pseudo-estática - Tercer Andén

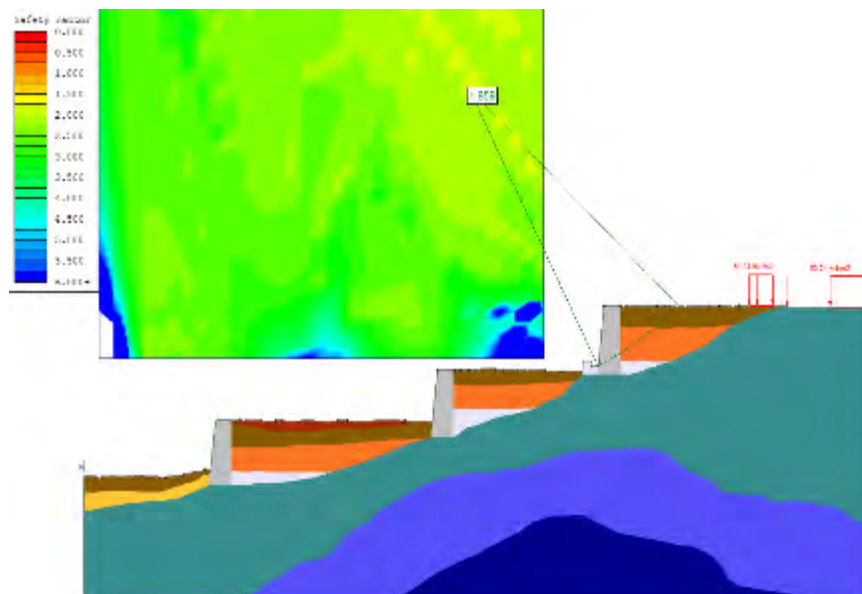
Método	F.S.
Bishop Simplificado	1.92
Janbu Corregido	1.81
Spencer	2.04
Morgestern – Price	2.04



SISTEMA DE LOS 3 ANDENES EN CONJUNTO

Figura 65. Factores de Seguridad Condición Pseudo-estática - En Conjunto

Método	F.S.
Bishop Simplificado	1.86
Janbu Corregido	1.87
Spencer	1.97
Morgestern – Price	1.98



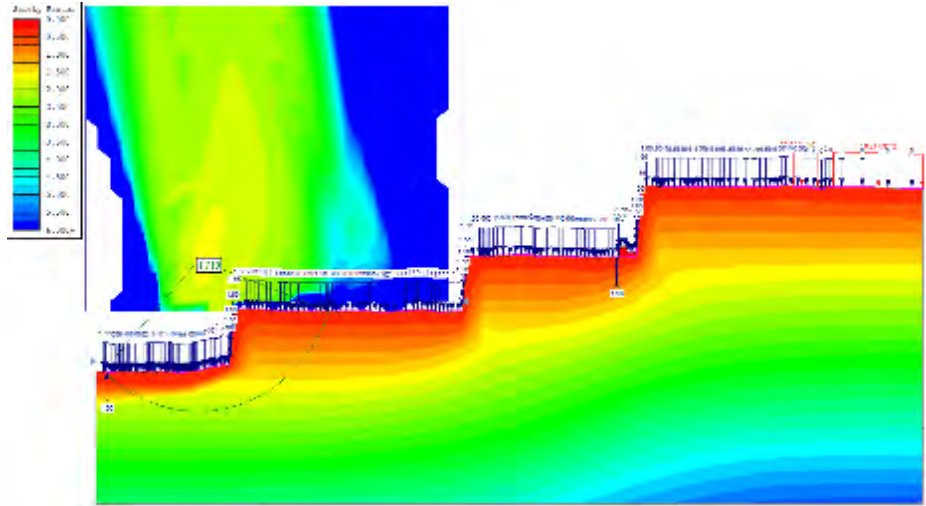
“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

6.1.3. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Pseudo-estático con infiltración

PRIMER ANDEN

Figura 66. Factores de seguridad Condición Pseudo-estática con Infiltración - Primer Andén

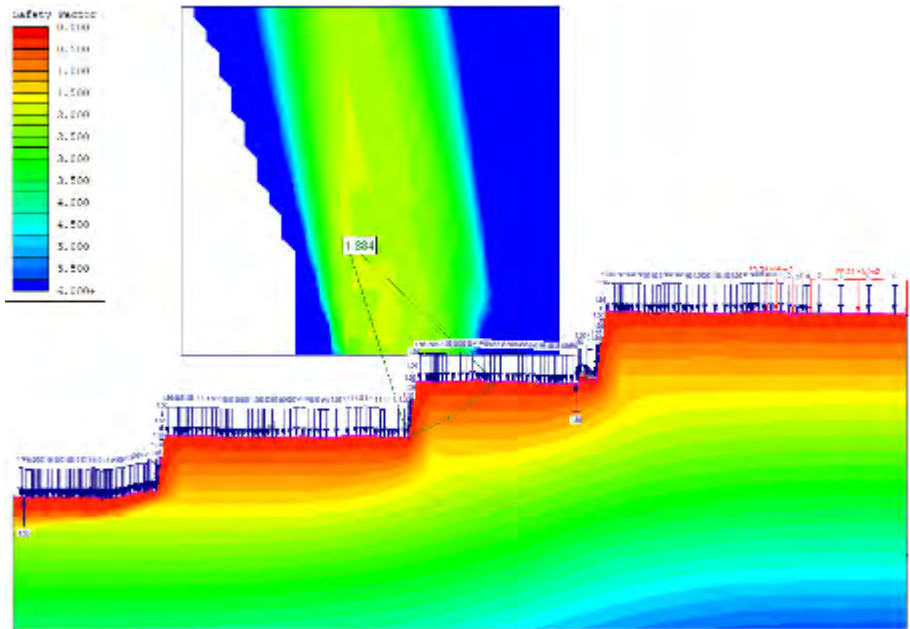
Método	F.S.
Bishop Simplificado	1.72
Janbu Corregido	1.64
Spencer	1.70
Morgestern – Price	1.72



SEGUNDO ANDEN

Figura 67. Factores de seguridad Condición Pseudo-estática con Infiltración - Segundo Andén

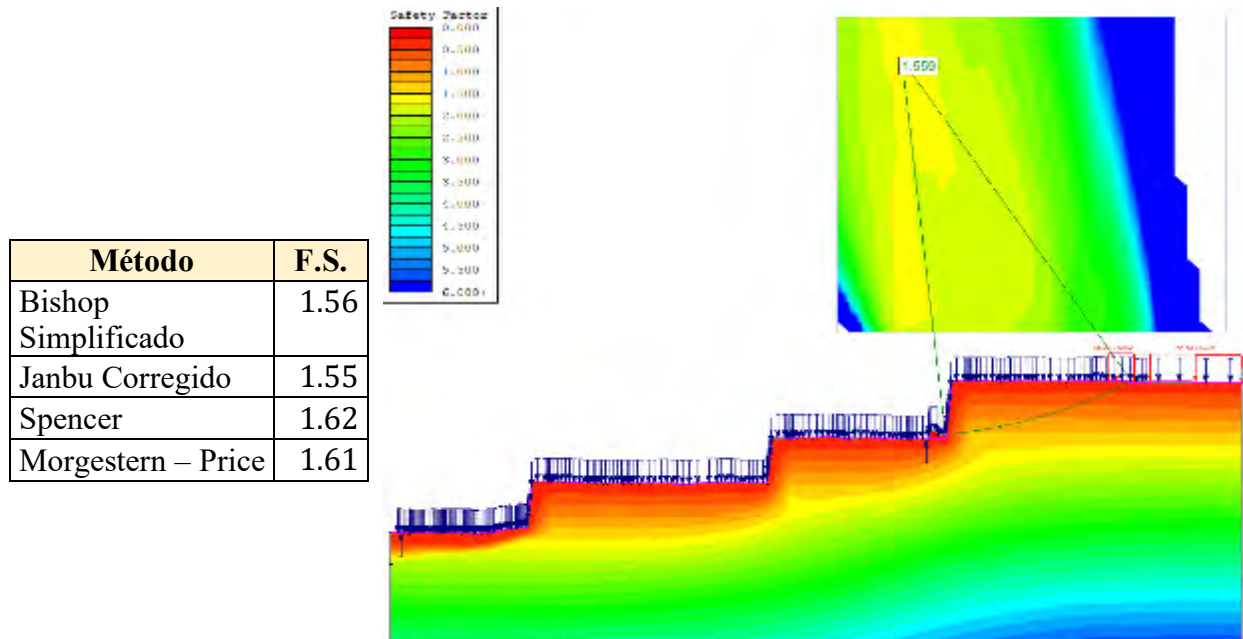
Método	F.S.
Bishop Simplificado	1.88
Janbu Corregido	1.87
Spencer	1.92
Morgestern – Price	1.93



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

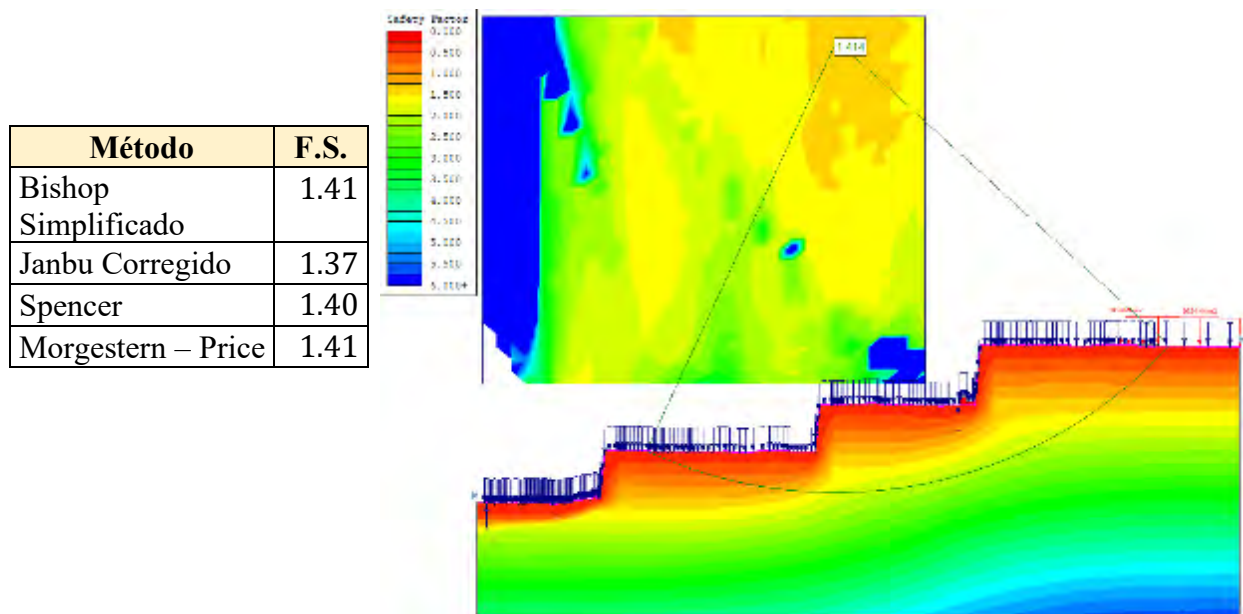
TERCER ANDEN

Figura 68. Factores de seguridad Condición Pseudo-estática con Infiltración - Tercer Andén



SISTEMA DE LOS 3 ANDENES EN CONJUNTO

Figura 69. Factores de seguridad Condición Pseudo-estática con Infiltración - En conjunto



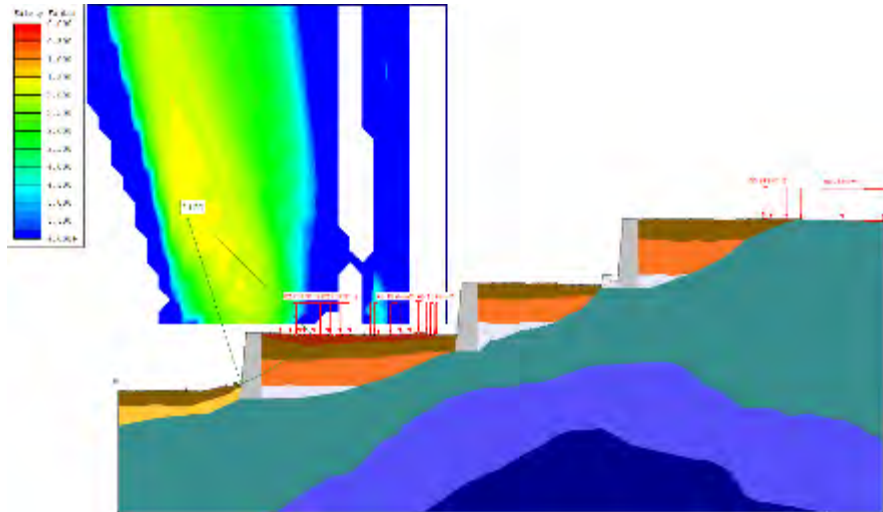
6.2. Resultados de la estabilidad de taludes con carga vehicular

6.2.1. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Estáticas

PRIMER ANDÉN

Figura 70. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Estática - Primer Andén

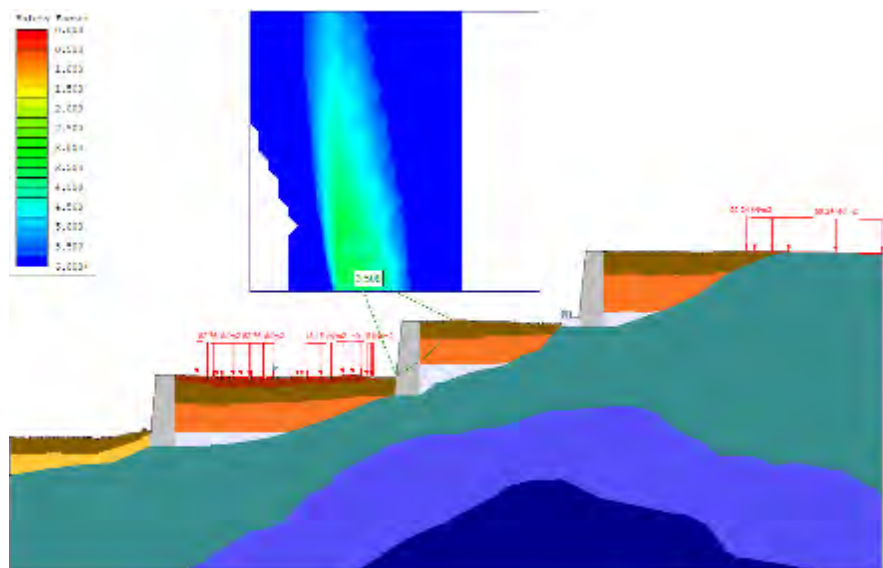
Método	F.S.
Bishop Simplificado	1.61
Janbu Corregido	1.54
Spencer	1.68
Morgestern – Price	1.68



SEGUNDO ANDÉN

Figura 71. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Estática - Segundo Andén

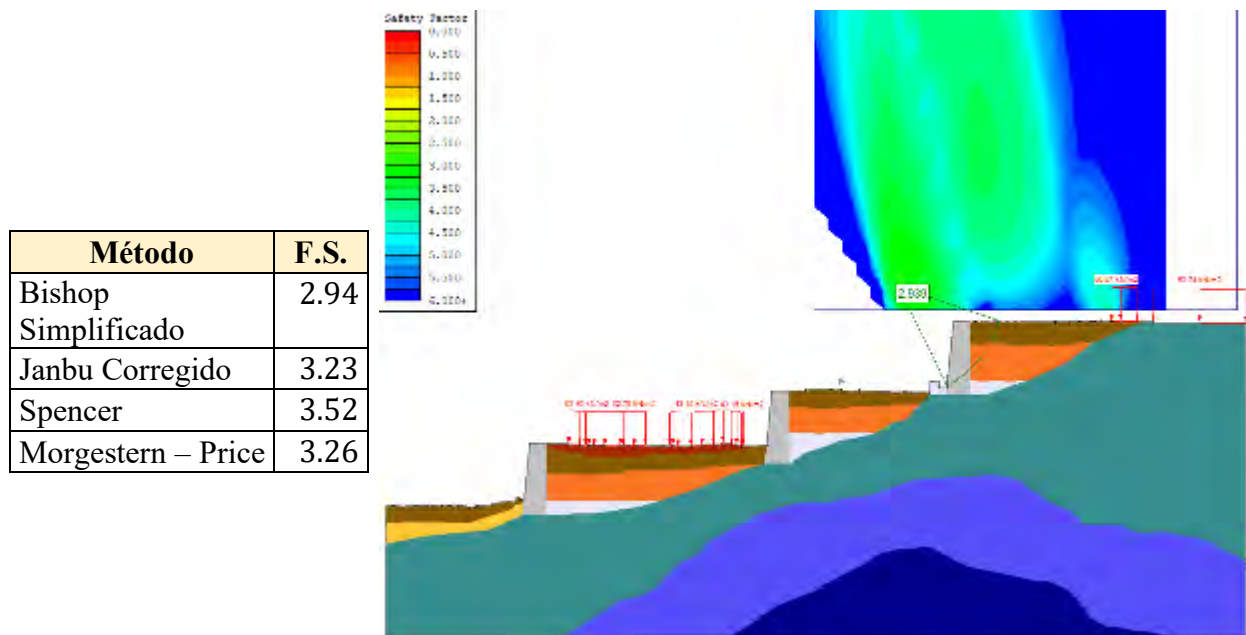
Método	F.S.
Bishop Simplificado	3.50
Janbu Corregido	3.72
Spencer	3.72
Morgestern – Price	3.71



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

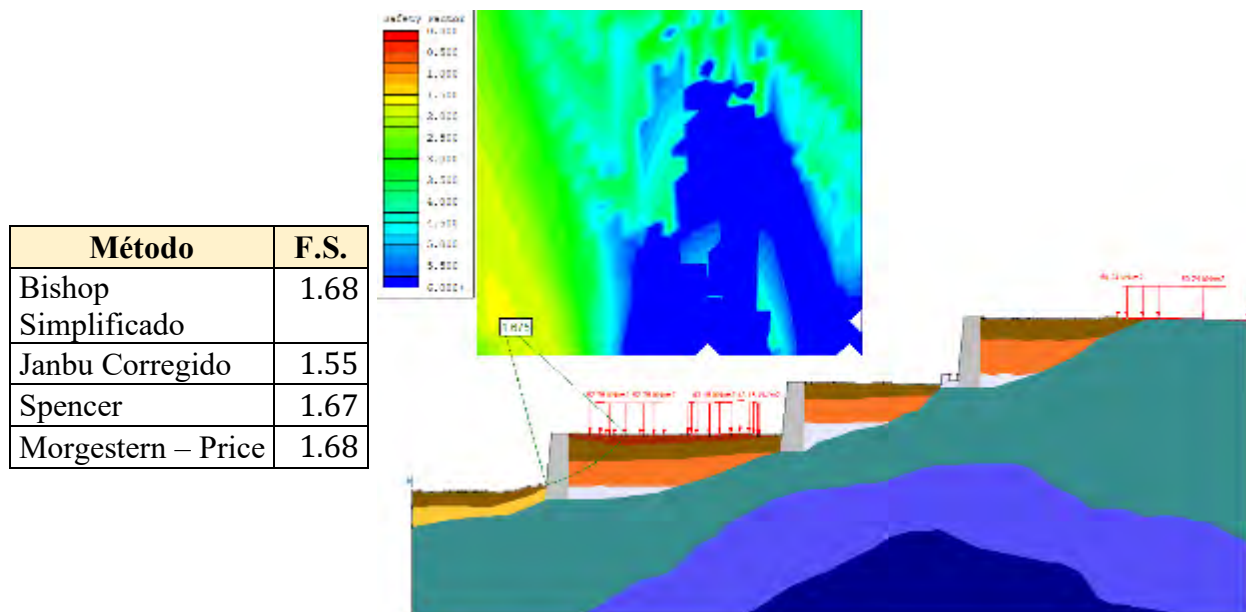
TERCER ANDEN

Figura 72. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Estática - tercer Andén



SISTEMA DE LOS 3 ANDENES EN CONJUNTO

Figura 73. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Estática - En conjunto



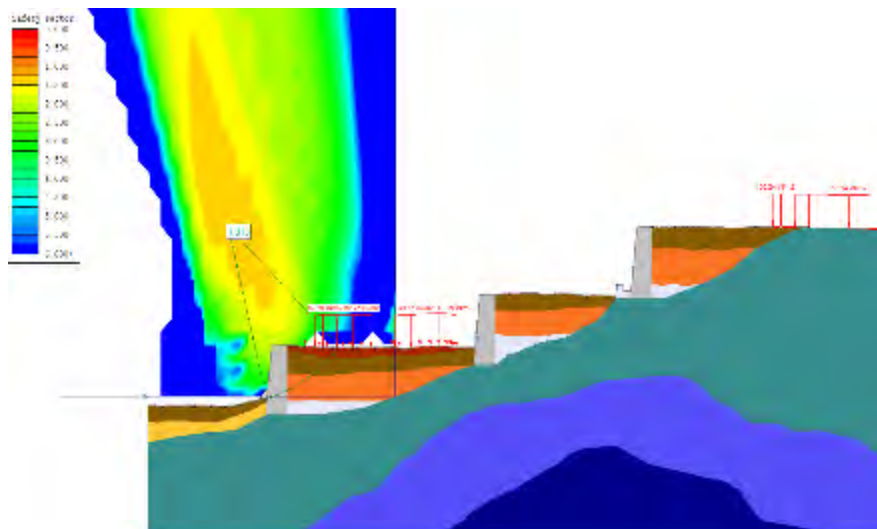
“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

6.2.2. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Pseudo-estáticas

PRIMER ANDEN

Figura 74. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática – Primer Andén

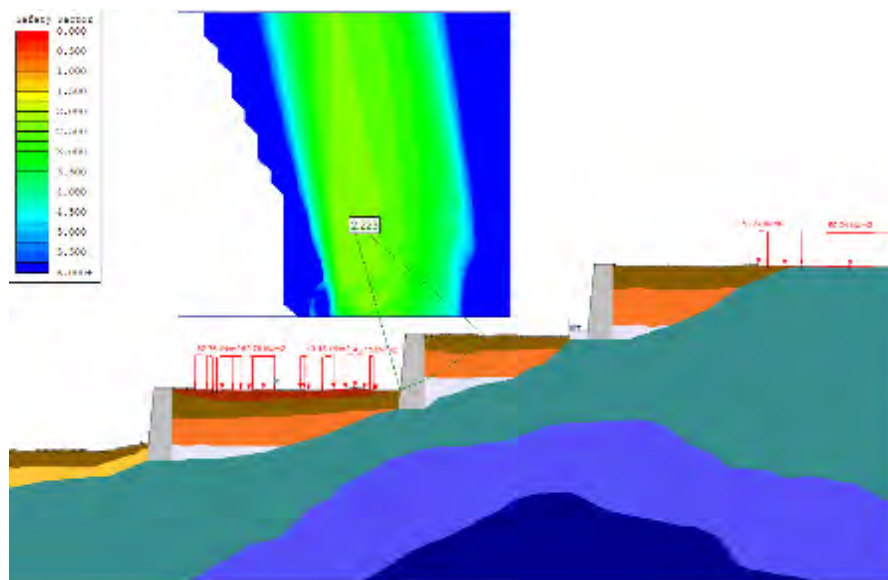
Método	F.S.
Bishop Simplificado	1.31
Janbu Corregido	1.26
Spencer	1.38
Morgestern – Price	1.38



SEGUNDO ANDEN

Figura 75. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática – Segundo Andén

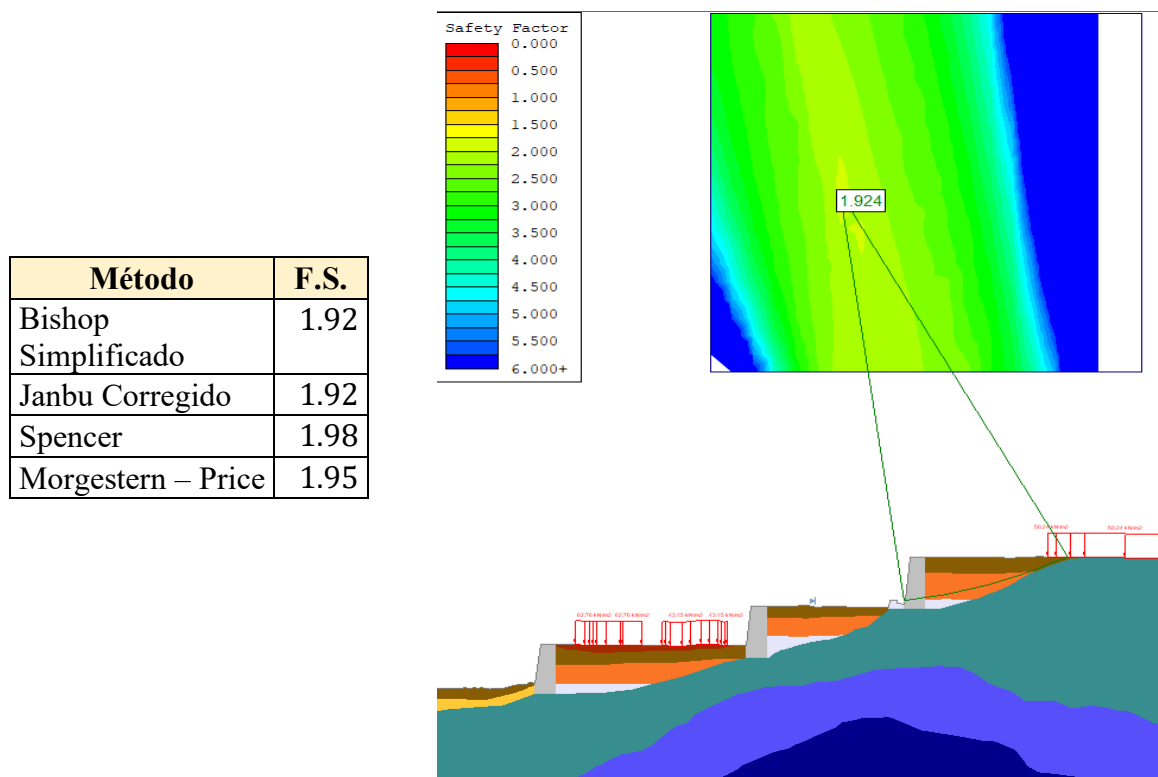
Método	F.S.
Bishop Simplificado	2.22
Janbu Corregido	2.21
Spencer	2.35
Morgestern – Price	2.44



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

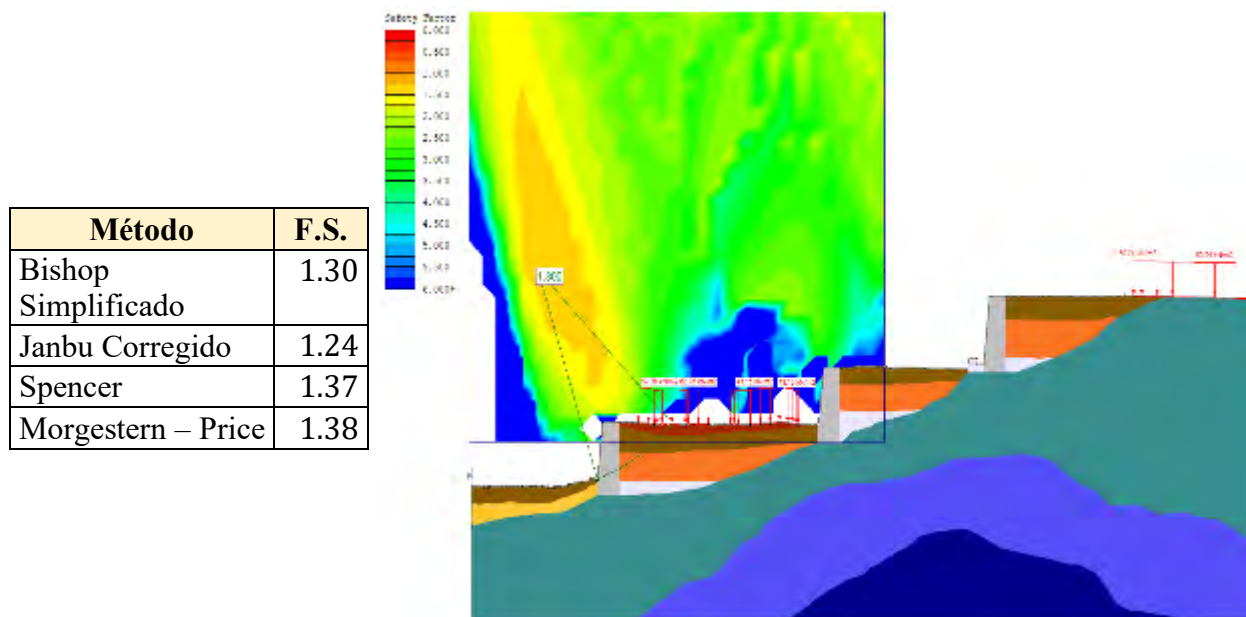
TERCER ANDEN

Figura 76. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática – Tercer Andén



SISTEMA DE LOS 3 ANDENES EN CONJUNTO

Figura 77. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática – En conjunto



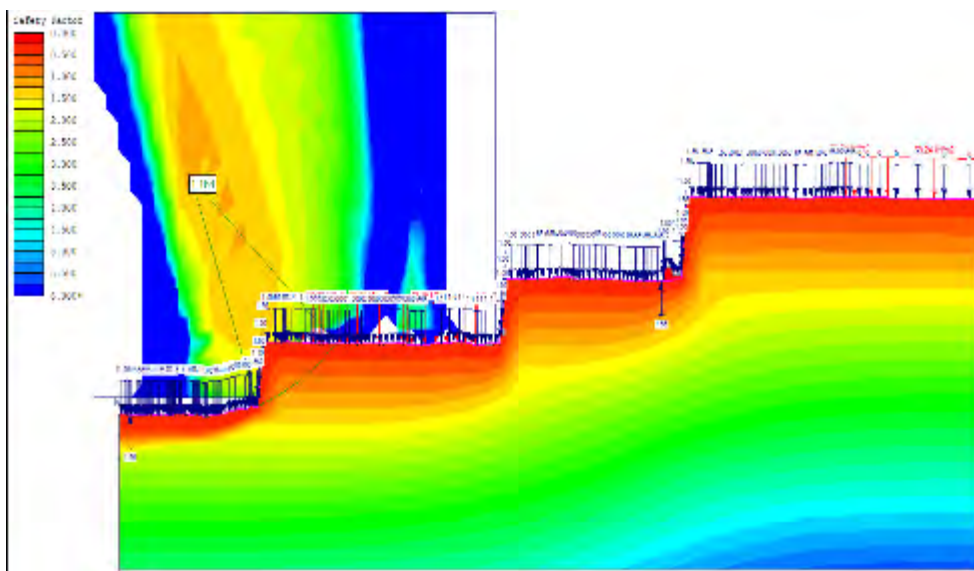
“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

6.2.3. Resultados de la estabilidad de los Taludes en condiciones Pseudo-estáticas con infiltración

PRIMER ANDEN

Figura 78. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática con infiltración – Primer Anden

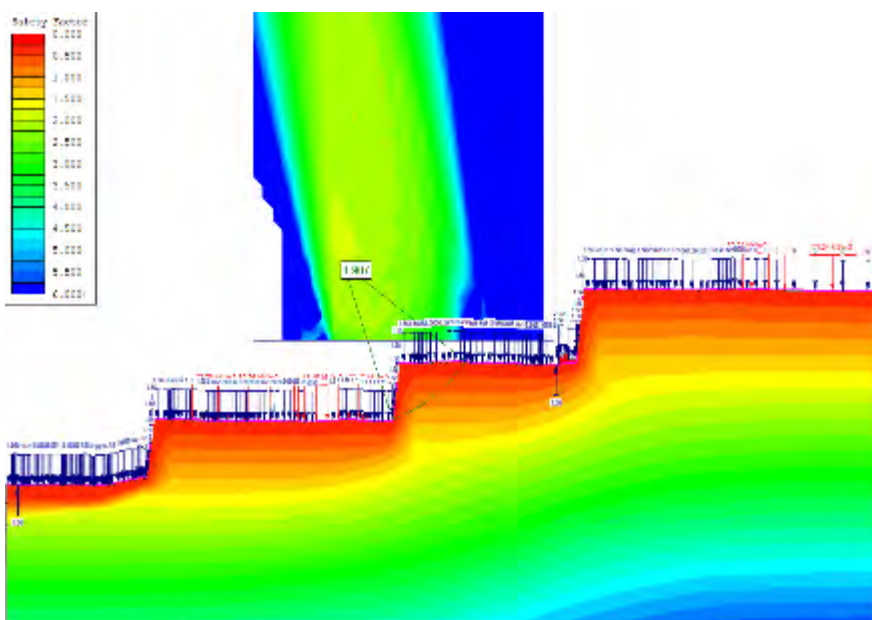
Método	F.S.
Bishop Simplificado	1.16
Janbu Corregido	1.11
Spencer	1.24
Morgestern – Price	1.25



SEGUNDO ANDEN

Figura 79. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática con infiltración – Segundo Anden

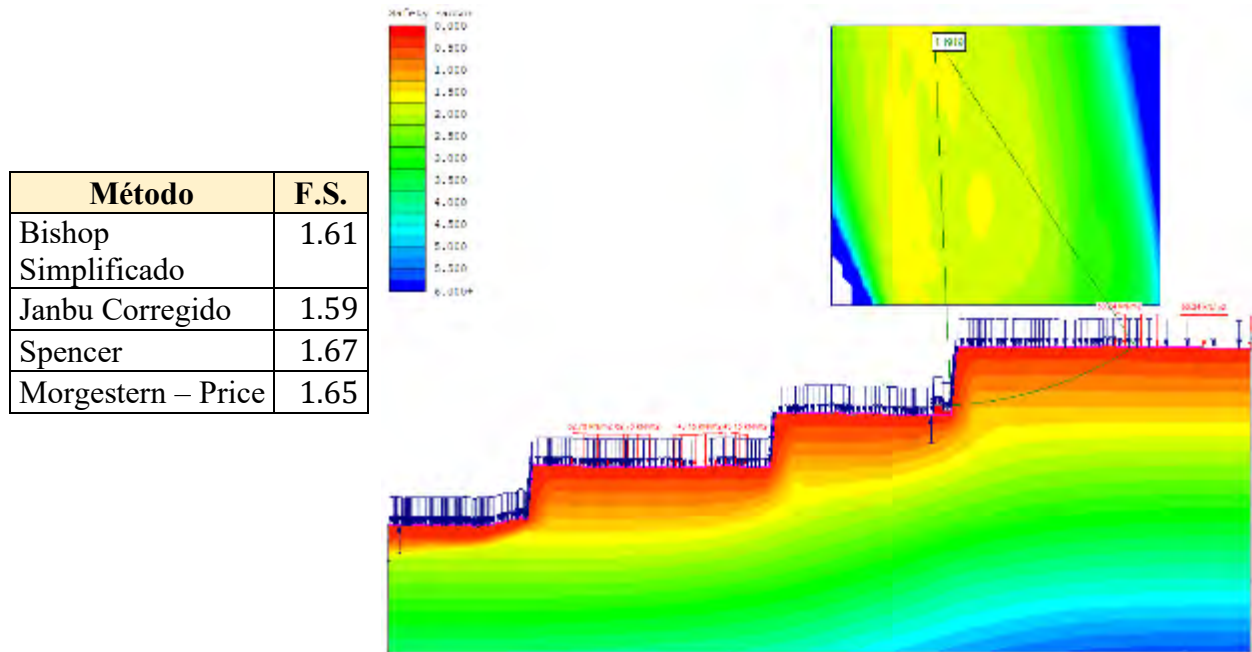
Método	F.S.
Bishop Simplificado	1.91
Janbu Corregido	1.90
Spencer	2.01
Morgestern – Price	2.05



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

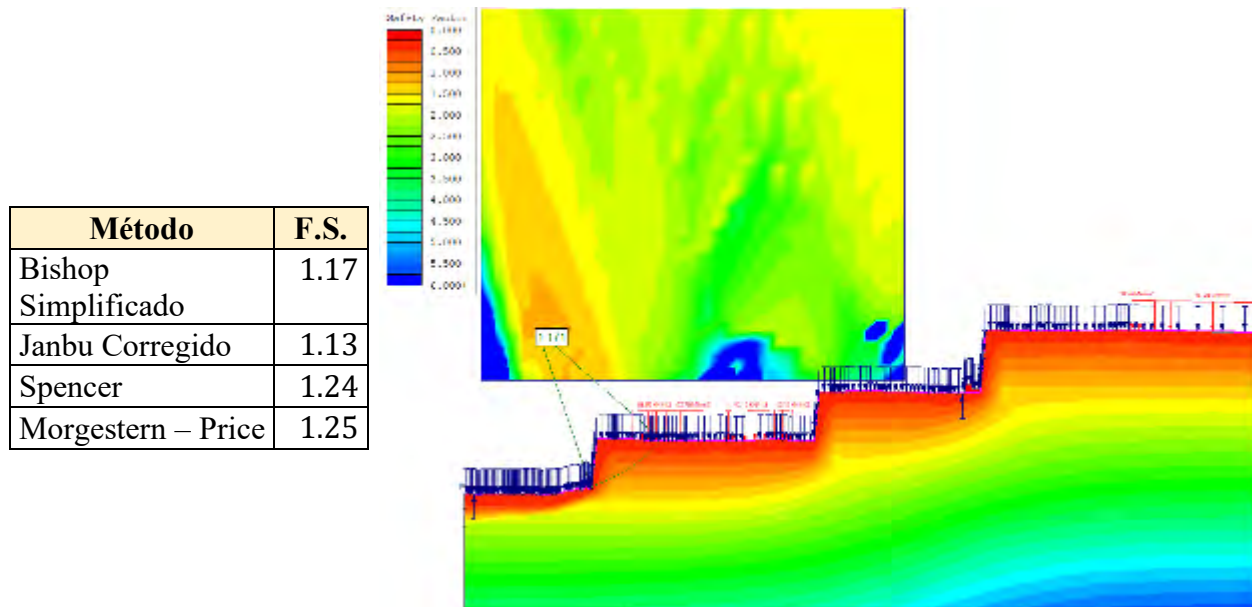
TERCER ANDEN

Figura 80. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática con infiltración – Tercer andén



SISTEMA DE LOS 3 ANDENES EN CONJUNTO

Figura 81. Factores de Seguridad con carga vehicular Condición Pseudo-Estática con infiltración – En conjunto



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

6.3. Resumen Comparativo de Resultados

Finalmente se tiene el cuadro comparativo de los factores de seguridad de los andenes determinados con el Programa Slide V6, donde se muestra la variación de los factores cuando existe y no existe carga vehicular sobre el primer andén:

Tabla 47 Cuadro comparativo de los valores de FS – Primera sección

PRIMERA SECCION							
SECCION DE EVALUACION	METODO	Condición Estática		Condición Pseudo-Estática		Condición Pseudo-Estática con Infiltración	
		Sin Carga Vehicular	Con Carga Vehicular	Sin Carga Vehicular	Con Carga Vehicular	Sin Carga Vehicular	Con Carga Vehicular
PRIMER ANDEN	Bishop Simplificado	3.64	1.61	2.30	1.31	1.72	1.16
	Janbu Corregido	3.85	1.54	2.28	1.26	1.64	1.11
	Spencer	4.03	1.68	2.54	1.38	1.70	1.24
	Morgesten-Price	4.03	1.68	2.51	1.38	1.72	1.25
SEGUNDO ANDEN	Bishop Simplificado	3.47	3.50	2.16	2.22	1.88	1.91
	Janbu Corregido	3.72	3.72	2.16	2.21	1.87	1.90
	Spencer	3.78	3.72	2.45	2.35	1.92	2.01
	Morgesten-Price	3.90	3.71	2.43	2.44	1.93	2.05
TERCER ANDEN	Bishop Simplificado	2.94	2.94	1.92	1.92	1.56	1.61
	Janbu Corregido	2.93	3.23	1.81	1.92	1.55	1.59
	Spencer	3.22	3.52	2.04	1.98	1.62	1.67
	Morgesten-Price	3.22	3.26	2.04	1.95	1.61	1.65
SISTEMA DE LOS 3 ANDENES EN CONJUNTO	Bishop Simplificado	3.00	1.68	1.86	1.30	1.41	1.17
	Janbu Corregido	2.93	1.55	1.87	1.24	1.37	1.13
	Spencer	2.99	1.67	1.97	1.37	1.40	1.24
	Morgesten-Price	2.99	1.68	1.98	1.38	1.41	1.25

Siguiendo el mismo procedimiento, se obtuvo los factores de seguridad para las otras dos secciones de estudio, obteniendo:

Tabla 48. Cuadro comparativo de los valores de FS – Segunda Sección

SEGUNDA SECCION							
SECCION DE EVALUACION	METODO	Condición Estática		Condición Pseudo-Estática		Condición Pseudo-Estática con Infiltración	
		Sin Carga Vehicular	Con Carga Vehicular	Sin Carga Vehicular	Con Carga Vehicular	Sin Carga Vehicular	Con Carga Vehicular
	Bishop Simplificado	3.71	1.7	2.33	1.48	1.73	1.19

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

PRIMER ANDEN	Janbu Corregido	3.83	1.62	2.3	1.49	1.68	1.16
	Spencer	4.05	1.72	2.55	1.52	1.71	1.29
	Morgesten-Price	4.02	1.75	2.5	1.5	1.72	1.3
SEGUNDO ANDEN	Bishop Simplificado	3.6	3.48	2.1	2.07	1.7	1.69
	Janbu Corregido	3.75	3.68	2.12	2.05	1.72	1.68
	Spencer	3.8	3.7	2.38	2.3	1.76	1.8
	Morgesten-Price	3.85	3.69	2.35	2.33	1.75	1.82
TERCER ANDEN	Bishop Simplificado	3.15	3.1	2.01	1.99	1.65	1.63
	Janbu Corregido	3.08	3.2	1.94	1.98	1.62	1.6
	Spencer	3.3	3.48	2.08	2.01	1.7	1.69
	Morgesten-Price	3.24	3.33	2.06	2.03	1.71	1.71
SISTEMA DE LOS 3 ANDENES EN CONJUNTO	Bishop Simplificado	3.05	1.85	1.92	1.39	1.46	1.21
	Janbu Corregido	3.1	1.77	1.88	1.41	1.44	1.17
	Spencer	3.01	1.82	1.95	1.43	1.48	1.31
	Morgesten-Price	2.98	1.8	1.97	1.44	1.47	1.33

Tabla 49. Cuadro comparativo de los valores de FS – Tercera Sección

TERCERA SECCION							
SECCION DE EVALUACION	METODO	Condición Estática		Condición Pseudo-Estática		Condición Pseudo-Estática con Infiltración	
		Sin Carga Vehicular	Con Carga Vehicular	Sin Carga Vehicular	Con Carga Vehicular	Sin Carga Vehicular	Con Carga Vehicular
PRIMER ANDEN	Bishop Simplificado	3.78	1.68	2.38	1.42	1.78	1.21
	Janbu Corregido	3.92	1.6	2.35	1.51	1.7	1.18
	Spencer	4.12	1.75	2.62	1.49	1.77	1.26
	Morgesten-Price	4.1	1.78	2.59	1.46	1.79	1.28
SEGUNDO ANDEN	Bishop Simplificado	3.56	3.62	2.22	2.3	1.9	1.96
	Janbu Corregido	3.8	3.78	2.2	2.18	1.9	1.86
	Spencer	3.84	3.77	2.45	2.35	1.95	2.01
	Morgesten-Price	3.9	3.74	2.41	2.4	1.93	2.05
TERCER ANDEN	Bishop Simplificado	3.05	3.02	1.95	1.94	1.62	1.64
	Janbu Corregido	3	3.15	1.88	1.93	1.6	1.66
	Spencer	3.28	3.45	2.05	1.98	1.67	1.7
	Morgesten-Price	3.22	3.3	2.06	1.99	1.68	1.72
SISTEMA DE LOS 3 ANDENES EN CONJUNTO	Bishop Simplificado	3.08	1.72	1.89	1.44	1.43	1.23
	Janbu Corregido	3.12	1.61	1.87	1.42	1.4	1.25
	Spencer	3.05	1.7	1.97	1.39	1.44	1.28
	Morgesten-Price	2.99	1.68	1.98	1.48	1.41	1.29

VII. DISCUSIÓN

¿Qué factores contribuyen a la inestabilidad de taludes en los muros inca del acceso vehicular al parque arqueológico de Raqchi?

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede inferir que el principal factor que influye en la estabilidad de los muros inca es la carga vehicular. Según Suarez (2009) el mayor factor que influye en la inestabilidad de taludes es el efecto del agua, esto se puede evidenciar en las tablas de resultados de los análisis en cada uno de los andenes donde se puede observar que los factores de seguridad disminuyen considerablemente cuando se analiza la sección con infiltración. Otro factor importante es el sismo y que en combinación con las infiltraciones por precipitaciones pluviales y el efecto de la carga vehicular, han demostrado en evidencia la hipótesis planteada de que los muros incas que sostienen el andén del ingreso vehicular al parque arqueológico de Raqchi son inestables.

¿Es importante para el análisis de estabilidad del talud considerar, además de la condición estática, también la condición Pseudo-estática?

Es importante considerar la condición Pseudo-estática en el análisis de estabilidad del talud, especialmente debido a la ubicación geográfica y las características del entorno del parque arqueológico de Raqchi, ya que el Perú, y en particular la región de Cusco, está ubicado en una zona de alta actividad sísmica debido a la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Esto genera sismos frecuentes que pueden inducir esfuerzos adicionales en los taludes y estructuras sostenidas por los muros inca. Los muros de piedra inca, aunque tienen una notable resistencia estructural, no están diseñados para soportar cargas dinámicas significativas como las generadas por sismos, por lo que consideramos necesario incluir el análisis en condición pseudo-estática ya que de acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que los factores de

seguridad disminuyen considerablemente en esta condición, y que debido al silencio sísmico por el que viene atravesando la ciudad del Cusco, nos e debería descartar la presencia de fenómenos sísmicos dentro de los próximos años.

¿Cuál es nuestra apreciación de la ingeniería inca de acuerdo a los resultados de la investigación?

La cultura inca destacó por sus avanzados conocimientos en agricultura, ingeniería, medicina y demás ciencias. En este caso en particular se puede inferir que manejaron un conocimiento avanzado en ingeniería de suelos e hidráulica, visto que es posible que construyeron un avanzado sistema de irrigación que permitía evacuar las aguas de riego sin afectar la estabilidad de los muros de piedra que sostenían los andenes de cultivo. Esto repercutió en la durabilidad de dichos muros incaicos, y que de acuerdo a nuestro análisis de no ser afectados por la carga vehicular estos andenes y muros presentan factores de seguridad muy por encima de lo recomendado en nuestras normas técnicas actuales, lo que evidencia la necesidad de mantener esta ingeniería y promover su conservación.

¿De qué manera aporta el uso del software Slide v6 para el análisis de estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?

El software Slide V6 se confirma como una herramienta adecuada para el análisis de estabilidad de los muros inca del acceso al Parque Arqueológico de Raqchi. Este programa permite modelar las condiciones geotécnicas del terreno y evaluar el comportamiento estructural de los muros bajo diferentes escenarios, como las cargas vehiculares y las condiciones estáticas y pseudo-estáticas. Aunque adicionalmente se podría considerar otros programas como Plaxis o Geostudio

cuyo principal enfoque se realiza en las deformaciones y desplazamientos de los taludes y que estos no fueron considerados para el tipo de estudio que se realizó en la presente investigación.

El uso de Slide V6 ha permitido demostrar que los factores de seguridad asociados a los muros inca y los andenes que los soportan son sensibles a la influencia de las cargas externas y las características del suelo. Así, se concluye que este software facilita la identificación de los principales factores de inestabilidad y la evaluación de posibles fallas, lo que contribuye significativamente al diseño de medidas de mitigación y preservación.

¿De qué manera aporta el desarrollo de esta investigación a la ingeniería civil?

El desarrollo de la presente investigación tiene un impacto significativo tanto en la ingeniería civil como podría ser la preservación de nuestro patrimonio mediante técnicas modernas ya que aplicar herramientas de modelamiento y/o análisis como **Slide V6** y ensayos de **Refracción Sísmica** y **MASW2D** en estructuras históricas es un aporte innovador que combina principios de la mecánica de suelos y rocas con la conservación del patrimonio. Este enfoque permite evaluar de manera precisa las condiciones de estabilidad de los muros inca y diseñar soluciones técnicas para su preservación. Además, esta investigación brinda datos y análisis técnicos que pueden ser utilizados para diseñar medidas de mitigación, como sistemas de drenaje, refuerzos estructurales o regulación del tránsito vehicular, garantizando la estabilidad de los muros y del talud asociado.

Finalmente, el presente estudio proporciona una base científica y técnica para otros profesionales y académicos interesados en el análisis de taludes asociados con estructuras históricas, contribuyendo al avance del campo de la geotecnia aplicada al patrimonio cultural.

¿De qué manera aporta el desarrollo de esta investigación a la sociedad?

Los muros incas de Raqchi son parte importante de la identidad cultural cusqueña y de su historia. La presente investigación ayuda a garantizar su preservación para las futuras generaciones, reforzando el vínculo entre ingeniería y cultura. La estabilidad de los muros y la mejora de la infraestructura asociada fomentan un entorno seguro y atractivo para el turismo, contribuyendo al desarrollo económico de la región. Además, al evaluar la estabilidad de los muros y proponer medidas de mejora, se reduce el riesgo de accidentes o desastres que puedan afectar a los visitantes, habitantes locales y conductores que transitan por la zona.

Finalmente podemos mencionar que este trabajo representa un puente entre la tradición y la tecnología, utilizando herramientas avanzadas de análisis para preservar estructuras históricas de gran valor cultural. Su aporte a la ingeniería civil radica en la optimización de métodos de análisis y soluciones técnicas, mientras que su impacto en la sociedad se refleja en la conservación del patrimonio, la seguridad de las personas y el desarrollo sostenible de la región de Raqchi.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Conclusión N° 01

Se comprueba la hipótesis general que indica: “El muro inca que soporta el andén del acceso al parque arqueológico de Raqchi es inestable”. De acuerdo a las tablas 48,49 y 50, el factor de seguridad en el escenario crítico para el primer andén en las tres secciones es menor a 1.50.

Conclusión N° 02

Se logró comprobar parcialmente la hipótesis específica que indica: “La resistencia al corte sobre cada muro inca es menor a las fuerzas ejercidas por la masa del suelo”. Puesto que, el factor de seguridad al deslizamiento resulta menor a 1.5. Además, el factor de seguridad en condiciones estáticas resulta ser superior a 1.5, pero que para las condiciones Pseudo-estática y con infiltración dichos valores resultan por debajo del valor de 1.5 lo que los muros incas son estables en condiciones estáticas pero inestables en condiciones de sismo e infiltración. Esto se puede observar en campo ya que en algunos sectores se puede apreciar que el muro inca está en estado de deterioro.

Conclusión N° 03

Se logró comprobar la hipótesis específica que indica: “La acción de las cargas vehiculares y el peso de los muros inca como fuerzas externas influyen en la estabilidad del talud del muro inca del acceso vehicular al parque arqueológico de Raqchi”. Como se pudo observar en las tablas 48,49 y 50, al comparar los factores de seguridad de los muros antes y después de la presencia de carga vehicular se puede concluir que el tránsito de vehículos pesados altera significativamente los valores de FS haciendo en algunos casos que los muros incas sean inestables por la presencia de dicha carga.

Conclusión N° 04

Se logro comprobar parcialmente la hipótesis específica que indica: “La acción en conjunto de los tres andenes influye en la estabilidad del talud del muro inca del acceso vehicular al parque arqueológico de Raqchi”. Al realizar el análisis de la estabilidad de los muros inca en los 3 andenes por separado y en conjunto se puede observar que la acción en conjunto no influye de manera significativa en la estabilidad del muro inca del acceso vehicular al parque arqueológico de Raqchi (primer andén). Sin embargo, la acción en conjunto de los 3 andenes si afecta el factor de seguridad de los dos andenes superiores al primer andén.

Conclusión N° 05

Se logro comprobar la hipótesis específica que indica: “La acción sísmica reduce la resistencia al esfuerzo cortante en el suelo de cimentación, comprometiendo la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi”. El análisis realizado demuestra que la acción sísmica tiene una incidencia significativa en la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi. Bajo condiciones estáticas, los factores de seguridad se mantienen dentro de rangos aceptables; sin embargo, al considerar condiciones pseudo-estáticas (sismo) con carga vehicular y presencia de infiltración, se evidencian valores cercanos o inferiores al límite de seguridad ($FS < 1.5$). Esto confirma que la fuerza sísmica afecta de manera directa la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de cimentación, reduciendo la capacidad de soporte y generando un mayor riesgo de inestabilidad en el sistema de andenes y en los muros asociados.

Conclusión N° 06

No se logró comprobar la hipótesis específica que indica: “La técnica de columna de grava aumenta la resistencia al corte, la rigidez, la capacidad portante del suelo, mejorando la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi”. La presente investigación se centró principalmente en el análisis de la estabilidad de los muros inca, principalmente evaluando los distintos escenarios de falla, una vez conocidos los resultados se podría realizar un nuevo estudio para aportar soluciones frente a la inestabilidad de los muros inca, entre ellas podría ser la aplicación de la técnica de columnas de grava para distribuir las cargas a otras zonas del talud u otras técnicas a evaluar.

RECOMENDACIONES

Recomendación N° 01

Tras conocer los resultados de los factores de seguridad y llegar a la conclusión de que el muro inca que sostiene el andén del acceso vehicular al parque arqueológico de Raqchi es inestable, se puede recomendar lo siguiente:

- Implementar medidas inmediatas de estabilización para el muro inca del primer andén, como refuerzos mecánicos con anclajes o sistemas de retención, especialmente en las áreas críticas identificadas.
- Establecer restricciones de carga vehicular o limitar el acceso de vehículos pesados al andén hasta que se implementen las medidas correctivas necesarias.
- Cada cierto tiempo, realizar un cálculo de los factores de seguridad siguiendo el procedimiento del presente estudio de investigación para verificar el estado de los muros inca.

Recomendación N° 02

Priorizar estudios complementarios para determinar con mayor precisión los parámetros geotécnicos del suelo bajo condiciones pseudo-estáticas y con infiltración, permitiendo refinar los análisis de estabilidad.

Recomendación N° 03

Regular el tránsito vehicular pesado de forma permanente sobre el primer andén mediante el establecimiento de límites de peso y velocidad adecuados que minimicen las cargas dinámicas sobre el muro inca. De otro modo, se recomienda evaluar alternativas de redireccionamiento del tráfico vehicular hacia otras rutas que no interfieran directamente con los andenes, preservando tanto la estabilidad del talud como el valor patrimonial de los muros inca.

Recomendación N° 04

Proponer un plan integral de estabilización que contemple los tres andenes como un sistema interdependiente, para lo cual se deberá incorporar métodos de refuerzo para los andenes, como mallas de contención, geomallas, para evitar el colapso progresivo.

Recomendación N° 05

Se recomienda promover el uso del ensayo de Refracción Sísmica y MASW, el software Slide V6 y otras herramientas similares en proyectos que involucren estructuras históricas, capacitando a ingenieros y arqueólogos en su manejo para garantizar la preservación de bienes patrimoniales. Finalmente, se recomienda documentar el proceso de análisis y los resultados

obtenidos en esta investigación como referencia para futuros estudios en contextos similares, tanto en el Cusco como en otras regiones.

Recomendación N° 06

Realizar un estudio detallado sobre la viabilidad técnica y económica de implementar la técnica de columnas de grava u otras soluciones innovadoras, como geoceldas, refuerzos de cimentaciones o estabilización con suelos mejorados. Evaluar alternativas más tradicionales y específicas para la estabilización, como la construcción de contrafuertes, estabilización química del suelo o ampliación de la base del muro inca. Finalmente, continuar con investigaciones complementarias orientadas a implementar soluciones prácticas y respetuosas con el entorno arqueológico, asegurando que estas no comprometan la autenticidad del patrimonio cultural.

Bibliografía

- o *DAS, Braja (2001) Principios de Ingeniería de Cimentación. México D.F.: Thomson.*
- o *Muelas, Ángel (2010) Manual de Mecánica del Suelo y Cimentaciones. Capítulo 2: Elementos de Contención. (<http://www.uned.es>)*
- o *Torres, Rafael (2008) Análisis y Diseño de Muros de Contención de Concreto Armado. (<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rafaeltorres/>)*
- o *Universidad Politécnica De Cataluña (UPC) (2013) Ingeniería Geotécnica Tema 7. Muros (http://ocw.camins.upc.edu/materials_guia)*
- o *Descubre PUCP (2013). Camino Inca. Lima, Perú.: PUCP. Recuperado de <http://descubre.pucp.edu.pe/poi/lug072>*
- o *Roncal, M. (2017). Determinación del peligro sísmico en el territorio nacional y elaboración de aplicativo web.*
- o *Orrego (2009). La provincial de Canchis: el Templo de Wiracocha de Raqchi. Lima, Perú: PUCP. <http://blog.pucp.edu.pe/blog/juanluisorrego/2009/01/26/laprovincia-de-canchis-el-templo-de-wiracocha-de-raqchi>.*
- o *<https://www.mecanicasuelosabcchile.com/talud-natural/>*
- o *<https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/fisica/rocas-igneas-sedimentarias-y-metamorficas-1>*
- o *Mecánica de rocas. Correlación entre la resistencia a carga puntual y la resistencia a compresión simple-Manolo A. Galván-U. del Valle.*
- o *Libro Ingeniería Geológica de Luis I González Vallejo. 2002*
- o *Hunt, Roy E., McGraw-Hi, 1986, “Geotechnical Engineering Techniques and Practices”*
- o *Bengt Sjögren “Shallow Refraction Seismics”*
- o *ASCE, 2010, “Minimum Design Loads For Buildings And Other Structures”.*
- o *ASTM (1995), “Norma Técnica de Exploración Geofísica, ASTM D5777”*
- o *William Lowrie, 2007, “Fundamentals of Geophysics”. Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 2007 PAGINAS 140-14.*
- o *López A., 2016, “Evaluación geofísica Geotécnica del proyecto central Hidroeléctrica Chilia, región de Huánuco- Ancash” tesis presentada para optar el título de Ingeniero Geofísico.*
- o *Svivetti N, Bahia M, Spagnuolo J, “Manual de Geofísica y Metodos Geofísicos” parte 1.*

- o Kaerey P, Brooks M, Hill I, 2002, “*An Introduction to Geophysical Exploration*” third edition.
- o Udias A, Mezcua J, 1997, “*Fundamentos de la geofísica*”
- o Maldonado Alfonso, 2000, “*Testificación geofísica en sondeos de captación de agua*”
- o Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 2011, “*Revista Geofísica*” Número 63
- o Estrada L, 2012, “*Apuntes de Sismología*” Universidad Nacional de Tucumán.
- o Jaime Castro Agudelo-2016-Bogota-Colombia. *Análisis geotécnico de los muros de contención construidos por los incas.*
- o Teresa Marie Jarriel-2016-Universidad de Virginia-EE.UU. *Using 3d terrace modeling to preserve the incan site of Saqsaywaman.*
- o Tito Ortiz, Diana Carmeli- 2018- Cusco- Perú. *Análisis de estabilidad de taludes de la tercera terraza – zona los Baluartes en el parque arqueológico de Sacsayhuaman.*
- o Torres Acosta, Arturo Vladimir- 2020-Lima- Perú. *Análisis de estabilidad sísmica de muros históricos peruanos en base a tierra.*
- o Mag. Arq. Amparo Abarca Ancori. *Estudio de Mecánica de Suelos y Rocas-Parque Arqueológico de Raqchi.*
- o Tavera, H. (2019). *Potencial sísmico del Perú y evaluación de la amenaza sísmica.* Instituto Geofísico del Perú (IGP).
- o Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- o Das, B. M. (2014). *Principles of foundation engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- o Agurto Calvo, S. (1987). *Estudios acerca de la construcción, arquitectura y planeamiento incas.* Universidad Nacional de Ingeniería.
- o Wright, K. R. (2000). *Machu Picchu: A Civil Engineering Marvel.* ASCE Press.
- o Vargas Neumann, J. (2007). *Comportamiento sísmico de estructuras históricas de mampostería.* PUCP.
- o ICOMOS. (2003). *Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage.*
- o Protzen, J.-P. (1993). *Inca architecture and construction at Ollantaytambo.* Oxford University Press.
- o Hyslop, J. (1990). *Inka Settlement Planning.* University of Texas Press.

- o Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). Wiley.
- o Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.050: Suelos y Cimentaciones*. Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú.
- o ASTM International. (2020). *Annual Book of ASTM Standards: Soil and Rock*.
- o Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- o Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2002). *Slope stability and stabilization methods* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- o Budhu, M. (2011). *Soil mechanics and foundations* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- o US Army Corps of Engineers. (2003). *Slope stability (Engineer Manual EM 1110-2-1902)*. U.S. Army Corps of Engineers.
- o ASTM International. (2020). *ASTM D2487-17: Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)*.
- o Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *An introduction to geotechnical engineering* (2nd ed.). Pearson.
- o American Association of State Highway and Transportation Officials. (2017). *AASHTO M 145: Standard specification for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes*. AASHTO.
- o Goodman, R. E. (1989). *Introduction to rock mechanics* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- o Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock slope engineering* (3rd ed.). Institution of Mining and Metallurgy.
- o Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (SGGP-2014)*. MTC.
- o Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018*. MTC.
- o Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil mechanics*. John Wiley & Sons.
- o Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- o Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2013). *An introduction to geophysical exploration* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.

- o Sheriff, R. E., & Geldart, L. P. (1995). *Exploration seismology* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- o Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). *Norma Técnica E.050: Suelos y cimentaciones*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- o International Organization for Standardization. (2014). *Geotechnical investigation and testing — Dynamic probing (ISO 22476-2)*. ISO.
- o ASTM International. (2018). *Standard test methods for density and unit weight of soil in place by nuclear methods (ASTM D6938)*. ASTM.
- o ASTM International. (2016). *Standard test method for determination of the point load strength index of rock (ASTM D5731)*. ASTM.
- o International Society for Rock Mechanics. (2007). *The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring*. ISRM.
- o Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall.
- o Shearer, P. M. (2009). *Introduction to seismology* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- o Lay, T., & Wallace, T. C. (1995). *Modern global seismology*. Academic Press.
- o Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2013). *An introduction to geophysical exploration* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
- o Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). *Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- o International Code Council. (2021). *International Building Code (IBC)*. ICC.
- o Bishop, A. W. (1955). *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Géotechnique*, 5(1), 7–17.
- o Fellenius, W. (1936). *Calculation of the stability of earth dams. Transactions of the 2nd Congress on Large Dams*, 4, 445–462.
- o Janbu, N. (1954). *Stability analysis of slopes with dimensionless parameters. Harvard Soil Mechanics Series*, No. 46.
- o Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). *The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique*, 15(1), 79–93.
- o Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

- o Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z. (2013). *The finite element method: Its basis and fundamentals* (7th ed.). Elsevier.
- o Colomina, I., & Molina, P. (2014). *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97.
- o Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2014). *Close-range photogrammetry and 3D imaging* (2nd ed.). De Gruyter.
- o Autodesk, Inc. (2016). *Autodesk Civil 3D [Software]*. San Rafael, CA, USA.
- o Autodesk, Inc. (2016). *AutoCAD [Software]*. San Rafael, CA, USA.
- o Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024). *Informe hidrológico de la estación de Cusco 2010–2023*. SENAMHI.
- o Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of Extremes*. Columbia University Press.
- o Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- o Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- o Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Wiley.
- o Rocscience Inc. (2016). *SLIDE – 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis [Software]*. Toronto, Canada.

IV. ANEXOS

4.1. Registro fotográfico



Fotografía 1 Mal estado de los andenes, se muestra signos de deterioro



Fotografía 2 Vehículos de carga pesada que transitan sobre el primer andén de acceso al parque arqueológico de Raqchi.

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”



Fotografía 3 Conteo vehicular en el primer andén del acceso vehicular al parque arqueológico de Raqchi



Fotografía 4 Levantamiento topográfico - drone del área de estudio



Fotografía 5 Excavación de Calicatas en los Andenes

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

	
<i>Fotografía 6 Presencia de rocas en estratos de los andenes y en excavaciones aledañas a la zona de estudio</i>	
	
<i>Fotografía 7 Monitoreo del responsable del Ministerio de Cultura Cusco en los ensayos</i>	<i>Fotografía 8 Ensayo de Densidad de Campo</i>

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

	
<i>Fotografía 9 Ensayo de Densidad de Campo</i>	<i>Fotografía 10 Ensayo de DPL</i>
	
<i>Fotografía 11 Ensayo de DPL</i>	<i>Fotografía 12 Extracción de muestras - posteadora</i>

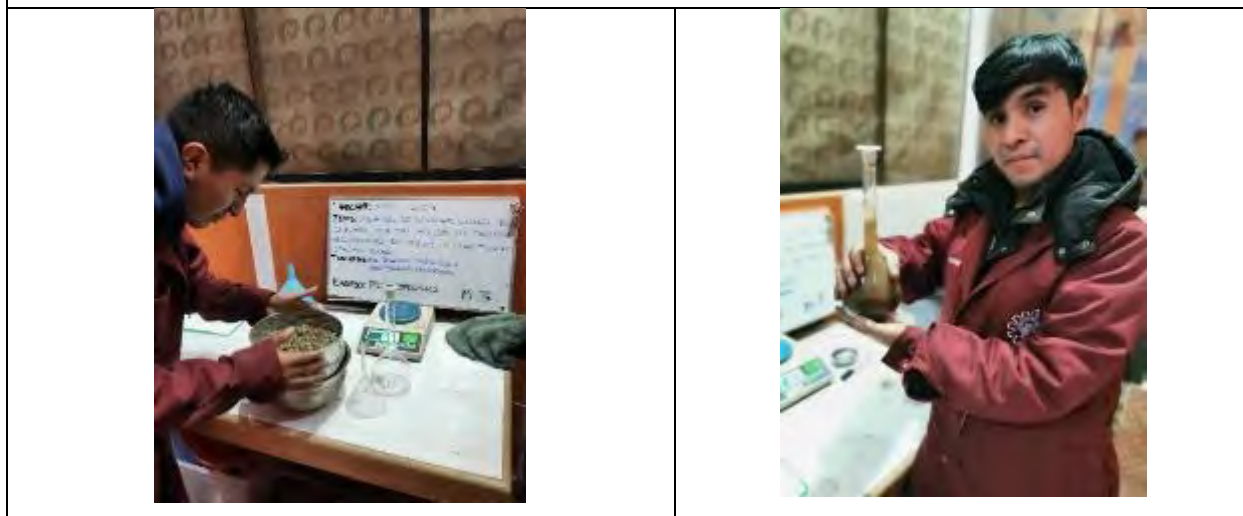
“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

	
<i>Fotografía 13 Extracción de muestras- posteadora</i>	
	
<i>Fotografía 14 Cuarteo de Muestras</i>	<i>Fotografía 15 Ensayo de Humedad</i>

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”



Fotografía 16 Ensayo de Humedad



Fotografía 17 Ensayo de Peso específico-arena



Fotografía 18 Ensayo de Granulometría

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”



Fotografía 19 Ensayo de Límites de consistencia



Fotografía 20 Ensayo de Corte Directo



Fotografía 21 Ensayo de Peso Específico de Rocas

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”



Fotografía 22 Ensayo de Carga Puntual en Rocas

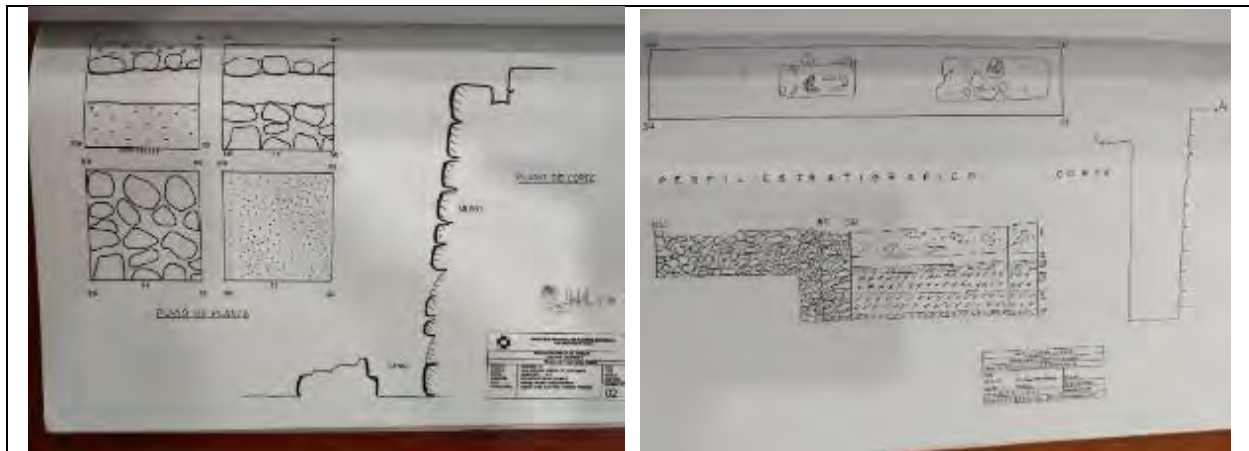


Fotografía 23 Ensayo técnico geofísico de refracción sísmica



Fotografía 24 Ensayo de MASSW2D

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**



Fotografía 25 Información de referencia sobre los muros en la biblioteca de la DDC (Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco)

4.2 Resultados de ensayos de campo y laboratorio

1. GRANULOMETRIA

a) PUNTO 1 (P1=P4=P7)

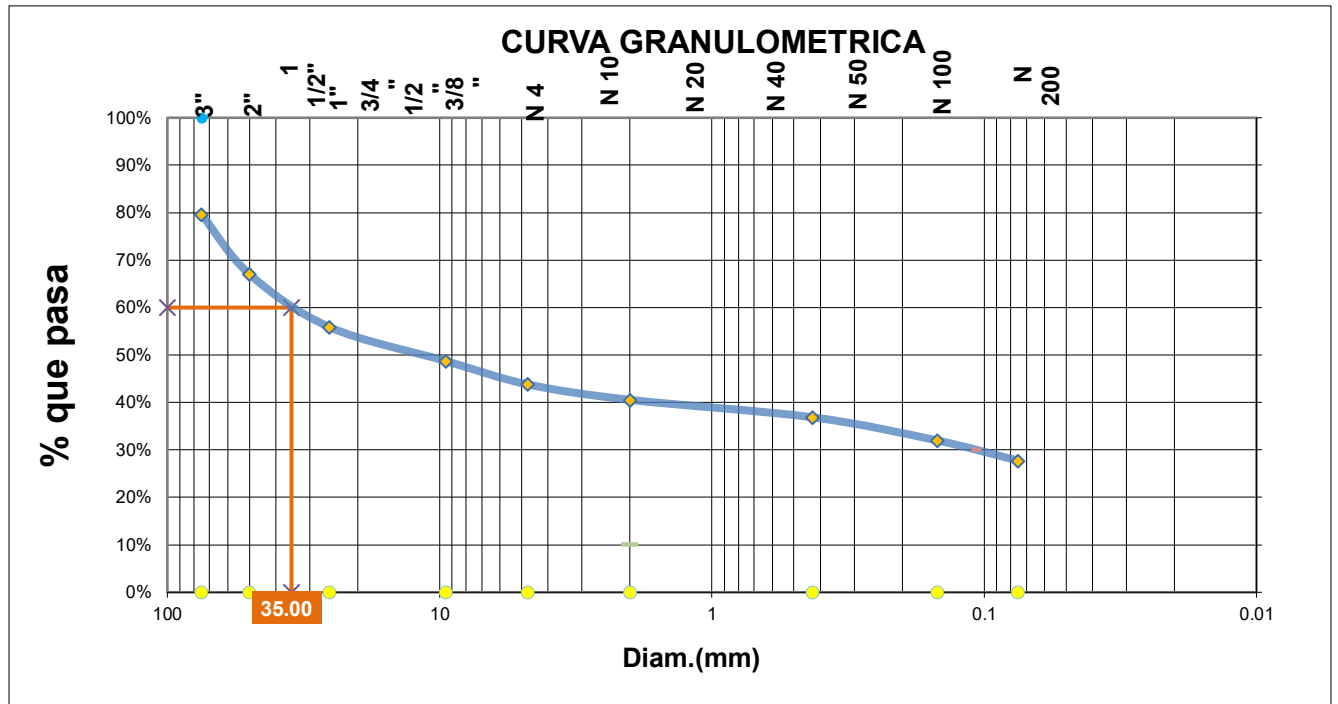
• Primer Estrato – Grava

Peso inicial: 2020gr	peso lavado: 1461.52gr	perdida: 5.51gr
----------------------	------------------------	-----------------

Tabla 1 Análisis granulométrico-grava-P1

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	% retenido acumulado	%que pasa
3 pulg	75	409.68	20.34	20.34	79.66
2 pulg	50	253.63	12.59	32.93	67.07
1 pulg	25.4	225.22	11.18	44.11	55.89
3/8 pulg	9.5	144.09	7.15	51.26	48.74
N°4	4.750	99.30	4.93	56.19	43.81
N°10	2.000	65.61	3.26	59.45	40.55
N°40	0.426	74.23	3.68	63.13	36.87
N°100	0.149	98.19	4.87	68.00	32.00
N°200	0.075	85.71	4.25	72.26	27.74
bandeja	0.010	558.83	27.74	100.00	0.00
	TOTAL	2014.49	100.00		

Figura 1 Curva granulométrica-grava-P1



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

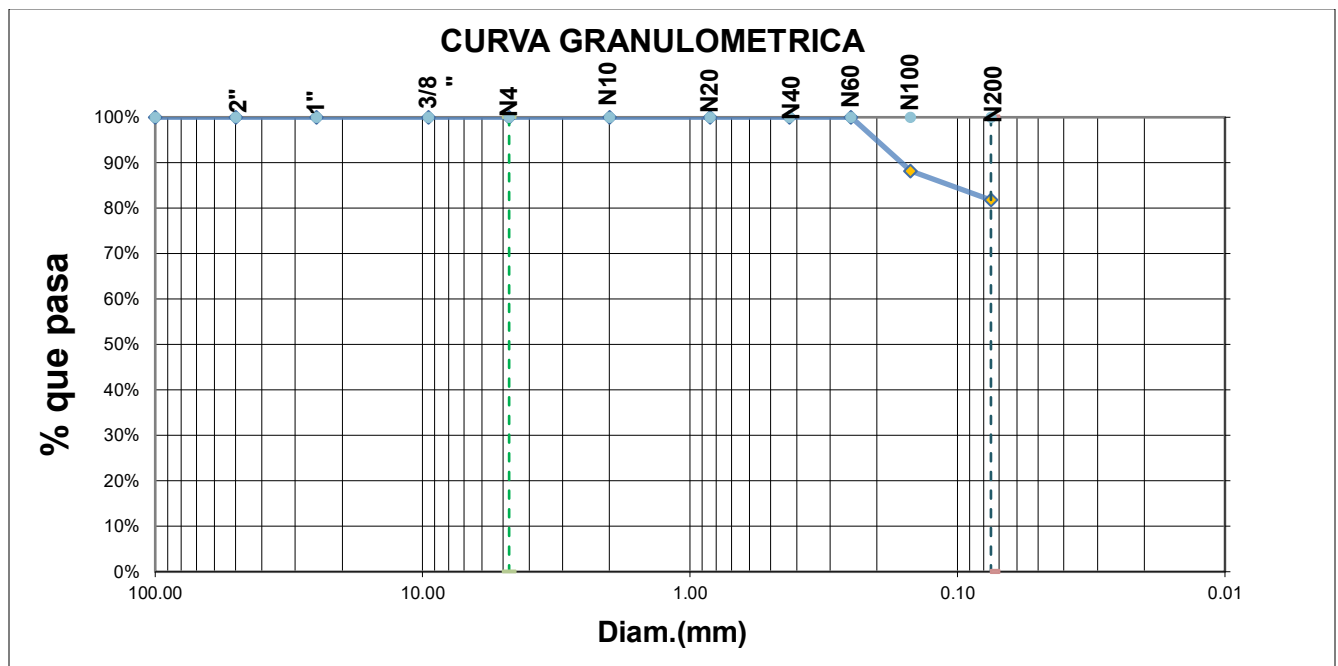
• **Segundo Estrato – Orgánico**

Peso inicial: 420gr	peso lavado: 83.01gr	perdida: 7.52gr
---------------------	----------------------	-----------------

Tabla 2 Análisis granulométrico-orgánico-P1

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	100.00
4	4.750	0.00	0.00	100.00
10	2.000	0.00	0.00	100.00
20	0.840	0.00	0.00	100.00
40	0.425	0.00	0.00	100.00
60	0.250	0.00	0.00	100.00
100	0.150	48.75	11.82	88.18
200	0.075	26.40	6.40	81.78
bandeja	0.000	337.33	81.78	0.00
		412.48	100.00	

Figura 2 Curva granulométrica-orgánico-P1



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

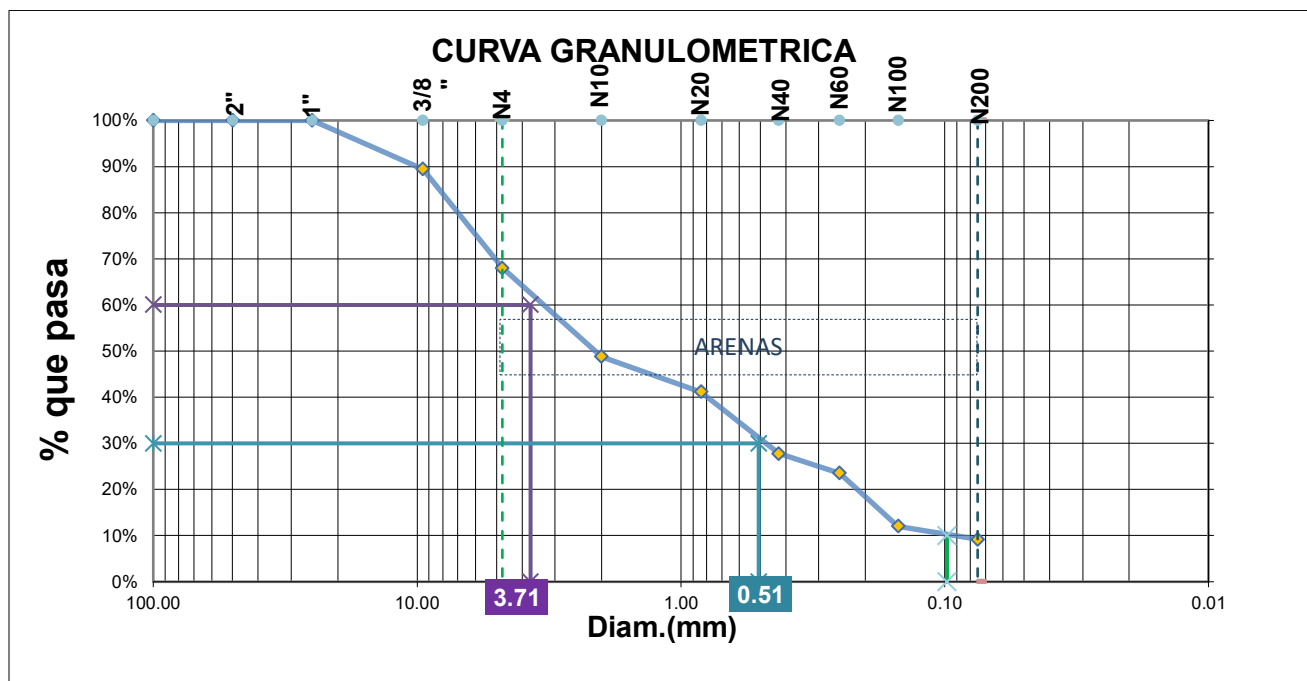
• **Tercer Estrato - Arena**

Peso inicial: 280gr	peso lavado: 254.68gr	perdida: 1.72gr
---------------------	-----------------------	-----------------

Tabla 3 Análisis granulométrico-arena-p1

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	29.32	10.54%	89.46%
4	4.750	59.75	21.47%	67.99%
10	2.000	53.42	19.20%	48.80%
20	0.840	21.31	7.66%	41.14%
40	0.425	37.25	13.39%	27.75%
60	0.250	11.68	4.20%	23.56%
100	0.150	32.17	11.56%	12.00%
200	0.075	7.74	2.78%	9.21%
bandeja	0.000	25.64	9.21%	0.00%
		278.28	100.00%	

Figura 3 Curva granulométrica-arena-P1



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

b) PUNTO 2

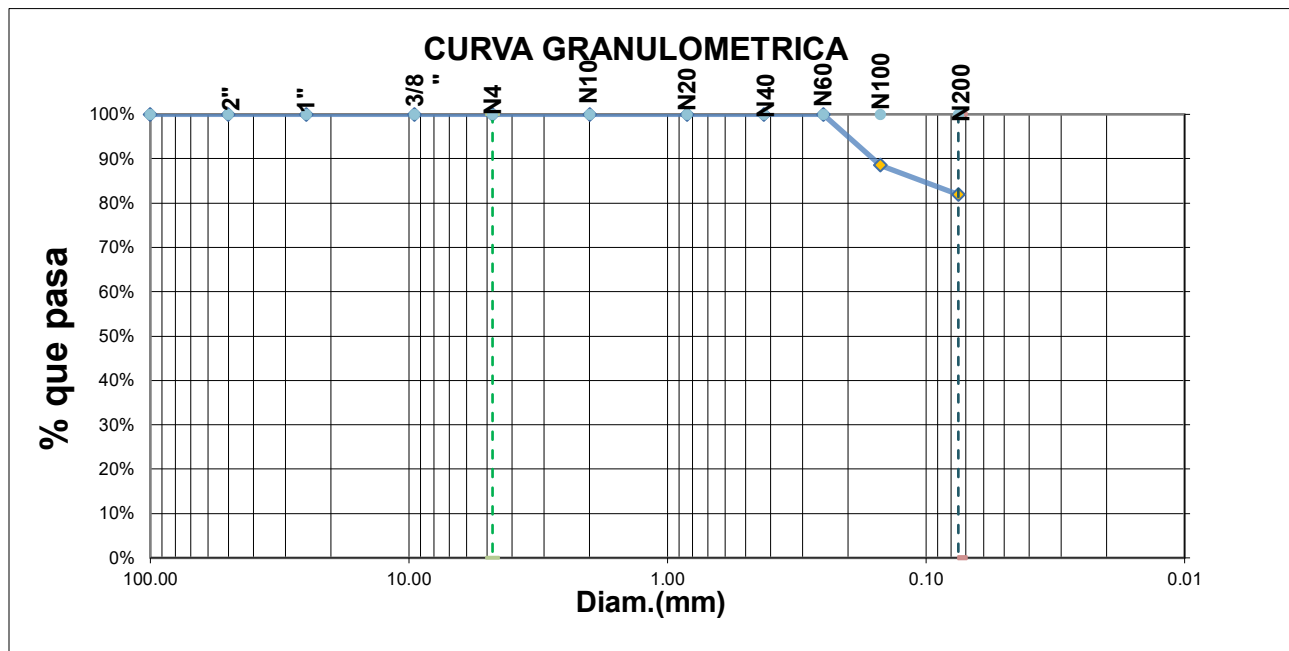
• Primer Estrato – Orgánico

Peso inicial: 420gr	peso lavado: 81.23gr	perdida: 5.98gr
---------------------	----------------------	-----------------

Tabla 4 Análisis granulométrico-organico-P2

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	100.00
4	4.750	0.00	0.00	100.00
10	2.000	0.00	0.00	100.00
20	0.840	0.00	0.00	100.00
40	0.425	0.00	0.00	100.00
60	0.250	0.00	0.00	100.00
100	0.150	47.52	11.48	88.52
200	0.075	27.35	6.61	81.92
bandeja	0.000	339.15	81.92	0.00
		414.02	100.00	

Figura 4 Curva granulométrica-organico-P2



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

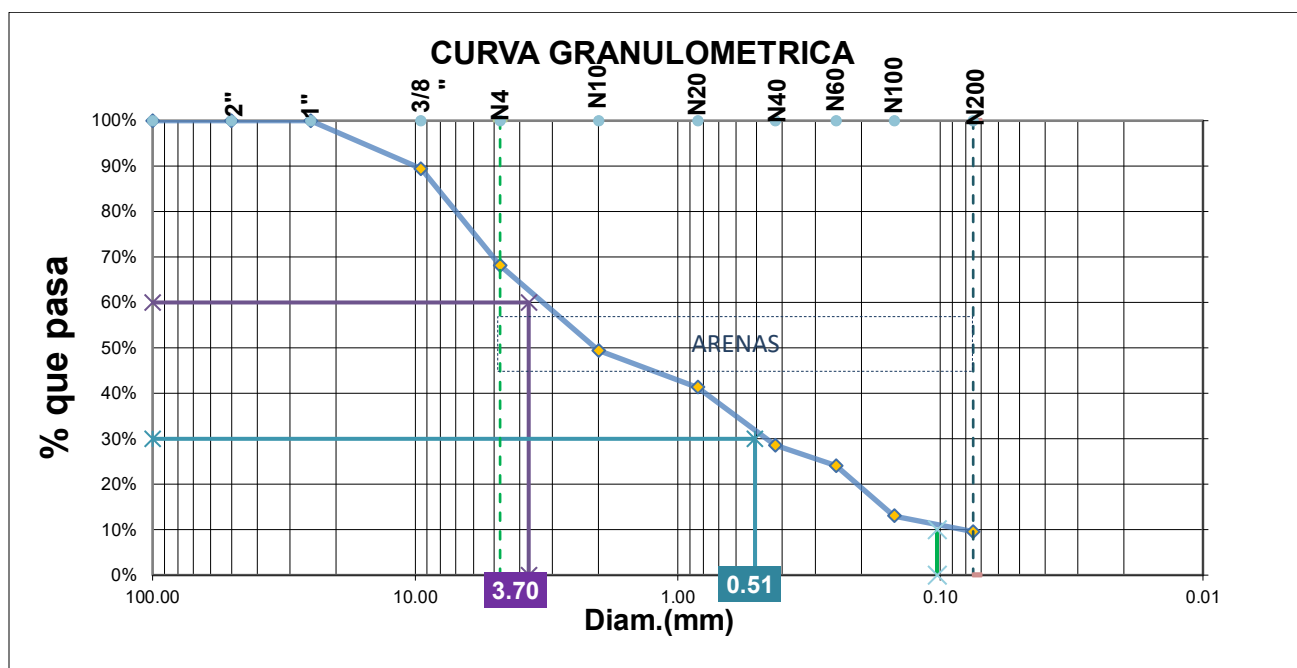
• **Segundo Estrato – Arena**

Peso inicial: 280gr	peso lavado: 253.9gr	perdida: 4.01gr
---------------------	----------------------	-----------------

Tabla 5 Análisis granulométrico-arena-P2

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	29.15	10.56	89.44
4	4.750	58.68	21.26	68.18
10	2.000	51.67	18.72	49.45
20	0.840	22.35	8.10	41.36
40	0.425	35.26	12.78	28.58
60	0.250	12.36	4.48	24.10
100	0.150	30.58	11.08	13.02
200	0.075	9.49	3.44	9.58
bandeja	0.000	26.45	9.58	0.00
		275.99	100.00	

Figura 5 Curva granulométrica-arena-P2



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

c) PUNTO 3 (P3=P6=P9)

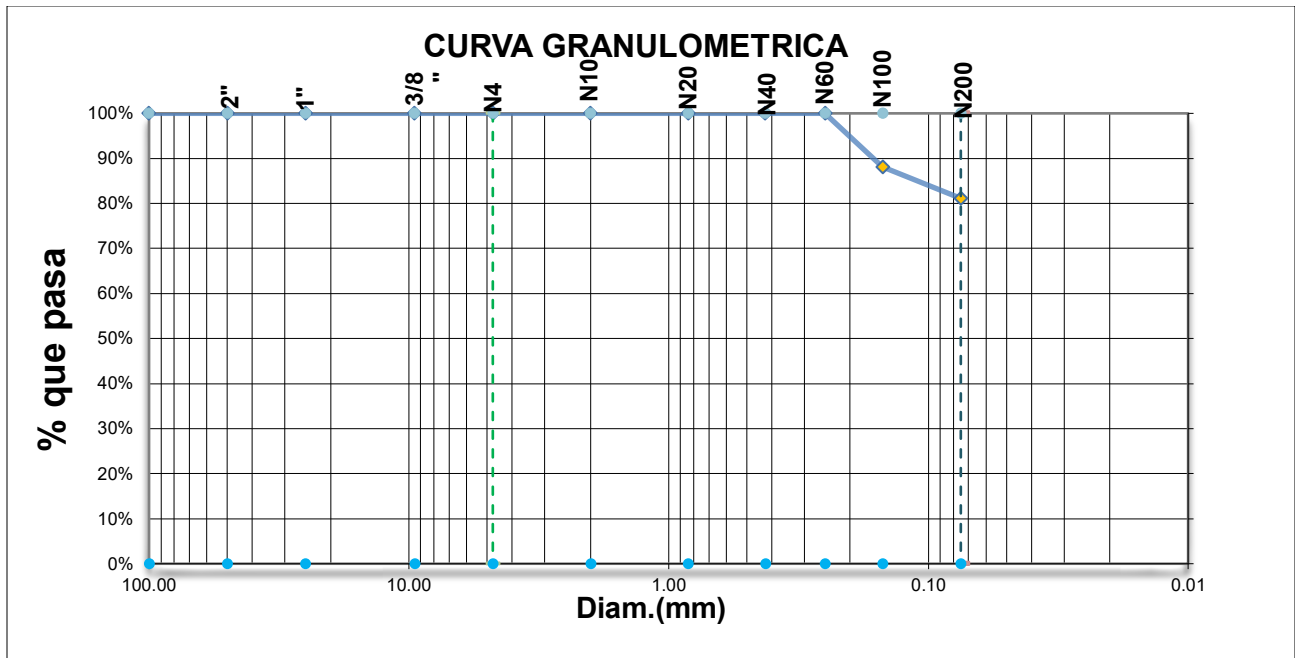
• Primer Estrato – Orgánico

Peso inicial: 420gr	peso lavado: 82.94gr	perdida: 4.06gr
---------------------	----------------------	-----------------

Tabla 6 Análisis granulométrico-orgánico-P3

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	100.00
4	4.750	0.00	0.00	100.00
10	2.000	0.00	0.00	100.00
20	0.840	0.00	0.00	100.00
40	0.425	0.00	0.00	100.00
60	0.250	0.00	0.00	100.00
100	0.150	49.64	11.93	88.07
200	0.075	28.86	6.94	81.13
bandeja	0.000	337.44	81.13	0.00
		415.94	100.00	

Figura 6 Curva granulométrica-orgánico-P3



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

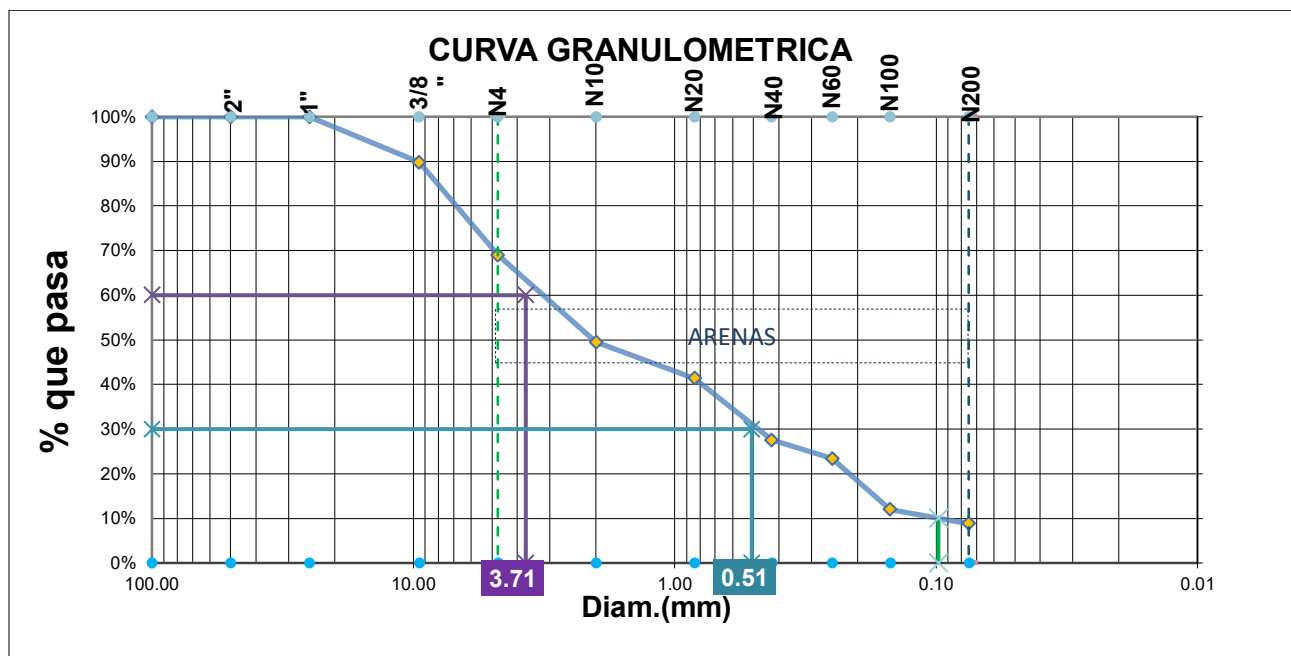
• **Segundo Estrato – Arena**

Peso inicial: 280gr	peso lavado: 256.01gr	perdida: 3.43gr
---------------------	-----------------------	-----------------

Tabla 7 Análisis granulométrico-arena-P3

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	28.18	10.19	89.81
4	4.750	57.64	20.84	68.97
10	2.000	53.82	19.46	49.51
20	0.840	22.48	8.13	41.38
40	0.425	38.25	13.83	27.55
60	0.250	11.58	4.19	23.36
100	0.150	31.57	11.41	11.95
200	0.075	8.69	3.14	8.81
bandeja	0.000	24.36	8.81	0.00
		276.57	100.00%	

Figura 7 Curva granulométrica-arena-P3



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

d) PUNTO 5 (P5=P8)

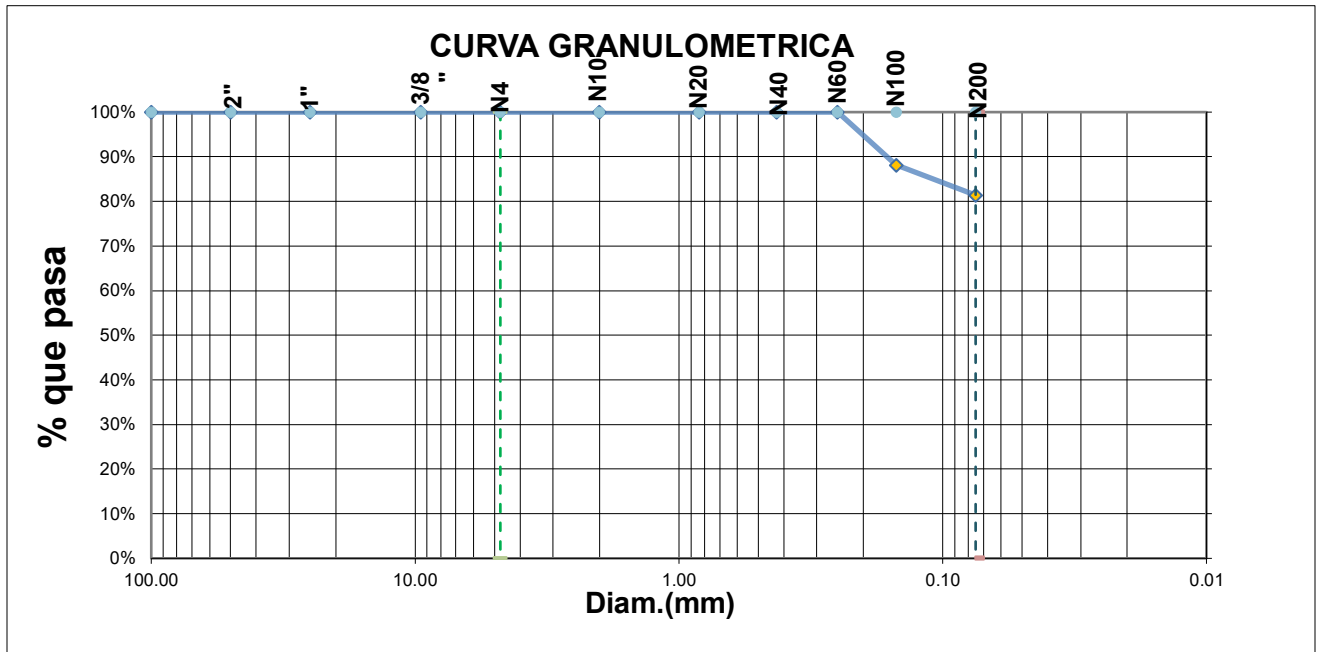
• Primer Estrato – Orgánico

Peso inicial: 420gr	peso lavado: 81.82gr	perdida: 4.05gr
---------------------	----------------------	-----------------

Tabla 8 Análisis granulométrico-organico-P5

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	100.00
4	4.750	0.00	0.00	100.00
10	2.000	0.00	0.00	100.00
20	0.840	0.00	0.00	100.00
40	0.425	0.00	0.00	100.00
60	0.250	0.00	0.00	100.00
100	0.150	49.18	11.82	88.18
200	0.075	28.23	6.79	81.39
bandeja	0.000	338.54	81.39	0.00
		415.95	100.00	

Figura 8 Curva granulométrica-organico-P5



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

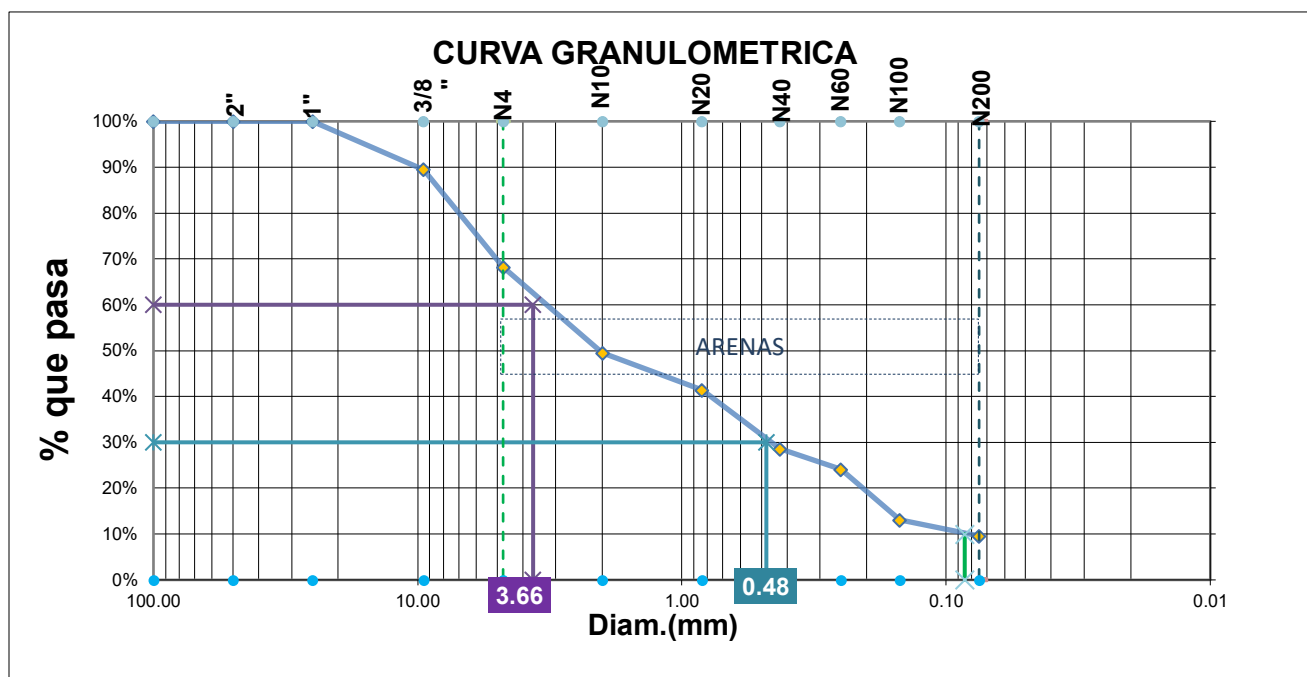
- Segundo Estrato – Arena**

Peso inicial: 280gr	peso lavado: 253.93gr	perdida:4.02 gr
---------------------	-----------------------	-----------------

Tabla 9 Análisis granulométrico-arena-P5

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	29.15	10.56	89.44
4	4.750	58.68	21.26	68.18
10	2.000	51.67	18.72	49.45
20	0.840	22.35	8.10	41.36
40	0.425	35.26	12.78	28.58
60	0.250	12.36	4.48	24.10
100	0.150	30.58	11.08	13.02
200	0.075	9.49	3.44	9.58
bandeja	0.000	26.45	9.58	0.00
		275.98	100.00	

Figura 9 Curva granulométrica-arena-P5



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

e) PLATAFORMA

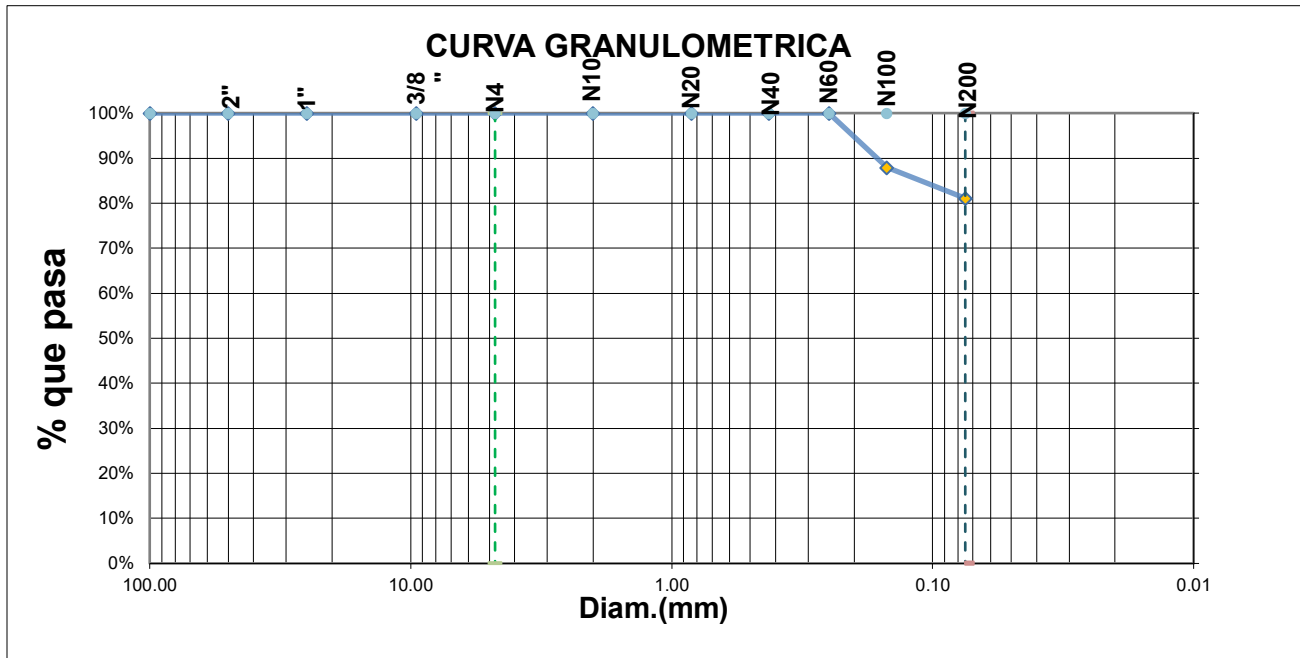
• **Primer Estrato – Orgánico**

Peso inicial: 420gr	peso lavado: 84.81gr	perdida:6.15gr
---------------------	----------------------	----------------

Tabla 10 Análisis granulométrico-orgánico-plataforma

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	100.00
4	4.750	0.00	0.00	100.00
10	2.000	0.00	0.00	100.00
20	0.840	0.00	0.00	100.00
40	0.425	0.00	0.00	100.00
60	0.250	0.00	0.00	100.00
100	0.150	50.12	12.11	87.89
200	0.075	28.15	6.80	81.09
bandeja	0.000	335.58	81.09	0.00
		413.85	100.00	

Figura 10 Curva granulométrica-orgánico-plataforma



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

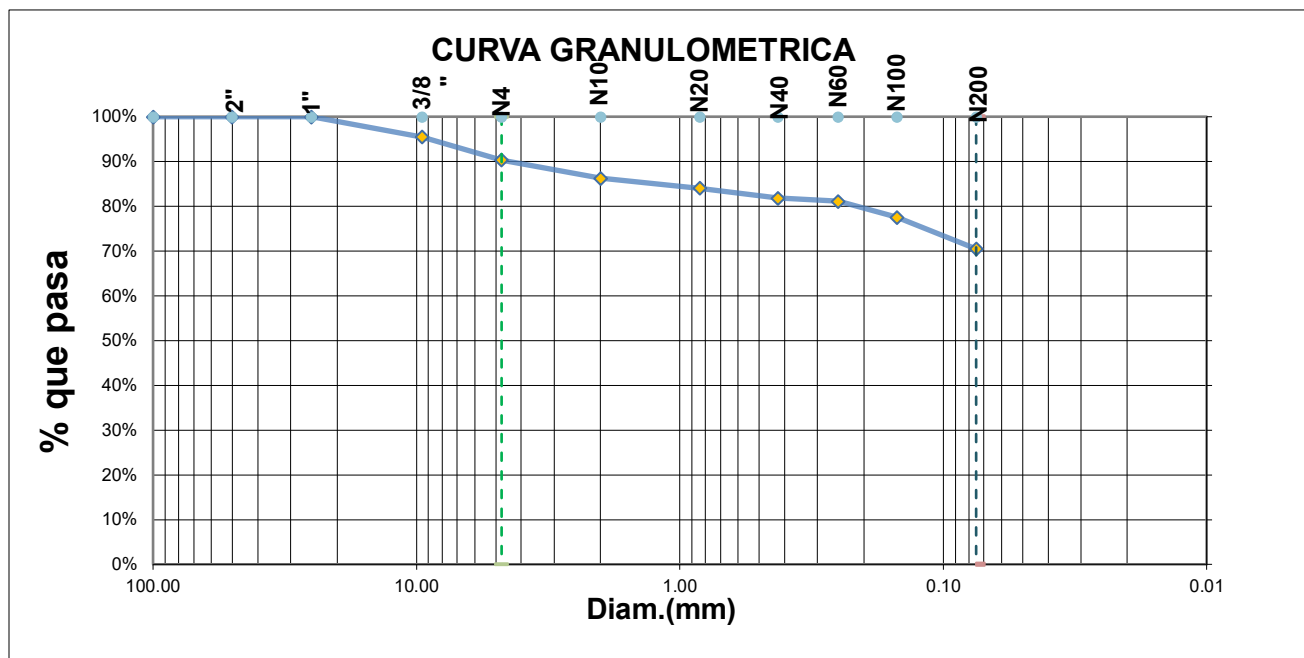
• **Segundo Estrato – Arcilla**

Peso inicial: 300gr	peso lavado: 91.55gr	perdida: 3.69gr
---------------------	----------------------	-----------------

Tabla 11 Análisis granulométrico-arcilla-plataforma

Tamiz N°	Diam.(mm)	Peso retenido	%retenido	%que pasa
4"	100	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	100.00
1"	25	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	13.40	4.52	95.48
4	4.750	15.22	5.14	90.34
10	2.000	12.20	4.12	86.22
20	0.840	6.44	2.17	84.05
40	0.425	6.53	2.20	81.85
60	0.250	2.27	0.77	81.08
100	0.150	10.48	3.54	77.54
200	0.075	20.96	7.07	70.47
bandeja	0.000	208.81	70.47	0.00
		296.31	100.00	

Figura 11 Curva granulométrica-arcilla-plataforma



2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

a) PUNTO 1 (P1=P4=P7)

• Primer Estrato - Grava

LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 13 Limite plastico-grava-P1

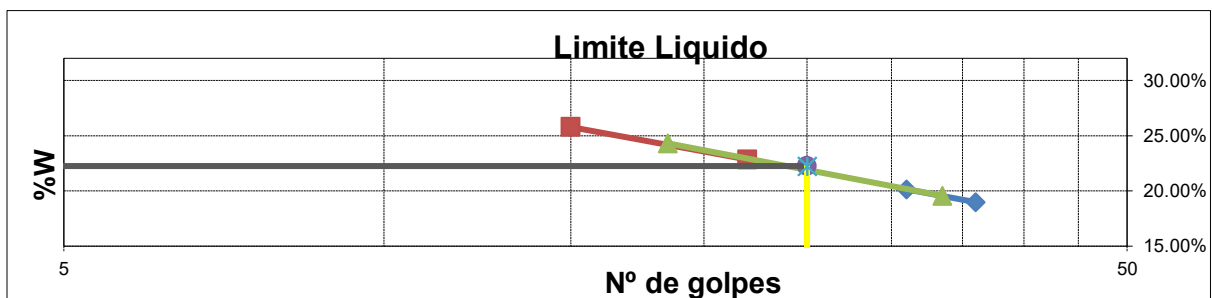
Nº de lata	1	2	3	PROMEDIO
peso de suelo hum. + lata(gr)	27.11	28.42	28.81	
peso de suelo seco + lata(gr)	26.63	27.81	27.98	
peso de lata(gr)	23.73	24.28	23.29	
peso de suelo seco(gr)	2.90	3.53	4.69	
peso de suelo húmedo(gr)	3.38	4.14	5.52	
peso de agua(gr)	0.48	0.61	0.83	
contenido de humedad	16.39%	17.29%	17.72%	17.13%

LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 14 Limite Liquido-grava-P1

Nº de lata	1	2	3	4
peso de suelo húmedo + lata(gr)	86.73	85.08	91.38	103.23
peso de suelo seco + lata(gr)	76.74	74.86	78.82	86.90
peso de lata(gr)	24.12	24.14	23.79	23.54
peso de suelo seco(gr)	52.62	50.72	55.03	63.36
peso de suelo húmedo(gr)	62.61	60.94	67.59	79.69
peso de agua(gr)	9.99	10.22	12.56	16.33
contenido de humedad	18.99%	20.14%	22.83%	25.77%
Numero de golpes: N	36	31	22	15
LL aproximado	19.85	20.67	22.48	24.23

Figura 13 Diagrama del Limite Liquido-arcilla-P1



ÍNDICE DE PLASTICIDAD

LL= 22.25%, LP= 17.13%, IP = LL-LP = 5.12%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

• **Segundo Estrato – Orgánico**
LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 15 Limite plastico-organico-PI

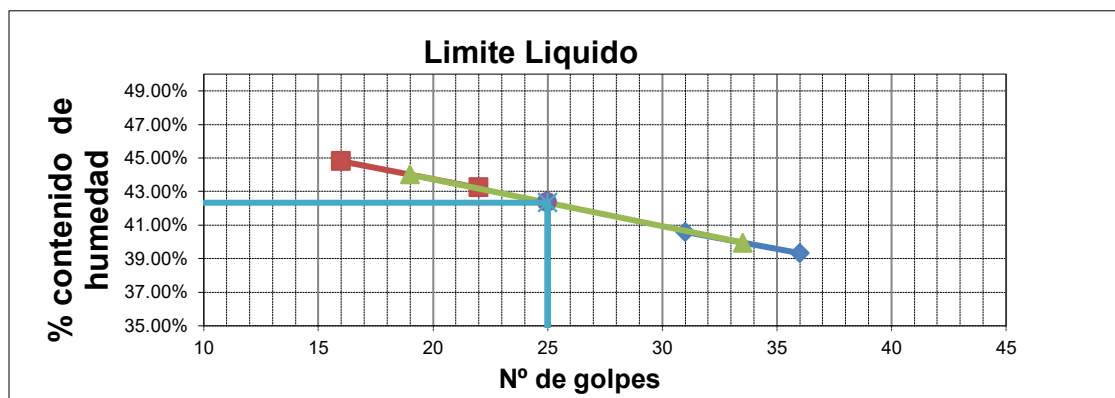
Nº de lata	1	2	3
peso de suelo húmedo + lata(gr)	30.55	30.84	30.55
peso de suelo seco + lata(gr)	28.29	28.88	28.36
peso de lata(gr)	20.74	21.94	20.77
peso de suelo seco(gr)	7.55	6.94	7.59
peso de suelo húmedo(gr)	9.81	8.90	9.78
peso de agua(gr)	2.26	1.96	2.19
contenido de humedad	29.93%	28.24%	28.85%

LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 16 Limite Liquido-organico-PI

Nº de lata	1	2	3	4
peso de suelo húmedo + lata(gr)	83.52	89.51	84.35	95.35
peso de suelo seco + lata(gr)	65.86	69.68	65.40	72.35
peso de lata(gr)	20.96	20.83	21.55	21.02
peso de suelo seco(gr)	44.90	48.85	43.85	51.33
peso de suelo húmedo(gr)	62.56	68.68	62.80	74.33
peso de agua(gr)	17.66	19.83	18.95	23.00
contenido de humedad	39.33%	40.59%	43.22%	44.81%
Numero de golpes: N	36	31	22	16
LL aproximado	41.11%	41.66%	42.55%	42.45%

Figura 14 Diagrama del Limite Liquido-organico-PI



ÍNDICE DE PLASTICIDAD

LL= 42.34%, LP= 29.01%, IP = LL-LP = 13.33%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

b) PUNTO 2

• Primer Estrato – Orgánico

LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 17 Limite plastico-organico-P2

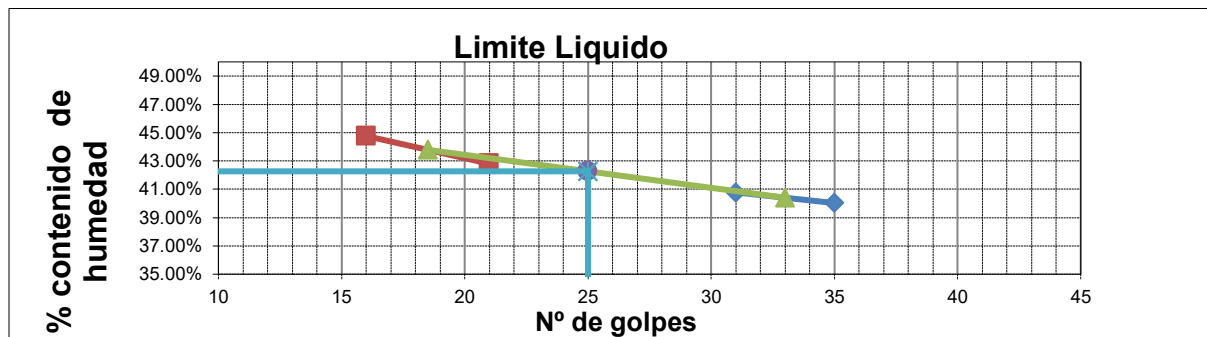
N° de lata	1	2	3
peso de suelo húmedo + lata(gr)	30.45	30.64	30.48
peso de suelo seco + lata(gr)	28.36	28.42	28.32
peso de lata(gr)	21.15	20.64	21.35
peso de suelo seco(gr)	7.21	7.78	6.97
peso de suelo húmedo(gr)	9.30	10.00	9.13
peso de agua(gr)	2.09	2.22	2.16
contenido de humedad	28.99%	28.53%	30.99%

LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 18 Limite Liquido-organico-P2

N° de lata	1	2	3	4
peso de suelo húmedo + lata(gr)	84.24	88.23	85.36	94.31
peso de suelo seco + lata(gr)	66.12	68.79	66.32	71.84
peso de lata(gr)	20.85	21.12	21.84	21.64
peso de suelo seco(gr)	45.27	47.67	44.48	50.20
peso de suelo húmedo(gr)	63.39	67.11	63.52	72.67
peso de agua(gr)	18.12	19.44	19.04	22.47
contenido de humedad	40.03%	40.78%	42.81%	44.76%
Numero de golpes: N	35	31	21	16
LL aproximado	41.69%	41.86%	41.91%	42.41%

Figura 15 Diagrama del Limite Liquido-organico-P2



ÍNDICE DE PLASTICIDAD

LL= 42.27%, LP= 29.50%, IP = LL-LP = 12.76%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

c) PUNTO 3 (P3=P6=P9)

• Primer Estrato – Orgánico

LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 19 Limite plastico-organico-P3

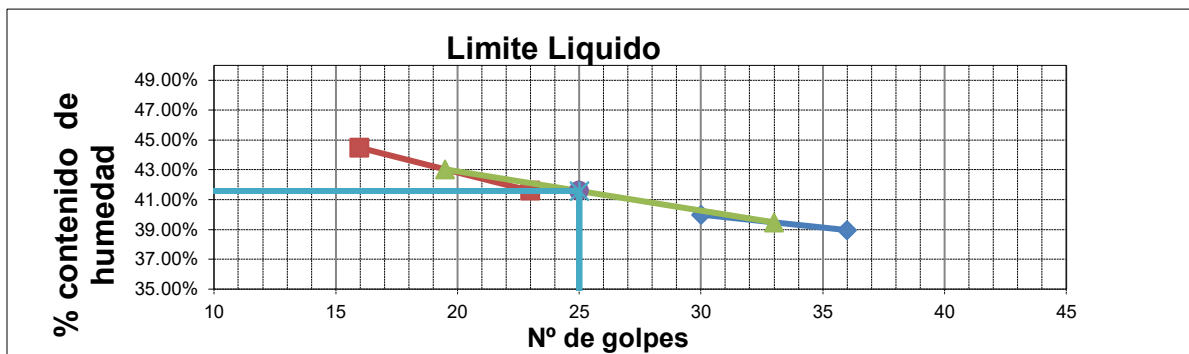
Nº de lata	1	2	3
peso de suelo húmedo + lata(gr)	30.62	30.92	30.40
peso de suelo seco + lata(gr)	28.56	28.52	28.32
peso de lata(gr)	21.54	20.35	21.10
peso de suelo seco(gr)	7.02	8.17	7.22
peso de suelo húmedo(gr)	9.08	10.57	9.30
peso de agua(gr)	2.06	2.40	2.08
contenido de humedad	29.34%	29.38%	28.81%

LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 20 Limite Liquido-organico-P3

Nº de lata	1	2	3	4
peso de suelo húmedo + lata(gr)	84.25	88.64	83.68	94.64
peso de suelo seco + lata(gr)	66.42	69.35	65.08	72.12
peso de lata(gr)	20.65	21.12	20.35	21.48
peso de suelo seco(gr)	45.77	48.23	44.73	50.64
peso de suelo húmedo(gr)	63.60	67.52	63.33	73.16
peso de agua(gr)	17.83	19.29	18.60	22.52
contenido de humedad	38.96%	40.00%	41.58%	44.47%
Numero de golpes: N	36	30	23	16
LL aproximado	40.71%	40.89%	41.17%	42.13%

Figura 16 Diagrama del Limite Liquido-organico-P3



ÍNDICE DE PLASTICIDAD

LL= 41.58%, LP= 29.18%, IP = LL-LP = 12.40%

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

d) PUNTO 5 (P5=P8)

- **Primer Estrato – Orgánico**

LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 21 Limite plastico-organico-P5

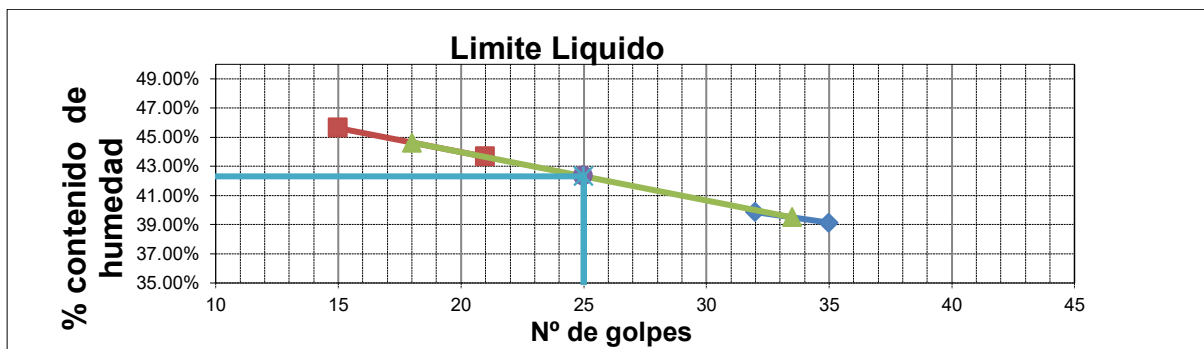
Nº de lata	1	2	3
peso de suelo húmedo + lata(gr)	31.10	30.65	30.84
peso de suelo seco + lata(gr)	28.80	28.35	28.65
peso de lata(gr)	21.36	20.67	21.25
peso de suelo seco(gr)	7.44	7.68	7.40
peso de suelo húmedo(gr)	9.74	9.98	9.59
peso de agua(gr)	2.30	2.30	2.19
contenido de humedad	30.91%	29.95%	29.59%

LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 22 Limite Liquido-organico-P5

Nº de lata	1	2	3	4
peso de suelo húmedo + lata(gr)	84.10	88.36	85.29	95.12
peso de suelo seco + lata(gr)	66.48	69.27	65.64	72.05
peso de lata(gr)	21.46	21.38	20.62	21.48
peso de suelo seco(gr)	45.02	47.89	45.02	50.57
peso de suelo húmedo(gr)	62.64	66.98	64.67	73.64
peso de agua(gr)	17.62	19.09	19.65	23.07
contenido de humedad	39.14%	39.86%	43.65%	45.62%
Numero de golpes: N	35	32	21	15
LL aproximado	40.76%	41.07%	42.74%	42.89%

Figura 17 Diagrama del Limite Liquido-organico-P5



ÍNDICE DE PLASTICIDAD

LL= 42.32%, LP= 30.15%, IP = LL-LP = 12.17%

**“ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

e) PLATAFORMA

• Primer Estrato – Orgánico

LIMITE PLASTICO

Tabla 23 Limite plástico-orgánico-plataforma

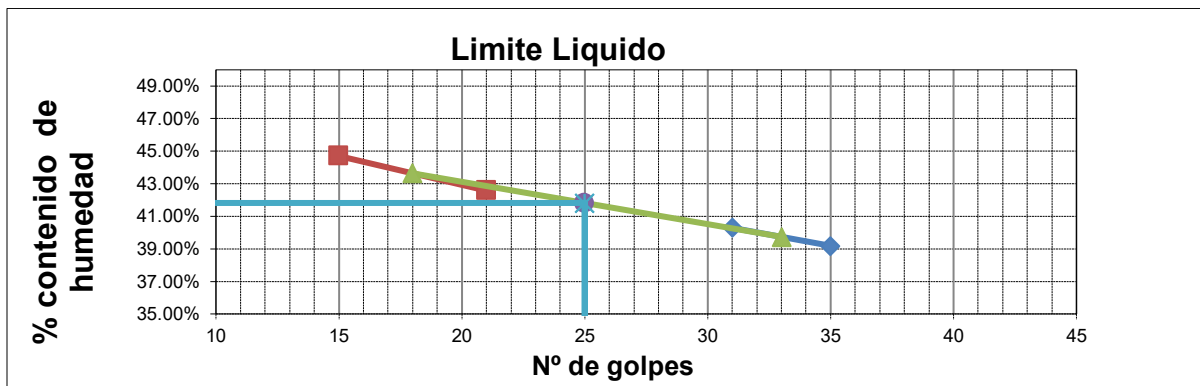
Nº de lata	1	2	3
peso de suelo húmedo + lata(gr)	29.70	30.16	29.80
peso de suelo seco + lata(gr)	27.71	28.32	27.78
peso de lata(gr)	20.72	21.91	20.75
peso de suelo seco(gr)	6.99	6.41	7.03
peso de suelo húmedo(gr)	8.98	8.25	9.05
peso de agua(gr)	1.99	1.84	2.02
contenido de humedad	28.47%	28.71%	28.73%

LIMITE LIQUIDO

Tabla 24 Limite Liquido-orgánico-plataforma

Nº de lata	1	2	3	4
peso de suelo húmedo + lata(gr)	79.35	84.94	79.70	89.40
peso de suelo seco + lata(gr)	62.90	66.52	62.35	68.43
peso de lata(gr)	20.92	20.80	21.60	21.52
peso de suelo seco(gr)	41.98	45.72	40.75	46.91
peso de suelo húmedo(gr)	58.43	64.14	58.10	67.88
peso de agua(gr)	16.45	18.42	17.35	20.97
contenido de humedad	39.19%	40.29%	42.58%	44.70%
Numero de golpes: N	35	31	21	15
LL aproximado	40.81%	41.35%	41.69%	42.02%

Figura 18 Diagrama del Limite Liquido-orgánico-plataforma



INDICE DE PLASTICIDAD

LL= 41.82%, LP= 28.64%, IP = LL-LP = 13.18%

**“ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

• **Segundo Estrato – Arcilla**
LIMITE PLASTICO

Tabla 25 Limite plástico-arcilla-plataforma

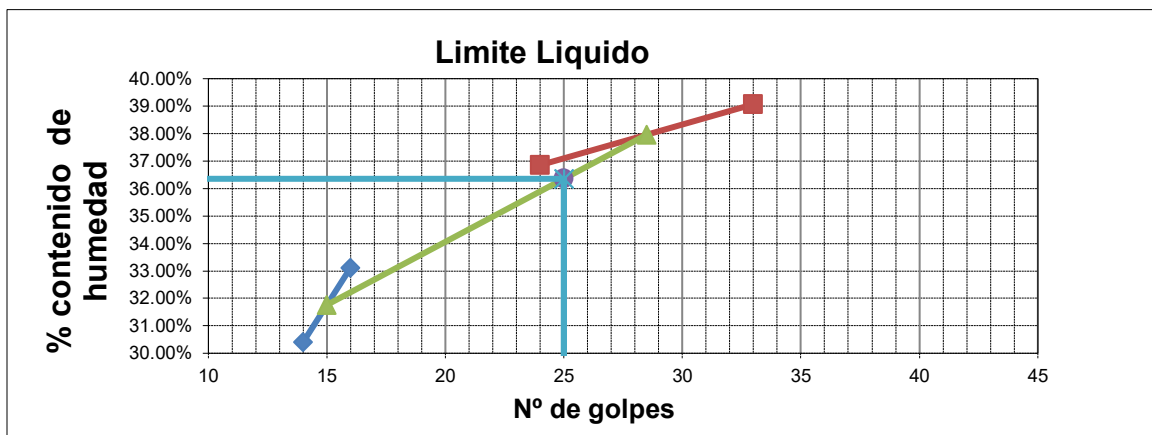
Nº de lata	1	2	3
peso de suelo húmedo + lata(gr)	39.79	43.75	45.33
peso de suelo seco + lata(gr)	37.14	40.84	41.76
peso de lata(gr)	22.97	24.97	22.57
peso de suelo seco(gr)	14.17	15.87	19.19
peso de suelo húmedo(gr)	16.82	18.78	22.76
peso de agua(gr)	2.65	2.91	3.57
contenido de humedad	18.70%	18.34%	18.60%

LIMITE LIQUIDO

Tabla 26 Limite Liquido-arcilla-plataforma

Nº de lata	1	2	3	4
peso de suelo húmedo + lata(gr)	92.23	91.80	96.00	103.45
peso de suelo seco + lata(gr)	75.42	74.00	75.83	80.11
peso de lata(gr)	20.14	20.25	21.10	20.37
peso de suelo seco(gr)	55.28	53.75	54.73	59.74
peso de suelo húmedo(gr)	72.09	71.55	74.90	83.08
peso de agua(gr)	16.81	17.80	20.17	23.34
contenido de humedad	30.41%	33.12%	36.85%	39.07%
Numero de golpes: N	14	16	24	33
LL aproximado	28.35%	31.38%	36.67%	40.40%

Figura 19 Diagrama del Limite Liquido-arcilla-plataforma



INDICE DE PLASTICIDAD

LL= 36.35%, LP= 18.55%, IP = LL-LP = 17.81%

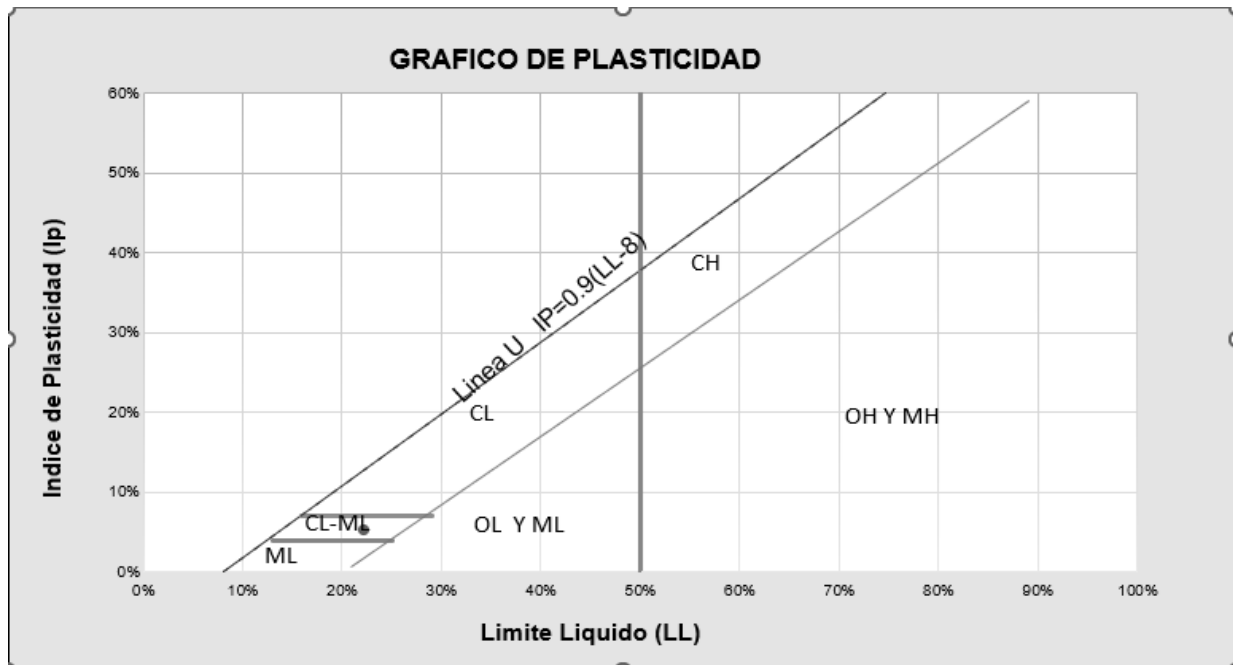
3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

a) PUNTO 1 (P1=P4=P7)

- Primer Estrato – Grava**

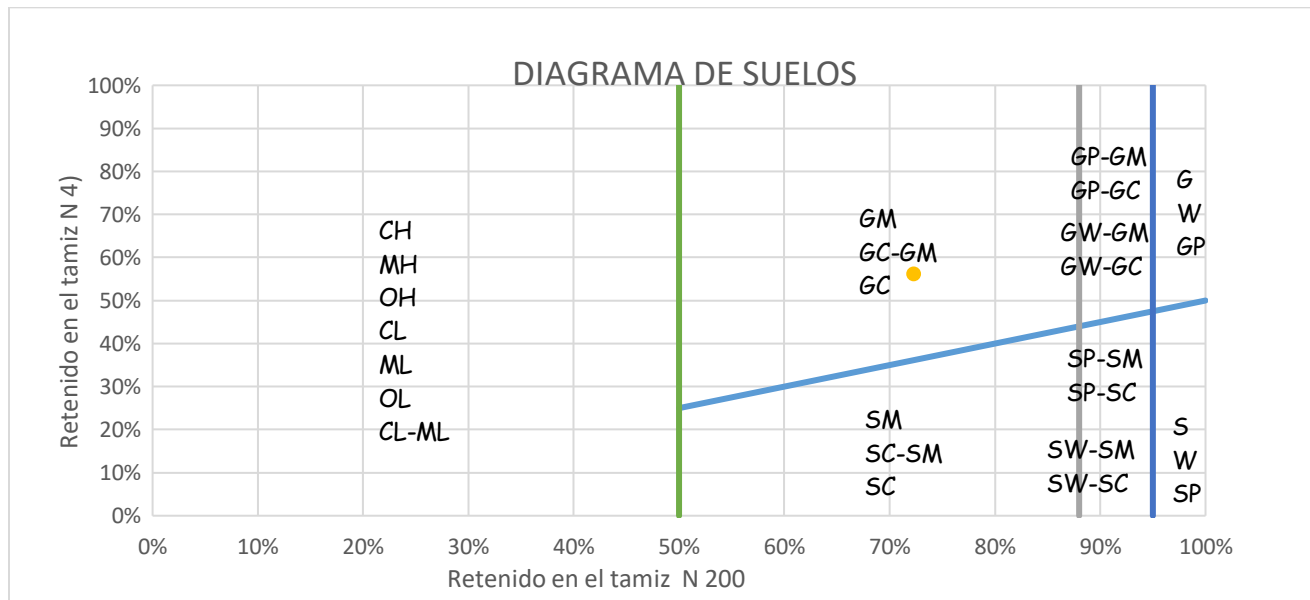
Retenido en malla N°200	72.26%
Retenido en malla N°4	56.19%
D60	35.00
D30	0.11
LL	22.25%
LP	17.13%
I P	5.12%

Figura 20 Clasificación de suelos-grava (LL-IP)-P1



**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Figura 21 Clasificación de suelos-grava (Ret.Nº200-Ret.Nº4)-P1



GC-GM (Grava arcillosa limosa de baja plasticidad)

- Segundo Estrato – Orgánico**

Retenido en malla N°200	18.22%
Retenido en malla N°4	0.00%
LL	42.34%
LP	29.01%
I P	13.33%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 22 Clasificación de suelos-orgánico (LL-IP)-P1

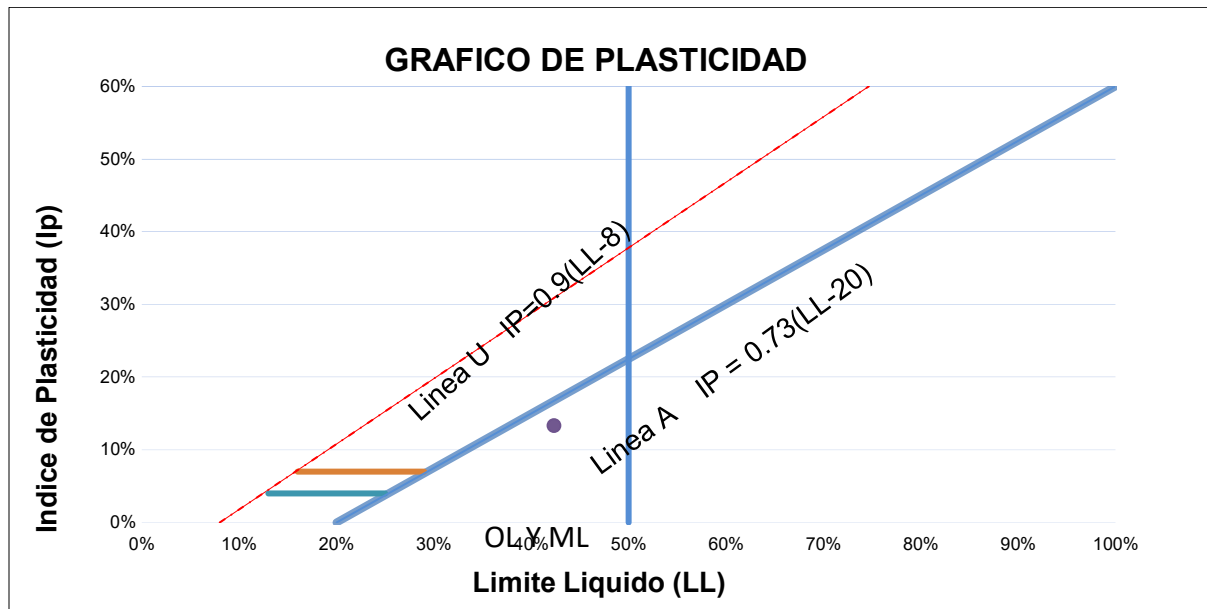
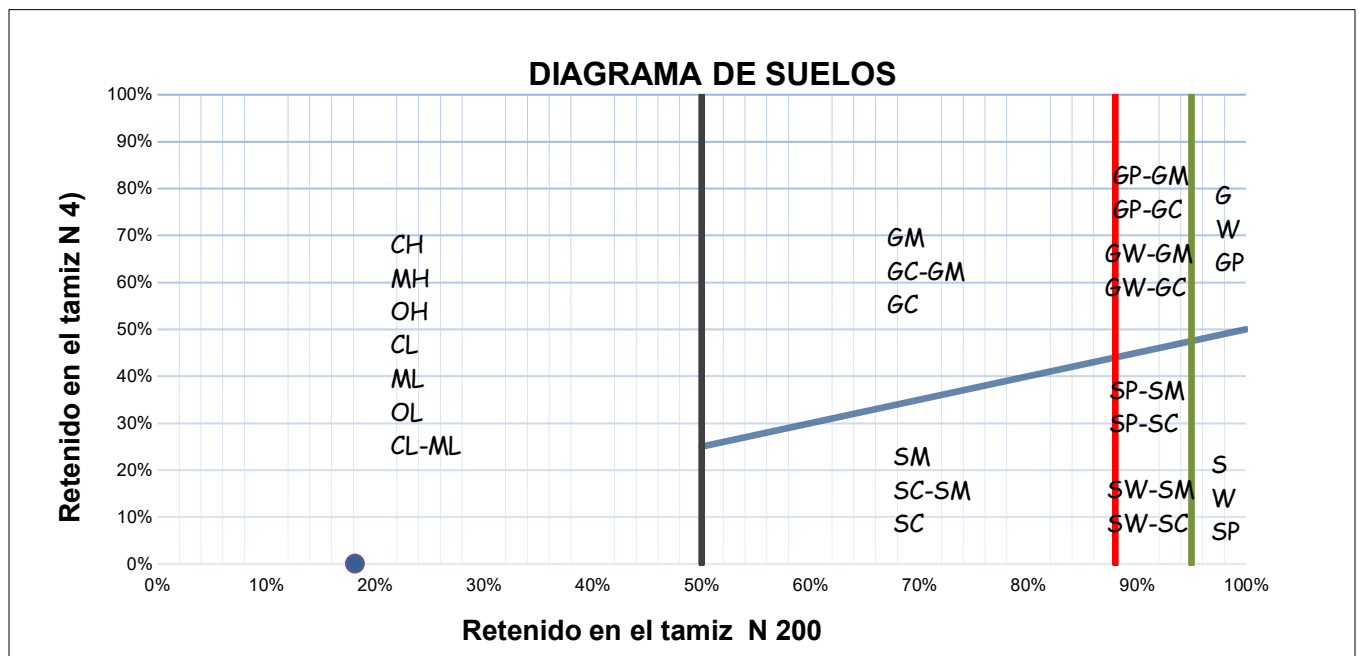


Figura 23 Clasificación de suelos-orgánico (Ret.Nº200-Ret.Nº4)-P1

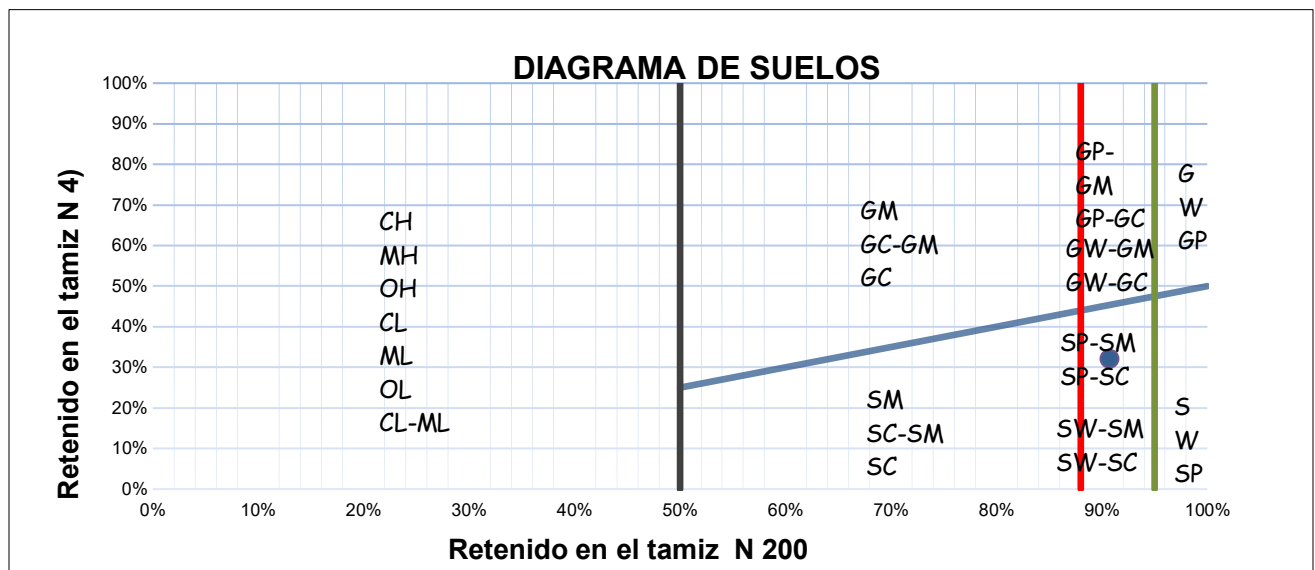


**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

• **Tercer Estrato – Arena**

Retenido en malla N°200	90.79%
Retenido en malla N°4	32.01%
D60	3.713
D30	0.507
D10	0.098
Cu	37.89
Cc	0.71

Figura 24 Clasificación de suelos-arena (Ret.N°200-Ret.N°4)-P1



SW-SM (Arena bien graduada con limo)

b) PUNTO 2

• **Primer Estrato – Orgánico**

Retenido en malla N°200	18.08%
Retenido en malla N°4	0.00%
LL	42.27%
LP	29.50%
I P	12.76%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 25 Clasificación de suelos-orgánico (LL-IP)-P2

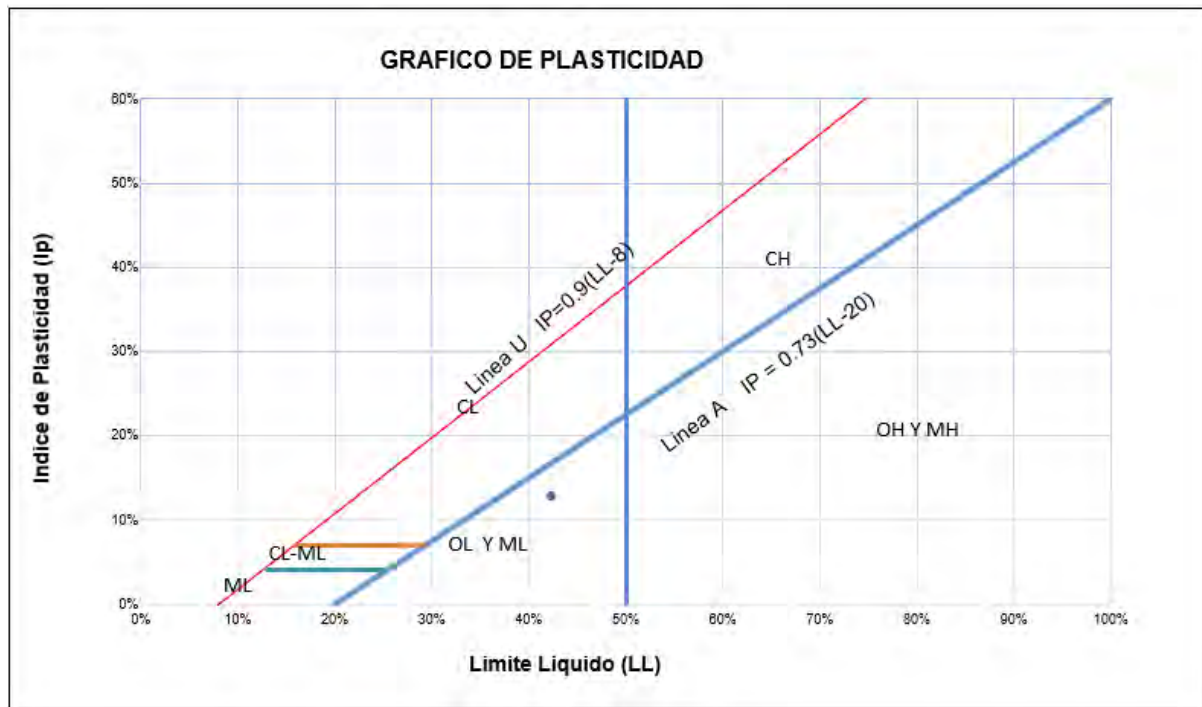
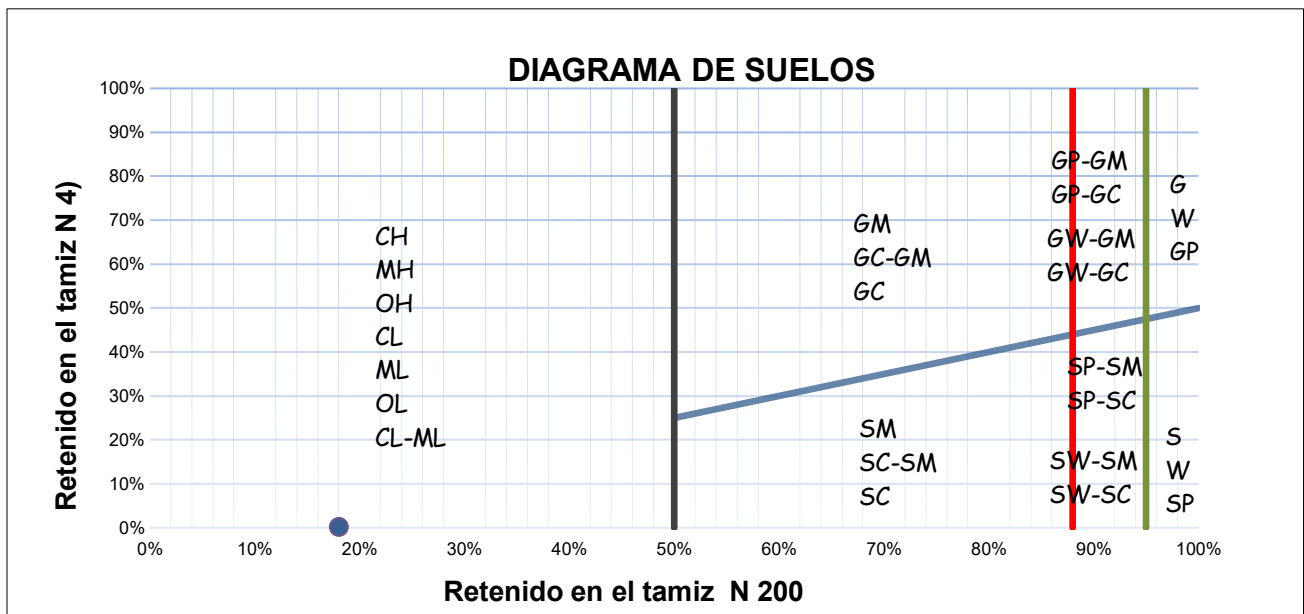


Figura 26 Clasificación de suelos-orgánico (Ret.Nº200-Ret.Nº4)-P2



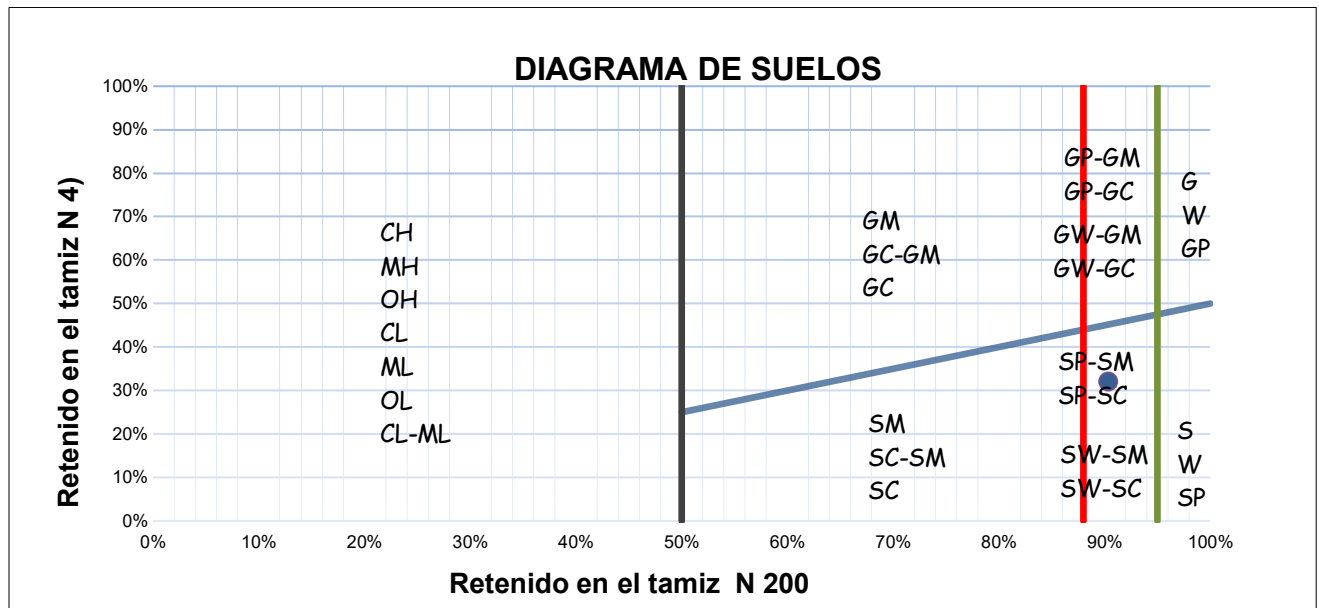
OL (Limo orgánico de baja plasticidad)

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

• **Segundo Estrato – Arena**

Retenido en malla N°200	90.42%
Retenido en malla N°4	31.82%
D60	3.696
D30	0.508
D10	0.103
Cu	35.88
Cc	0.68

Figura 27 Clasificación de suelos-arena (Ret.N°200-Ret.N°4)-P2



SW-SM (Arena bien graduada con limo)

c) **PUNTO 3 (P3=P6=P9)**

• **Primer Estrato – Orgánico**

Retenido en malla N°200	18.87%
Retenido en malla N°4	0.00%
LL	41.58%
LP	29.18%
I P	12.40%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 28 Clasificación de suelos-orgánico (LL-IP)-P3

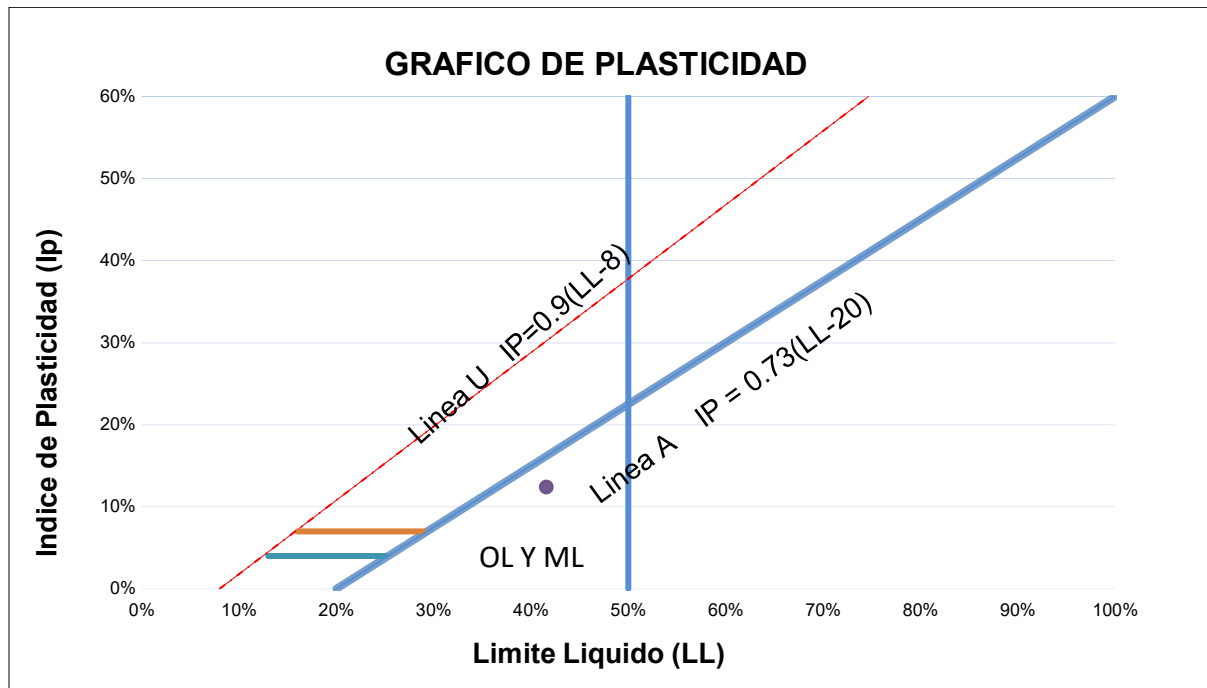
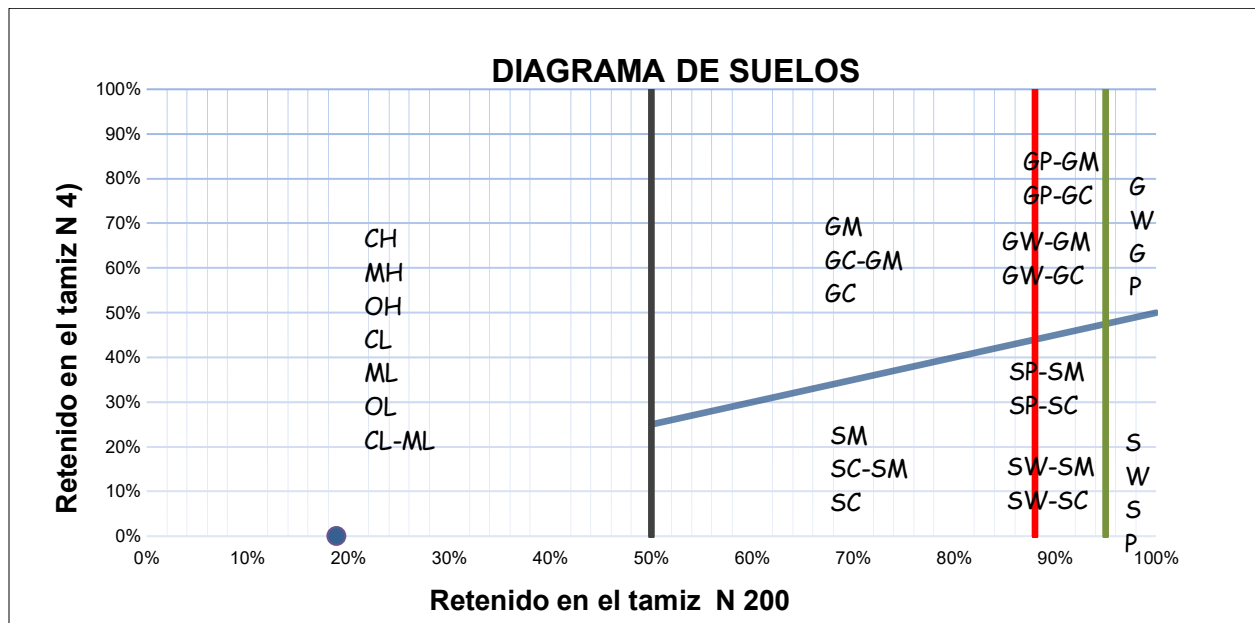


Figura 29 Clasificación de suelos-orgánico (Ret.Nº200-Ret.Nº4)-P3



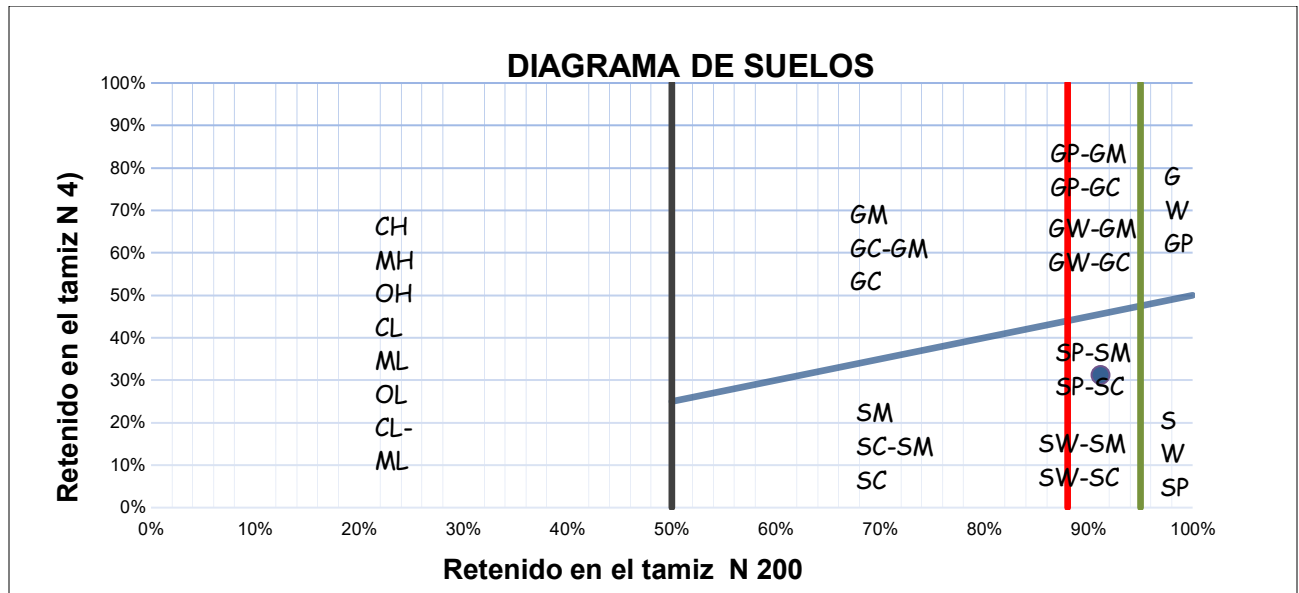
OL (Limo orgánico de baja plasticidad)

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

• **Segundo Estrato – Arena**

Retenido en malla N°200	91.19%
Retenido en malla N°4	31.03%
D60	3.713
D30	0.507
D10	0.098
Cu	37.89
Cc	0.71

Figura 30 Clasificación de suelos-arena (Ret.N°200-Ret.N°4)-P3



SW-SM (Arena bien graduada con limo)

d) PUNTO 5 (P5=P8)

• **Primer Estrato – Orgánico**

Retenido en malla N°200	18.61%
Retenido en malla N°4	0.00%
LL	42.32%
LP	30.15%
I P	12.16%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 31 Clasificación de suelos-orgánico (LL-IP)-P5

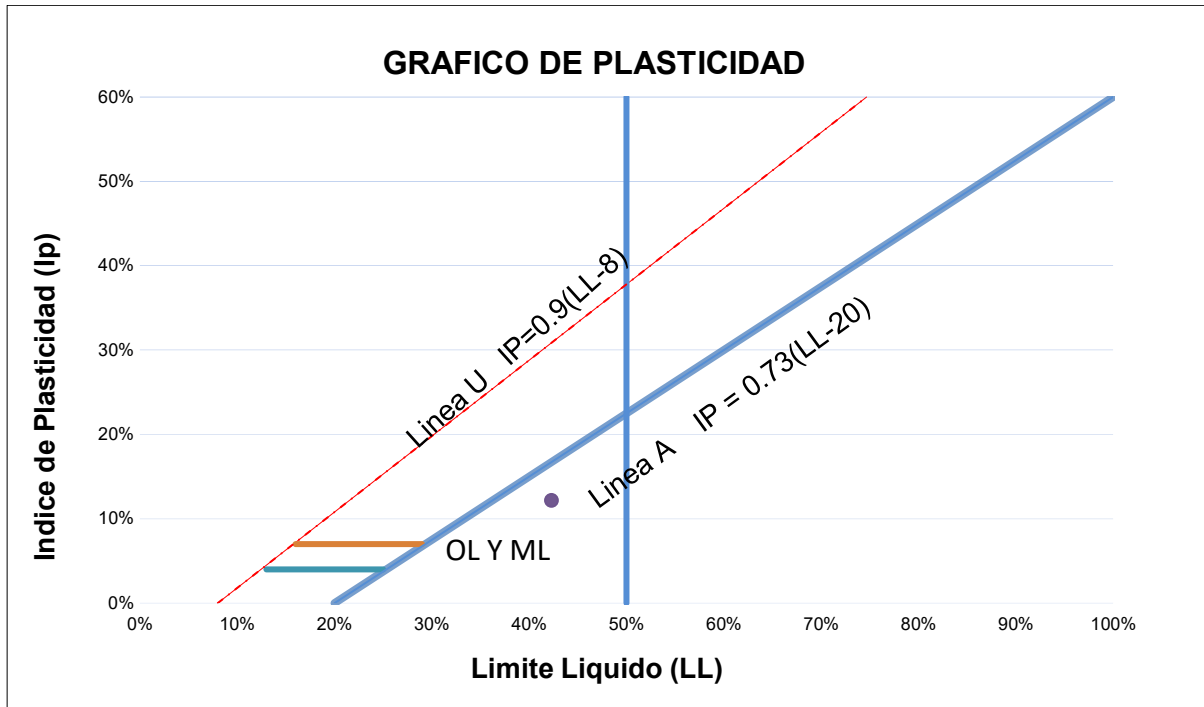
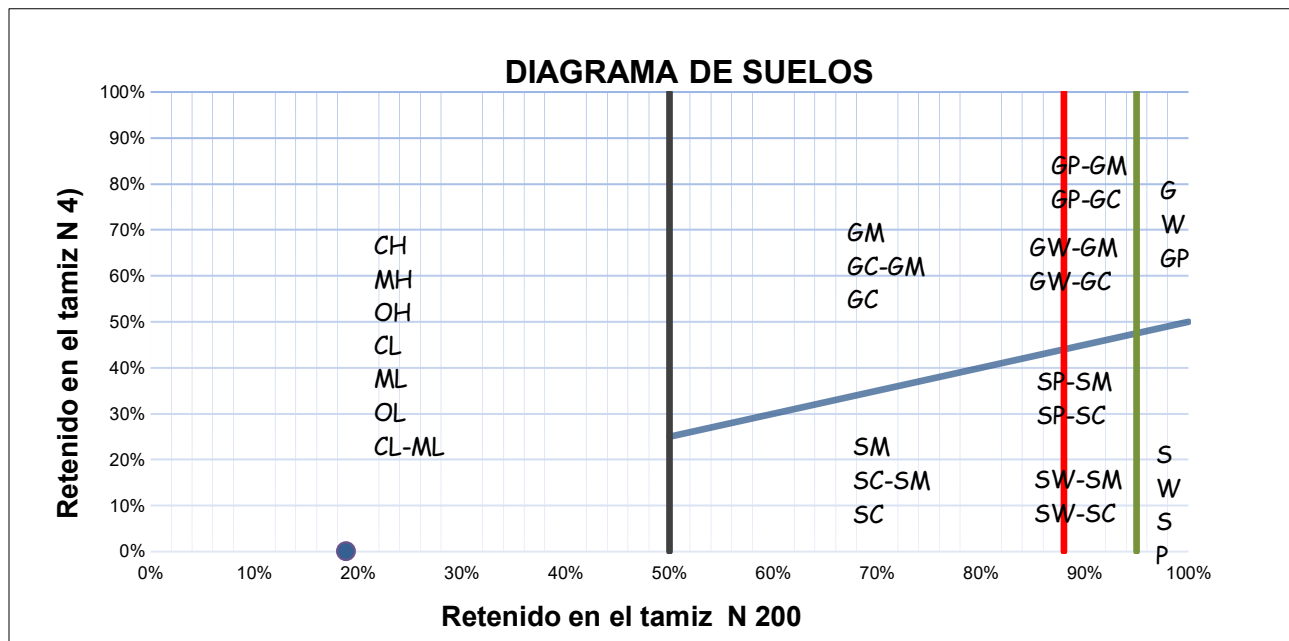


Figura 32 Clasificación de suelos-orgánico (Ret.Nº200-Ret.Nº4)-P5



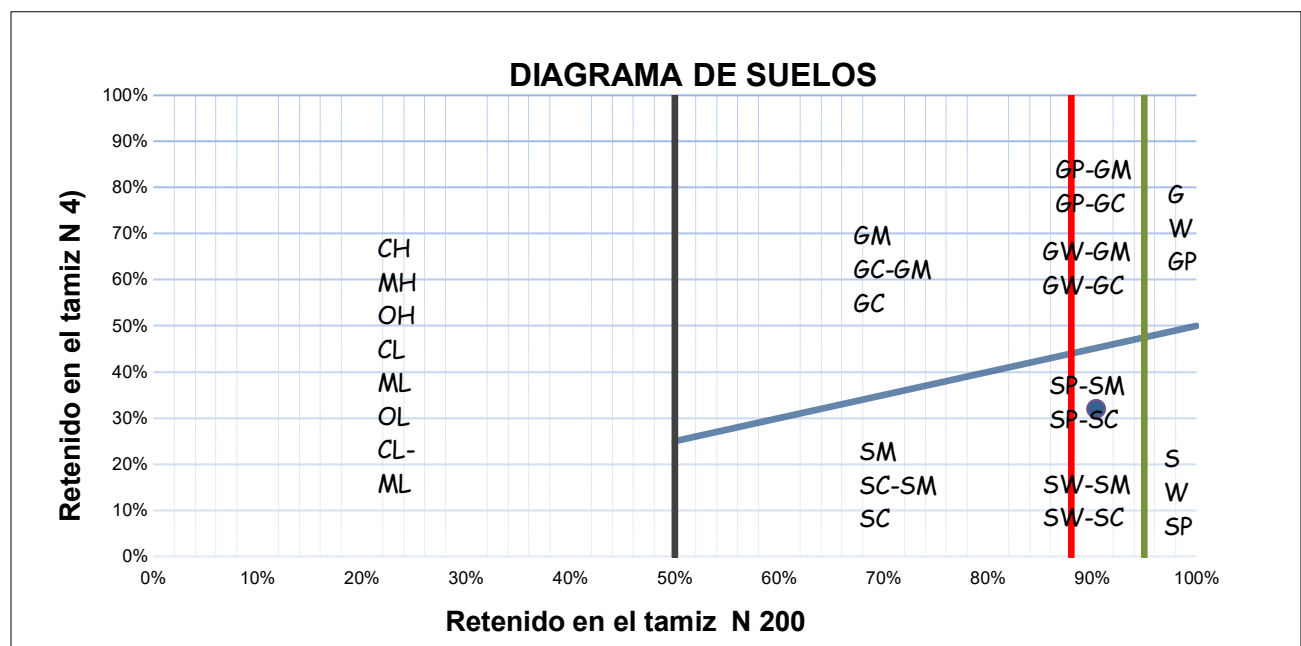
OL (Limo orgánico de baja plasticidad)

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

• **Segundo Estrato – Arena**

Retenido en malla N°200	90.42%
Retenido en malla N°4	31.82%
D60	3.656
D30	0.479
D10	0.085
Cu	43.01
Cc	0.74

Figura 33 Clasificación de suelos-arena (Ret.N°200-Ret.N°4)-P5



SW-SM (Arena bien graduada con limo)

e) **PLATAFORMA**

• **Primer Estrato – Orgánico**

Retenido en malla N°200	18.91%
Retenido en malla N°4	0.00%
LL	41.82%
LP	28.64%
I P	13.18%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 34 Clasificación de suelos-orgánico (LL-IP)-plataforma

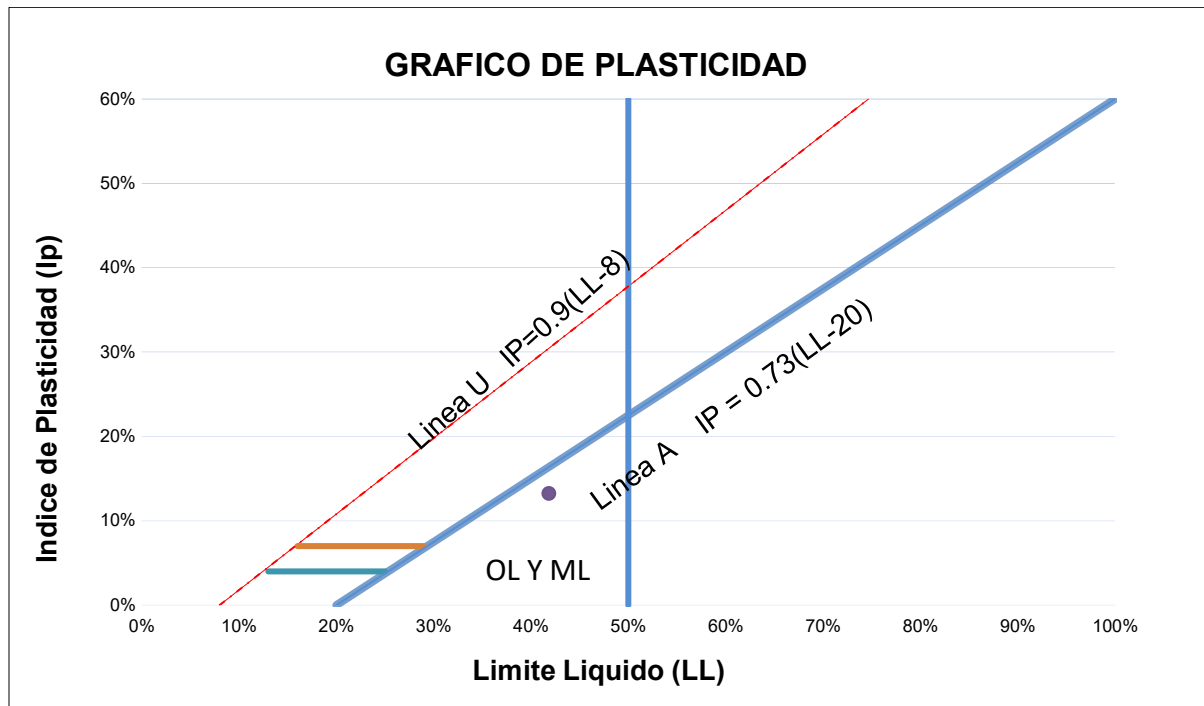
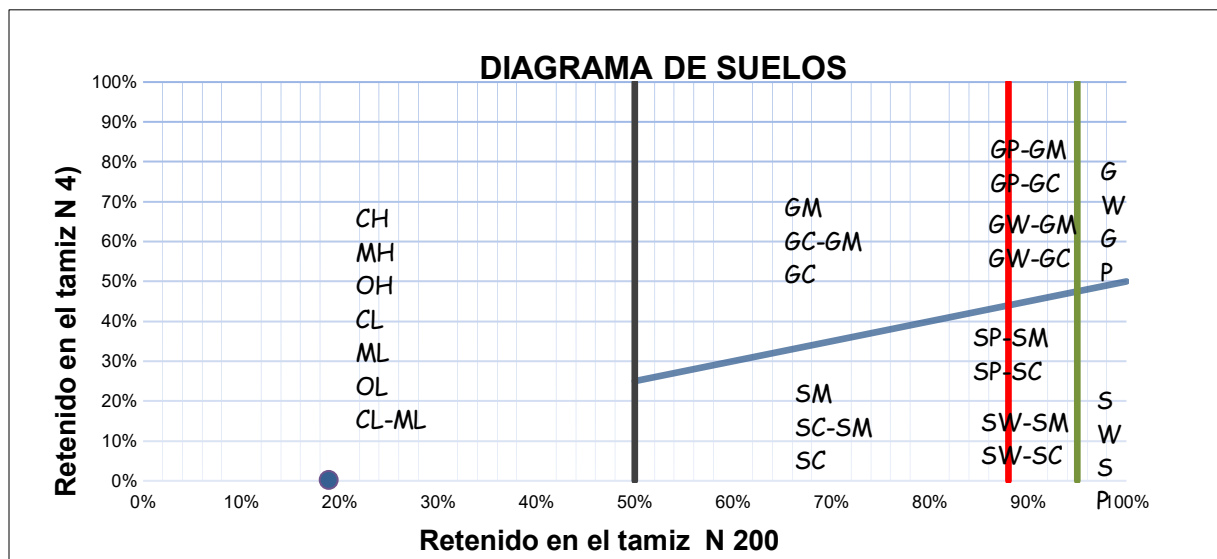


Figura 35 Clasificación de suelos-orgánico (Ret.Nº200-Ret.Nº4)-plataforma



OL (Limo orgánico de baja plasticidad)

- Segundo Estrato – Arcilla**

Retenido en malla N°200	29.53%
Retenido en malla N°4	9.66%
LL	36.35%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

LP	18.55%
IP	17.81%

Figura 36 Clasificación de suelos-arcilla (LL-IP)-plataforma

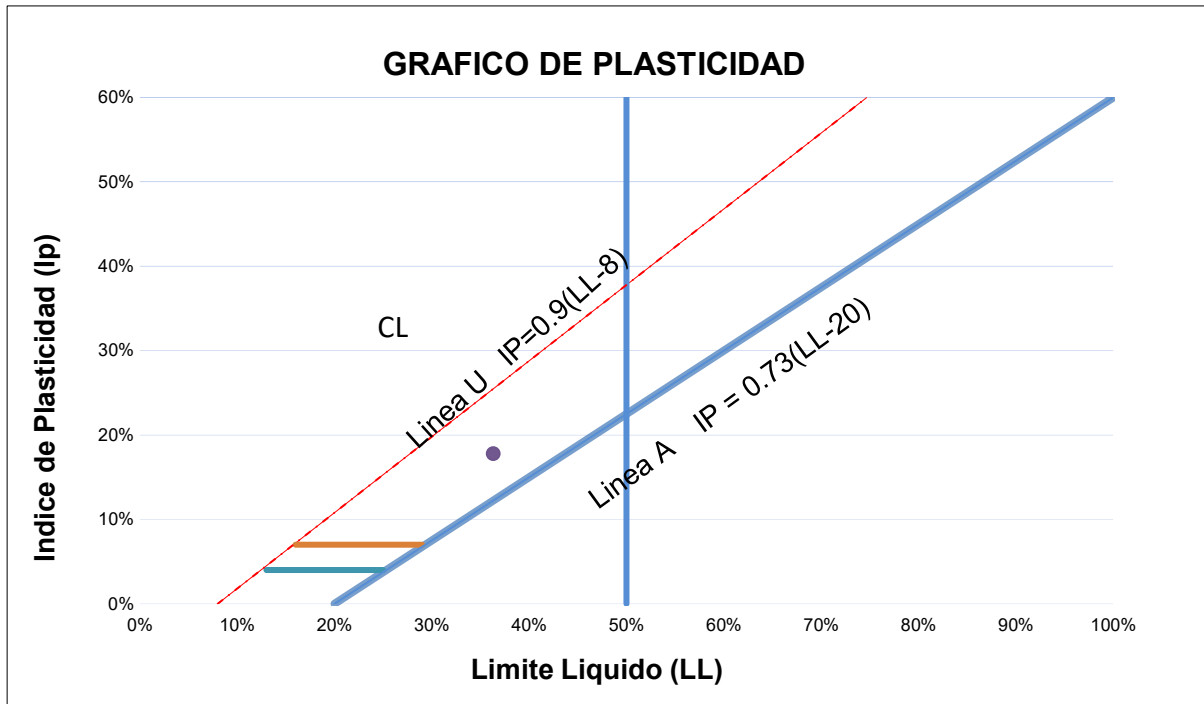
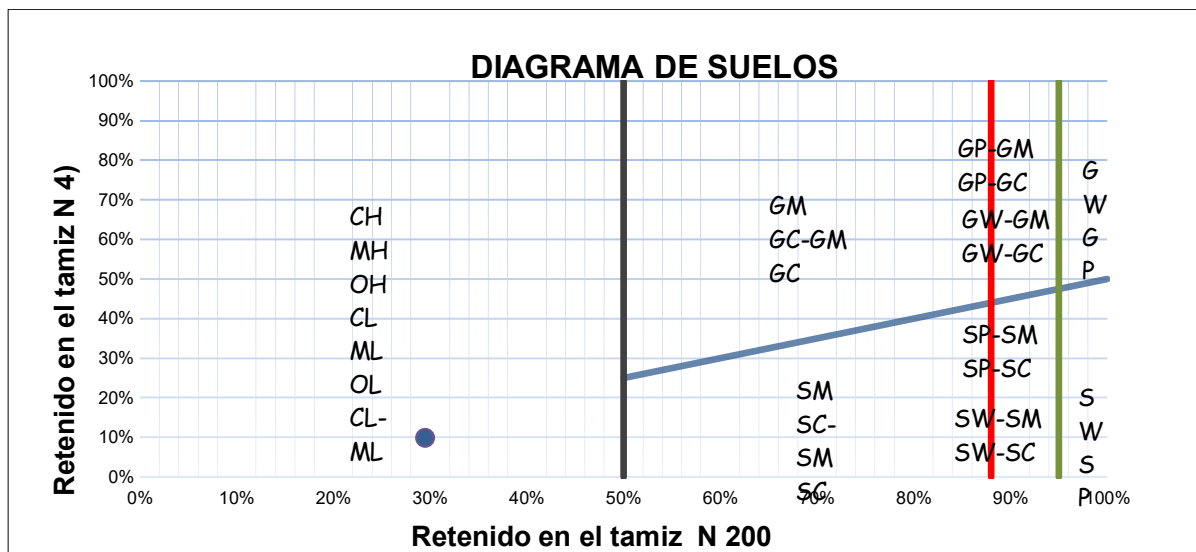


Figura 37 Clasificación de suelos-arcilla (Ret.Nº200-Ret.Nº4)-plataforma



CL (Arcilla de baja plasticidad)

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

4. CONTENIDO DE HUMEDAD

a) PUNTO 1 (P1=P4=P7)

• **Primer Estrato – Grava**

Tabla 27 Contenido de humedad-grava-P1

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	21.56	22.14	21.18	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	92.32	91.15	92.84	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	88.8	87.52	89.31	
PESO DEL AGUA	3.52	3.63	3.53	
PESO DEL SUELO SECO	67.24	65.38	68.13	
CONTENIDO DE AGUA (%)	5.23%	5.55%	5.18%	5.32%

• **Segundo Estrato – Orgánico**

Tabla 28 Contenido de humedad-organico-P1

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	21.73	21.74	22.10	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	90.85	91.65	78.52	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	79.5	80.32	69.5	
PESO DEL AGUA	11.35	11.33	9.02	
PESO DEL SUELO SECO	57.77	58.58	47.40	
CONTENIDO DE AGUA (%)	19.65%	19.34%	19.03%	19.34%

• **Tercer Estrato – Arena**

Tabla 29 Contenido de humedad-arena-P1

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	22.09	21.94	22.17	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	87.15	81.85	91.96	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	83.64	78.61	88.62	
PESO DEL AGUA	3.51	3.24	3.34	
PESO DEL SUELO SECO	61.55	56.67	66.45	
CONTENIDO DE AGUA (%)	5.70%	5.72%	5.03%	5.48%

b) PUNTO 2

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

- Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 30 Contenido de humedad-organico-P2

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	22.15	22.06	21.82	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	91.73	92.48	80.67	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	81.56	82.16	71.84	
PESO DEL AGUA	10.17	10.32	8.83	
PESO DEL SUELO SECO	59.41	60.10	50.02	
CONTENIDO DE AGUA (%)	17.12%	17.17%	17.65%	17.31%

- Segundo Estrato – Arena**

Tabla 31 Contenido de humedad-arena-P2

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	21.58	22.26	21.85	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	86.21	82.25	93.24	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	83.86	80.32	91.12	
PESO DEL AGUA	2.35	1.93	2.12	
PESO DEL SUELO SECO	62.28	58.06	69.27	
CONTENIDO DE AGUA (%)	3.77%	3.32%	3.06%	3.39%

c) PUNTO 3 (P3=P6=P9)

- Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 32 Contenido de humedad-organico-P3

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	21.75	21.86	22.35	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	93.16	94.54	84.65	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	82.25	83.34	74.92	
PESO DEL AGUA	10.91	11.20	9.73	
PESO DEL SUELO SECO	60.50	61.48	52.57	
CONTENIDO DE AGUA (%)	18.03%	18.22%	18.51%	18.25%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

- Segundo Estrato – Arena**

Tabla 33 Contenido de humedad-arena-P3

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	21.18	22.57	22.64	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	89.15	84.36	92.24	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	86.23	81.86	89.54	
PESO DEL AGUA	2.92	2.50	2.70	
PESO DEL SUELO SECO	65.05	59.29	66.90	
CONTENIDO DE AGUA (%)	4.49%	4.22%	4.04%	4.25%

d) PUNTO 5 (P5=P8)

- Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 34 Contenido de humedad-organico-P5

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	21.53	21.52	21.68	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	94.32	93.18	95.45	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	83.64	82.85	84.32	
PESO DEL AGUA	10.68	10.33	11.13	
PESO DEL SUELO SECO	62.11	61.33	62.64	
CONTENIDO DE AGUA (%)	17.20%	16.84%	17.77%	17.27%

- Segundo Estrato – Arena**

Tabla 35 Contenido de humedad-arena-P5

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	22.35	21.65	22.64	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	88.64	84.65	90.15	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	86.32	82.48	87.85	
PESO DEL AGUA	2.32	2.17	2.30	
PESO DEL SUELO SECO	63.97	60.83	65.21	
CONTENIDO DE AGUA (%)	3.63%	3.57%	3.53%	3.57%

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

e) PLATAFORMA

• **Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 36 Contenido de humedad-orgánico-plataforma

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	21.79	21.78	22.14	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	94.41	95.09	81.52	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	78.74	79.21	68.5	
PESO DEL AGUA	15.67	15.88	13.02	
PESO DEL SUELO SECO	56.95	57.43	46.36	
CONTENIDO DE AGUA (%)	27.52%	27.65%	28.08%	27.75%

• **Segundo Estrato – Arcilla**

Tabla 37 Contenido de humedad-arcilla-plataforma

	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CAPSULA	21.96	21.61	21.59	
PESO CAPS + MATERIAL HUMEDO	117.03	104.93	111.22	
PESO CAPS + MATERIAL SECO	103.32	93.1	99.07	
PESO DEL AGUA	13.71	11.83	12.15	
PESO DEL SUELO SECO	81.36	71.49	77.48	
CONTENIDO DE AGUA (%)	16.85%	16.55%	15.68%	16.36%

5. PESO ESPECIFICO

a) PUNTO 1 (P1=P4=P7)

• **Primer Estrato – Grava**

Tabla 39 Peso específico-grava-P1

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	699.84 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm3

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_s}{\frac{W_0 + W_s - W_f}{\gamma_w}}$	1.87 g/cm ³
---	------------------------

- Segundo Estrato – Orgánico**

Tabla 40 Peso específico-organico-P1

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	685.24 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.48 g/cm ³

- Tercer Estrato – Arena**

Tabla 41 Peso específico-arena-P1

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	695.64 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.75g/cm ³

b) PUNTO 2

- Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 42 Peso específico-organico-P2

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	684.64 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.47g/cm ³

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

- Segundo Estrato – Arena**

Tabla 43 Peso específico-arena-P2

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	695.12 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.74g/cm ³

c) PUNTO 3

- Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 44 Peso específico-organico-P3

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	683.56 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.45g/cm ³

- Segundo Estrato – Arena**

Tabla 45 Peso específico-arena-P3

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	695.48 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.75g/cm ³

d) PUNTO 5 (P5 = P8)

- Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 46 Peso específico-organico-P5

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	683.24 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.44g/cm ³

- Segundo Estrato – Arena**

Tabla 47 Peso específico-arena-P5

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	696.02 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.76g/cm ³

e) PLATAFORMA

- Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 48 Peso específico-orgánico-plataforma

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	684.41 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.46g/cm ³

- Segundo Estrato – Arcilla**

Tabla 49 Peso específico-arcilla-plataforma

Ws	Peso del solido pasante del tamiz N°4	100.00 g
Wo	Peso inicial del picnómetro con agua	652.70 g
Wf	Peso final de la mezcla (picnómetro con agua y suelo)	690.26 g
γ_w	Peso específico del agua	1.00 g/cm ³
γ_s		1.60g/cm ³

6. DENSIDAD DE CAMPO

a) PUNTO 1 (P1=P4=P7)

• Primer Estrato – Grava

Tabla 51 Densidad de campo-grava-P1

1	Peso del frasco + arena grs.	8365
2	Peso del frasco + sobrante grs.	2569
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	5796.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1800.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	3996.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2664.00
8	Peso del suelo + grava grs.	5369
9	Contenido de humedad	5.23%
	DENSIDAD HUMEDA	2.02 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.92/cm3

• Segundo Estrato – Orgánico

Tabla 52 Densidad de campo-organico-P1

1	Peso del frasco + arena grs.	7598
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1458
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	6140.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4290.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2523.53
8	Peso del suelo + grava grs.	4685
9	Contenido de humedad	19.34%
	DENSIDAD HUMEDA	1.86 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.56 g/cm3

• Tercer Estrato – Arena

Tabla 53 Densidad de campo-arena-P1

1	Peso del frasco + arena grs.	7740
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1675
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	6065.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4215.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2479.41
8	Peso del suelo + grava grs.	4886
9	Contenido de humedad	5.72%
	DENSIDAD HUMEDA	1.97 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.86g/cm3

b) PUNTO 2

• **Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 54 Densidad de campo-organico-P2

1	Peso del frasco + arena grs.	7564
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1432
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	6132.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4282.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2518.82
8	Peso del suelo + grava grs.	4562
9	Contenido de humedad	17.31%
	DENSIDAD HUMEDA	1.81 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.54 g/cm3

• **Segundo Estrato – Arena**

Tabla 55 Densidad de campo-arena-P2

1	Peso del frasco + arena grs.	7540
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1605
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	5935.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4085.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2402.94
8	Peso del suelo + grava grs.	4553
9	Contenido de humedad	3.32%
	DENSIDAD HUMEDA	1.89 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.83g/cm3

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

c) PUNTO 3 (P3=P6=P9)

• Primer Estrato – Orgánico

Tabla 56 Densidad de campo-organico-P3

1	Peso del frasco + arena grs.	7525
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1422
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	6103.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4253.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2501.76
8	Peso del suelo + grava grs.	4586
9	Contenido de humedad	18.25%
	DENSIDAD HUMEDA	1.83 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.55 g/cm3

• Segundo Estrato – Arena

Tabla 57 Densidad de campo-arena-P3

1	Peso del frasco + arena grs.	7625
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1586
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	6039.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4189.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2464.12
8	Peso del suelo + grava grs.	4564
9	Contenido de humedad	4.22%
	DENSIDAD HUMEDA	1.85 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.78g/cm3

d) PUNTO 5 (P5=P8)

• Primer Estrato – Orgánico

Tabla 58 Densidad de campo-organico-P5

1	Peso del frasco + arena grs.	7555
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1428
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	6127.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4277.00

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2515.88
8	Peso del suelo + grava grs.	4572
9	Contenido de humedad	17.27%
	DENSIDAD HUMEDA	1.82 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.55 g/cm3

• **Segundo Estrato – Arena**

Tabla 59 Densidad de campo-arena-P5

1	Peso del frasco + arena grs.	7625
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1648
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	5977.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4127.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2427.65
8	Peso del suelo + grava grs.	4563
9	Contenido de humedad	3.57%
	DENSIDAD HUMEDA	1.88 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.81g/cm3

e) PLATAFORMA

• **Primer Estrato – Orgánico**

Tabla 60 Densidad de campo-orgánico-plataforma

1	Peso del frasco + arena grs.	7582
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1425
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	6157.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4307.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2533.53
8	Peso del suelo + grava grs.	4594
9	Contenido de humedad	27.75%
	DENSIDAD HUMEDA	1.81 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.42 g/cm3

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

• **Segundo Estrato – Arcilla**

Tabla 61 Densidad de campo-arcilla-plataforma

1	Peso del frasco + arena grs.	7458
2	Peso del frasco + sobrante grs.	1562
3	Peso de la arena empleada grs. (1)-(2)	5896.00
4	Peso de la arena del cono grs.	1850.00
5	Peso de la arena del hueco grs. (3)-(4)	4046.00
6	Densidad de la arena	1.70
7	Volumen del hueco c.c. (5) / (6)	2380.00
8	Peso del suelo + grava grs.	4405
9	Contenido de humedad	16.55%
	DENSIDAD HUMEDA	1.85 g/cm3
	DENSIDAD SECA	1.59 g/cm3

7. CORTE DIRECTO

a) PUNTO 1 (P1=P4=P7)

• **Primer Estrato – Grava**

DATOS DEL EQUIPO		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
N° DE ANILLO	2 CG-A	N° DE ANILLO	2 CG-A
ALTURA	2.60 cm	PESO	172.56gr
DIAMETRO	6.50 cm	PESO UNITARIO HUMEDO	2.00 g/cm3
AREA	33.18 cm2		
VOLUMEN	86.28 cm3		

Tabla 63 Corte directo-grava-carga 4kg-P1

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	4.00	6.5	33.183	33.18	0	0.121
0.1	-0.019	0.010	1.330	4.00	6.5	33.183	33.18	0.040	0.121
0.2	-0.023	0.020	1.745	4.00	6.5	33.183	33.17	0.053	0.121
0.3	-0.03	0.030	2.199	4.00	6.5	33.183	33.17	0.066	0.121
0.4	-0.04	0.040	2.546	4.00	6.5	33.183	33.16	0.077	0.121
0.5	-0.05	0.050	2.934	4.00	6.5	33.183	33.15	0.089	0.121
0.6	-0.06	0.060	3.186	4.00	6.5	33.183	33.13	0.096	0.121
0.8	-0.07	0.080	3.470	4.00	6.5	33.183	33.11	0.105	0.121

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

1	-0.08	0.100	3.731	4.00	6.5	33.183	33.08	0.113	0.121
1.2	-0.1	0.120	4.002	4.00	6.5	33.183	33.04	0.121	0.121
1.4	-0.12	0.140	4.424	4.00	6.5	33.183	33.01	0.134	0.121
1.6	-0.15	0.160	5.063	4.00	6.5	33.183	32.97	0.154	0.121
1.8	-0.18	0.180	5.510	4.00	6.5	33.183	32.93	0.167	0.121
2	-0.22	0.200	5.882	4.00	6.5	33.183	32.88	0.179	0.122
2.2	-0.27	0.220	6.441	4.00	6.5	33.183	32.84	0.196	0.122
2.4	-0.33	0.240	6.783	4.00	6.5	33.183	32.79	0.207	0.122
2.6	-0.4	0.260	6.961	4.00	6.5	33.183	32.74	0.213	0.122
2.8	-0.48	0.280	7.359	4.00	6.5	33.183	32.69	0.225	0.122
3	-0.58	0.300	7.440	4.00	6.5	33.183	32.63	0.228	0.123
3.2	-0.7	0.320	7.323	4.00	6.5	33.183	32.58	0.225	0.123
3.4	-0.86	0.340	6.707	4.00	6.5	33.183	32.52	0.206	0.123
3.6	-1.04	0.360	6.207	4.00	6.5	33.183	32.46	0.191	0.123
3.8	-1.27	0.380	5.476	4.00	6.5	33.183	32.40	0.169	0.123
4	-1.54	0.400	4.641	4.00	6.5	33.183	32.34	0.144	0.124

Tabla 64 Corte directo-grava-carga 8kg-PI

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	8.00	6.5	33.183	33.18	0	0.241
0.1	-0.023	0.010	2.461	8.00	6.5	33.183	33.18	0.074	0.241
0.2	-0.03	0.020	3.830	8.00	6.5	33.183	33.17	0.115	0.241
0.3	-0.04	0.030	4.250	8.00	6.5	33.183	33.17	0.128	0.241
0.4	-0.05	0.040	4.979	8.00	6.5	33.183	33.16	0.150	0.241
0.5	-0.06	0.050	5.943	8.00	6.5	33.183	33.15	0.179	0.241
0.6	-0.07	0.060	6.610	8.00	6.5	33.183	33.13	0.199	0.241
0.8	-0.08	0.080	7.106	8.00	6.5	33.183	33.11	0.215	0.242
1	-0.1	0.100	7.666	8.00	6.5	33.183	33.08	0.232	0.242
1.2	-0.12	0.120	7.859	8.00	6.5	33.183	33.04	0.238	0.242
1.4	-0.15	0.140	8.483	8.00	6.5	33.183	33.01	0.257	0.242
1.6	-0.18	0.160	8.726	8.00	6.5	33.183	32.97	0.265	0.243
1.8	-0.22	0.180	9.442	8.00	6.5	33.183	32.93	0.287	0.243
2	-0.27	0.200	9.777	8.00	6.5	33.183	32.88	0.297	0.243
2.2	-0.33	0.220	9.947	8.00	6.5	33.183	32.84	0.303	0.244
2.4	-0.4	0.240	10.243	8.00	6.5	33.183	32.79	0.312	0.244
2.6	-0.48	0.260	10.667	8.00	6.5	33.183	32.74	0.326	0.244
2.8	-0.59	0.280	10.822	8.00	6.5	33.183	32.69	0.331	0.245
3	-0.72	0.300	10.868	8.00	6.5	33.183	32.63	0.333	0.245
3.2	-0.87	0.320	10.497	8.00	6.5	33.183	32.58	0.322	0.246
3.4	-1.06	0.340	9.882	8.00	6.5	33.183	32.52	0.304	0.246

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

3.6	-1.28	0.360	8.985	8.00	6.5	33.183	32.46	0.277	0.246
3.8	-1.56	0.380	8.037	8.00	6.5	33.183	32.40	0.248	0.247
4	-1.9	0.400	6.842	8.00	6.5	33.183	32.34	0.212	0.247

Tabla 65 Corte directo-grava-carga 12kg-P1

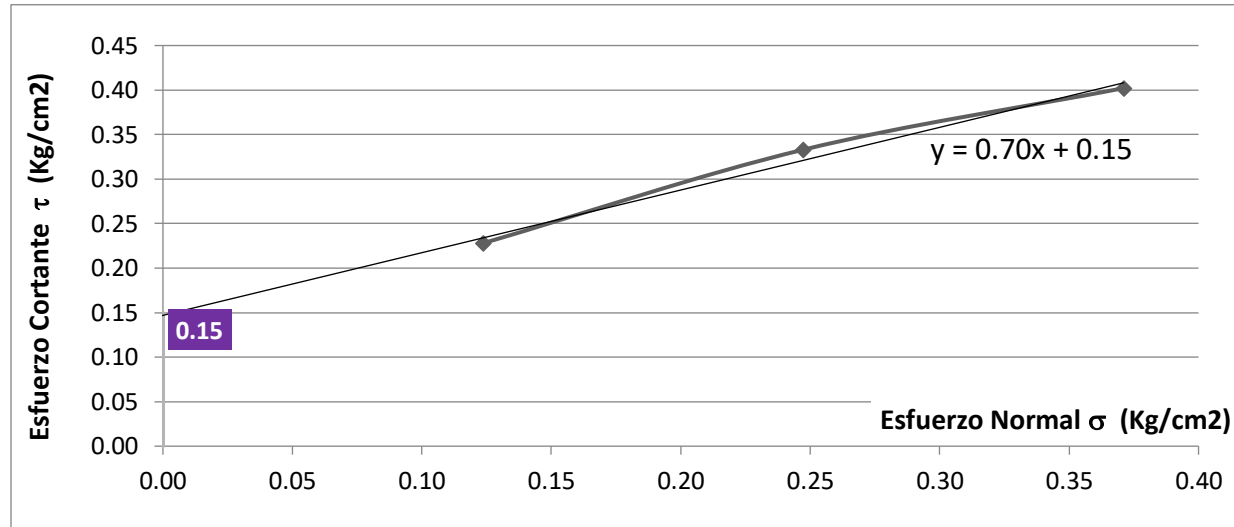
VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE									12.00 KG
DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. Cm	AREA cm ²	AREA CORREGIDA cm ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm ²
0	0	0	0	12.00	6.5	33.183	33.18	0	0.362
0.1	-0.033	0.010	3.514	12.00	6.5	33.183	33.18	0.106	0.362
0.2	-0.04	0.020	4.920	12.00	6.5	33.183	33.17	0.148	0.362
0.3	-0.05	0.030	5.723	12.00	6.5	33.183	33.17	0.173	0.362
0.4	-0.06	0.040	6.909	12.00	6.5	33.183	33.16	0.208	0.362
0.5	-0.07	0.050	8.012	12.00	6.5	33.183	33.15	0.242	0.362
0.6	-0.08	0.060	8.421	12.00	6.5	33.183	33.13	0.254	0.362
0.8	-0.1	0.080	8.693	12.00	6.5	33.183	33.11	0.263	0.362
1	-0.12	0.100	9.698	12.00	6.5	33.183	33.08	0.293	0.363
1.2	-0.14	0.120	9.769	12.00	6.5	33.183	33.04	0.296	0.363
1.4	-0.17	0.140	10.536	12.00	6.5	33.183	33.01	0.319	0.364
1.6	-0.21	0.160	10.976	12.00	6.5	33.183	32.97	0.333	0.364
1.8	-0.26	0.180	11.458	12.00	6.5	33.183	32.93	0.348	0.364
2	-0.31	0.200	11.661	12.00	6.5	33.183	32.88	0.355	0.365
2.2	-0.37	0.220	11.849	12.00	6.5	33.183	32.84	0.361	0.365
2.4	-0.45	0.240	12.405	12.00	6.5	33.183	32.79	0.378	0.366
2.6	-0.54	0.260	12.741	12.00	6.5	33.183	32.74	0.389	0.367
2.8	-0.65	0.280	12.880	12.00	6.5	33.183	32.69	0.394	0.367
3	-0.79	0.300	13.122	12.00	6.5	33.183	32.63	0.402	0.368
3.2	-0.97	0.320	12.961	12.00	6.5	33.183	32.58	0.398	0.368
3.4	-1.17	0.340	12.227	12.00	6.5	33.183	32.52	0.376	0.369
3.6	-1.42	0.360	11.319	12.00	6.5	33.183	32.46	0.349	0.370
3.8	-1.72	0.380	10.494	12.00	6.5	33.183	32.40	0.324	0.370
4	-2.07	0.400	9.026	12.00	6.5	33.183	32.34	0.279	0.371

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE		
CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4	0.228 kg/cm ²	0.124 kg/cm ²

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

8	0.333 kg/cm ²	0.247 kg/cm ²
12	0.402 kg/cm ²	0.371 kg/cm ²

Figura 39 Esfuerzo normal-Esfuerzo cortante (CD-grava)-PI



Cohesión (C)=	0.15 Kg/cm²
tg(ϕ) =	0.700
ϕ=	34.99 °

• **Segundo Estrato – Orgánico**

DATOS DEL EQUIPO		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Diámetro	5.08 cm	Peso	81.06gr
Área	20.27 cm ²	Peso Unitario Húmedo	1.86 g/cm ³
Altura	2.15 cm		
Volumen	43.58 cm ³		

Tabla 66 Corte directo-orgánico-carga 4kg-PI

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	4.00	5.08	20.268	20.27	0	0.197
0.1	-0.014	0.010	1.038	4.00	5.08	20.268	20.27	0.051	0.197
0.2	-0.018	0.020	1.505	4.00	5.08	20.268	20.26	0.074	0.197
0.3	-0.025	0.030	1.967	4.00	5.08	20.268	20.25	0.097	0.198
0.4	-0.035	0.040	2.412	4.00	5.08	20.268	20.24	0.119	0.198

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

0.5	-0.045	0.050	2.887	4.00	5.08	20.268	20.23	0.143	0.198
0.6	-0.055	0.060	3.085	4.00	5.08	20.268	20.22	0.153	0.198
0.8	-0.065	0.080	3.355	4.00	5.08	20.268	20.20	0.166	0.198
1	-0.075	0.100	3.768	4.00	5.08	20.268	20.17	0.187	0.198
1.2	-0.095	0.120	3.937	4.00	5.08	20.268	20.14	0.195	0.199
1.4	-0.115	0.140	4.199	4.00	5.08	20.268	20.11	0.209	0.199
1.6	-0.145	0.160	4.692	4.00	5.08	20.268	20.08	0.234	0.199
1.8	-0.175	0.180	4.965	4.00	5.08	20.268	20.04	0.248	0.200
2	-0.215	0.200	5.225	4.00	5.08	20.268	20.00	0.261	0.200
2.2	-0.265	0.220	5.489	4.00	5.08	20.268	19.96	0.275	0.200
2.4	-0.325	0.240	5.738	4.00	5.08	20.268	19.92	0.288	0.201
2.6	-0.395	0.260	5.906	4.00	5.08	20.268	19.88	0.297	0.201
2.8	-0.485	0.280	6.070	4.00	5.08	20.268	19.83	0.306	0.202
3	-0.595	0.300	6.210	4.00	5.08	20.268	19.78	0.314	0.202
3.2	-0.725	0.320	6.180	4.00	5.08	20.268	19.73	0.313	0.203
3.4	-0.885	0.340	6.134	4.00	5.08	20.268	19.68	0.312	0.203
3.6	-1.075	0.360	5.877	4.00	5.08	20.268	19.63	0.299	0.204
3.8	-1.295	0.380	5.004	4.00	5.08	20.268	19.58	0.256	0.204
4	-1.025	0.400	4.229	4.00	5.08	20.268	19.53	0.217	0.205

Tabla 67 Corte directo-orgánico-carga 8kg-P1

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	8.00	5.08	20.268	20.27	0	0.395
0.1	-0.018	0.010	1.654	8.00	5.08	20.268	20.27	0.082	0.395
0.2	-0.025	0.020	2.392	8.00	5.08	20.268	20.26	0.118	0.395
0.3	-0.035	0.030	2.965	8.00	5.08	20.268	20.25	0.146	0.395
0.4	-0.045	0.040	3.585	8.00	5.08	20.268	20.24	0.177	0.395
0.5	-0.055	0.050	4.073	8.00	5.08	20.268	20.23	0.201	0.395
0.6	-0.065	0.060	4.209	8.00	5.08	20.268	20.22	0.208	0.396
0.8	-0.075	0.080	4.765	8.00	5.08	20.268	20.20	0.236	0.396
1	-0.095	0.100	4.946	8.00	5.08	20.268	20.17	0.245	0.397
1.2	-0.115	0.120	5.168	8.00	5.08	20.268	20.14	0.257	0.397
1.4	-0.135	0.140	5.474	8.00	5.08	20.268	20.11	0.272	0.398
1.6	-0.165	0.160	5.518	8.00	5.08	20.268	20.08	0.275	0.398
1.8	-0.195	0.180	5.817	8.00	5.08	20.268	20.04	0.290	0.399
2	-0.235	0.200	6.052	8.00	5.08	20.268	20.00	0.303	0.400
2.2	-0.285	0.220	6.290	8.00	5.08	20.268	19.96	0.315	0.401

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

2.4	-0.345	0.240	6.622	8.00	5.08	20.268	19.92	0.332	0.402
2.6	-0.415	0.260	6.848	8.00	5.08	20.268	19.88	0.345	0.402
2.8	-0.505	0.280	7.254	8.00	5.08	20.268	19.83	0.366	0.403
3	-0.615	0.300	7.255	8.00	5.08	20.268	19.78	0.367	0.404
3.2	-0.745	0.320	6.917	8.00	5.08	20.268	19.73	0.350	0.405
3.4	-0.905	0.340	6.369	8.00	5.08	20.268	19.68	0.324	0.406
3.6	-1.095	0.360	6.124	8.00	5.08	20.268	19.63	0.312	0.407
3.8	-1.315	0.380	5.552	8.00	5.08	20.268	19.58	0.284	0.409
4	-1.045	0.400	4.555	8.00	5.08	20.268	19.53	0.233	0.410

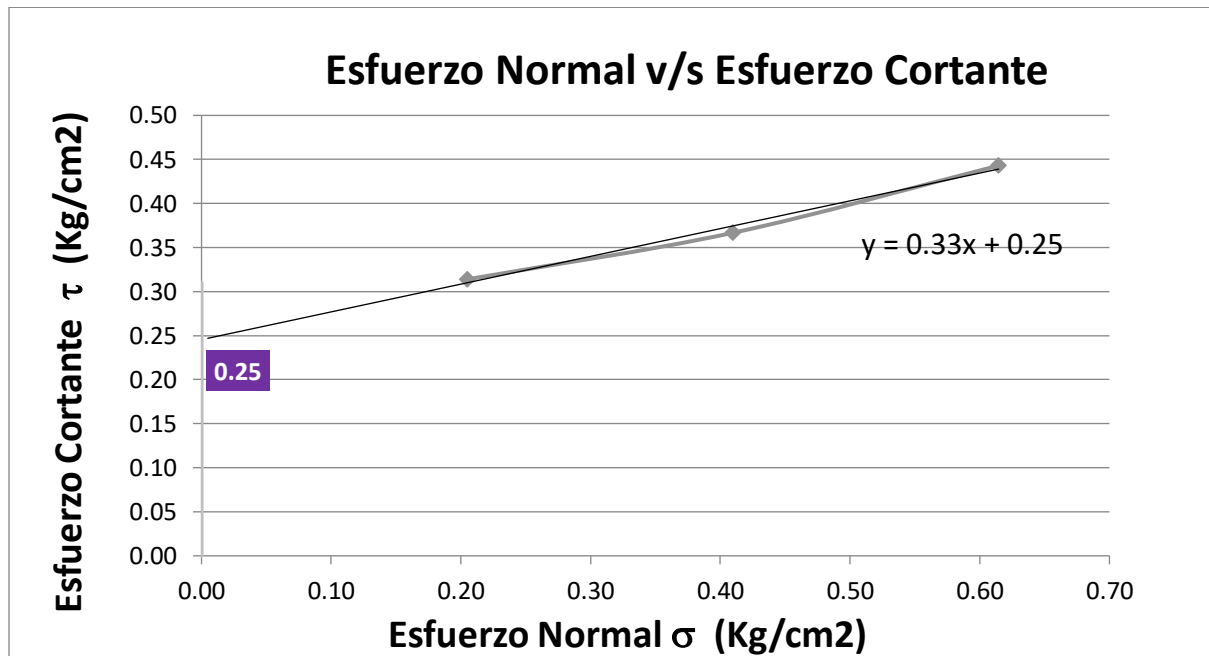
Tabla 68 Corte directo-orgánico-carga 12kg-PI

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	12.00	5.08	20.268	20.27	0	0.592
0.1	-0.028	0.010	3.500	12.00	5.08	20.268	20.27	0.173	0.592
0.2	-0.035	0.020	3.956	12.00	5.08	20.268	20.26	0.195	0.592
0.3	-0.045	0.030	4.456	12.00	5.08	20.268	20.25	0.220	0.593
0.4	-0.055	0.040	4.783	12.00	5.08	20.268	20.24	0.236	0.593
0.5	-0.065	0.050	5.050	12.00	5.08	20.268	20.23	0.250	0.593
0.6	-0.075	0.060	5.251	12.00	5.08	20.268	20.22	0.260	0.593
0.8	-0.095	0.080	5.356	12.00	5.08	20.268	20.20	0.265	0.594
1	-0.115	0.100	5.635	12.00	5.08	20.268	20.17	0.279	0.595
1.2	-0.135	0.120	5.983	12.00	5.08	20.268	20.14	0.297	0.596
1.4	-0.155	0.140	6.197	12.00	5.08	20.268	20.11	0.308	0.597
1.6	-0.185	0.160	6.278	12.00	5.08	20.268	20.08	0.313	0.598
1.8	-0.215	0.180	6.504	12.00	5.08	20.268	20.04	0.325	0.599
2	-0.255	0.200	6.870	12.00	5.08	20.268	20.00	0.343	0.600
2.2	-0.305	0.220	6.801	12.00	5.08	20.268	19.96	0.341	0.601
2.4	-0.365	0.240	7.122	12.00	5.08	20.268	19.92	0.358	0.602
2.6	-0.435	0.260	7.226	12.00	5.08	20.268	19.88	0.364	0.604
2.8	-0.525	0.280	7.954	12.00	5.08	20.268	19.83	0.401	0.605
3	-0.635	0.300	8.764	12.00	5.08	20.268	19.78	0.443	0.607
3.2	-0.765	0.320	8.425	12.00	5.08	20.268	19.73	0.427	0.608
3.4	-0.925	0.340	7.336	12.00	5.08	20.268	19.68	0.373	0.610
3.6	-1.115	0.360	7.192	12.00	5.08	20.268	19.63	0.366	0.611
3.8	-1.335	0.380	6.531	12.00	5.08	20.268	19.58	0.334	0.613
4	-1.065	0.400	5.939	12.00	5.08	20.268	19.53	0.304	0.615

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE		
CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4	0.314 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²
8	0.367 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²
12	0.443 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²

Figura 40 Esfuerzo normal-Esfuerzo cortante (CD-orgánico)-P1



Cohesión (C)=	0.25 Kg/cm²
tg(φ) =	0.33
φ=	18.33 °

• **Tercer Estrato - Arena**

DATOS DEL EQUIPO		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Diámetro	5.08 cm	Peso	85.85gr
Área	20.27 cm ²	Peso Unitario Húmedo	1.97 g/cm ³
Altura	2.15 cm		
Volumen	43.58 cm ³		

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Tabla 69 Corte directo-arena-carga 4kg-P1

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	4.00	5.08	20.268	20.27	0	0.197
0.1	-0.017	0.010	0.813	4.00	5.08	20.268	20.27	0.040	0.197
0.2	-0.021	0.020	1.035	4.00	5.08	20.268	20.26	0.051	0.197
0.3	-0.028	0.030	1.249	4.00	5.08	20.268	20.25	0.062	0.198
0.4	-0.038	0.040	1.440	4.00	5.08	20.268	20.24	0.071	0.198
0.5	-0.048	0.050	1.667	4.00	5.08	20.268	20.23	0.082	0.198
0.6	-0.058	0.060	1.769	4.00	5.08	20.268	20.22	0.087	0.198
0.8	-0.068	0.080	1.907	4.00	5.08	20.268	20.20	0.094	0.198
1	-0.088	0.100	2.067	4.00	5.08	20.268	20.17	0.102	0.198
1.2	-0.108	0.120	2.175	4.00	5.08	20.268	20.14	0.108	0.199
1.4	-0.128	0.140	2.229	4.00	5.08	20.268	20.11	0.111	0.199
1.6	-0.158	0.160	2.512	4.00	5.08	20.268	20.08	0.125	0.199
1.8	-0.188	0.180	2.638	4.00	5.08	20.268	20.04	0.132	0.200
2	-0.228	0.200	2.749	4.00	5.08	20.268	20.00	0.137	0.200
2.2	-0.278	0.220	2.862	4.00	5.08	20.268	19.96	0.143	0.200
2.4	-0.338	0.240	2.962	4.00	5.08	20.268	19.92	0.149	0.201
2.6	-0.408	0.260	3.085	4.00	5.08	20.268	19.88	0.155	0.201
2.8	-0.498	0.280	3.096	4.00	5.08	20.268	19.83	0.156	0.202
3	-0.608	0.300	3.113	4.00	5.08	20.268	19.78	0.157	0.202
3.2	-0.738	0.320	3.198	4.00	5.08	20.268	19.73	0.162	0.203
3.4	-0.898	0.340	3.158	4.00	5.08	20.268	19.68	0.160	0.203
3.6	-1.088	0.360	3.049	4.00	5.08	20.268	19.63	0.155	0.204
3.8	-1.308	0.380	2.604	4.00	5.08	20.268	19.58	0.133	0.204
4	-1.038	0.400	2.251	4.00	5.08	20.268	19.53	0.115	0.205

Tabla 70 Corte directo-arena-carga 8kg-P1

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	8.00	5.08	20.268	20.27	0	0.395
0.1	-0.021	0.010	0.677	8.00	5.08	20.268	20.27	0.033	0.395
0.2	-0.028	0.020	1.262	8.00	5.08	20.268	20.26	0.062	0.395
0.3	-0.038	0.030	1.706	8.00	5.08	20.268	20.25	0.084	0.395
0.4	-0.048	0.040	2.105	8.00	5.08	20.268	20.24	0.104	0.395
0.5	-0.058	0.050	2.426	8.00	5.08	20.268	20.23	0.120	0.395

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

0.6	-0.068	0.060	2.568	8.00	5.08	20.268	20.22	0.127	0.396
0.8	-0.088	0.080	3.035	8.00	5.08	20.268	20.20	0.150	0.396
1	-0.108	0.100	3.190	8.00	5.08	20.268	20.17	0.158	0.397
1.2	-0.128	0.120	3.348	8.00	5.08	20.268	20.14	0.166	0.397
1.4	-0.148	0.140	3.572	8.00	5.08	20.268	20.11	0.178	0.398
1.6	-0.178	0.160	3.546	8.00	5.08	20.268	20.08	0.177	0.398
1.8	-0.208	0.180	3.694	8.00	5.08	20.268	20.04	0.184	0.399
2	-0.248	0.200	3.912	8.00	5.08	20.268	20.00	0.196	0.400
2.2	-0.298	0.220	4.029	8.00	5.08	20.268	19.96	0.202	0.401
2.4	-0.358	0.240	4.233	8.00	5.08	20.268	19.92	0.212	0.402
2.6	-0.428	0.260	4.502	8.00	5.08	20.268	19.88	0.227	0.402
2.8	-0.518	0.280	4.542	8.00	5.08	20.268	19.83	0.229	0.403
3	-0.628	0.300	5.254	8.00	5.08	20.268	19.78	0.266	0.404
3.2	-0.758	0.320	4.575	8.00	5.08	20.268	19.73	0.232	0.405
3.4	-0.918	0.340	4.061	8.00	5.08	20.268	19.68	0.206	0.406
3.6	-1.108	0.360	3.923	8.00	5.08	20.268	19.63	0.200	0.407
3.8	-1.328	0.380	3.506	8.00	5.08	20.268	19.58	0.179	0.409
4	-1.058	0.400	2.809	8.00	5.08	20.268	19.53	0.144	0.410

Tabla 71 Corte directo-arena-carga 12kg-P1

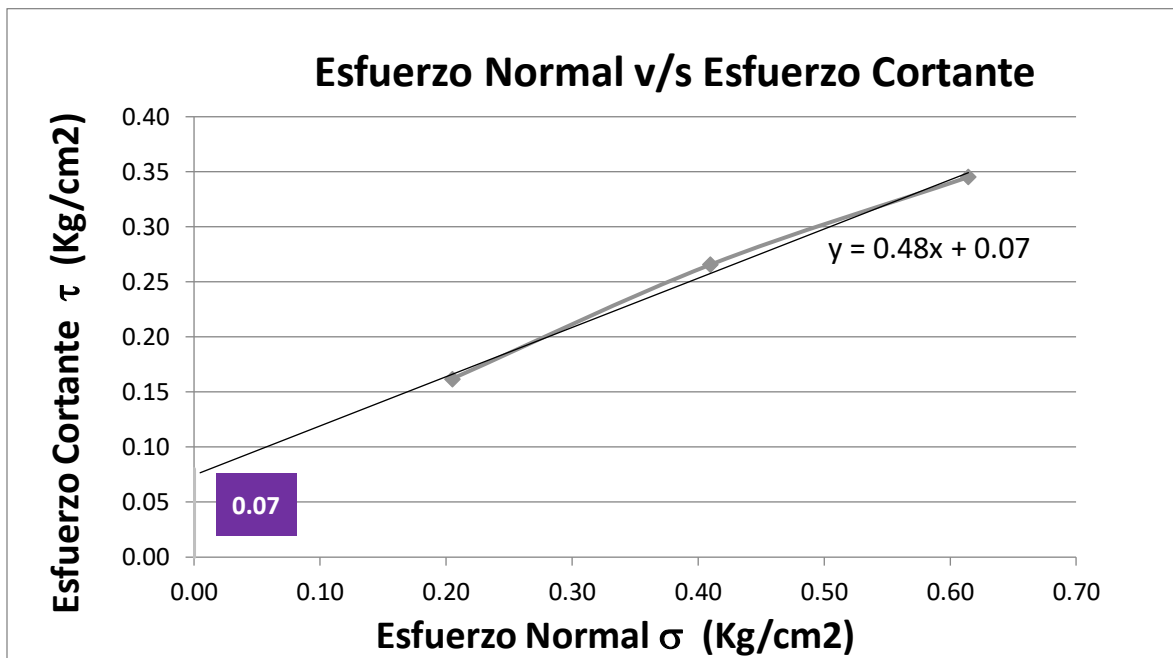
VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE								12.00 KG	
DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. Cm	AREA cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	12.00	5.08	20.268	20.27	0	0.592
0.1	-0.031	0.010	2.880	12.00	5.08	20.268	20.27	0.142	0.592
0.2	-0.038	0.020	3.396	12.00	5.08	20.268	20.26	0.168	0.592
0.3	-0.048	0.030	3.696	12.00	5.08	20.268	20.25	0.182	0.593
0.4	-0.058	0.040	3.958	12.00	5.08	20.268	20.24	0.196	0.593
0.5	-0.068	0.050	4.111	12.00	5.08	20.268	20.23	0.203	0.593
0.6	-0.078	0.060	4.251	12.00	5.08	20.268	20.22	0.210	0.593
0.8	-0.098	0.080	4.441	12.00	5.08	20.268	20.20	0.220	0.594
1	-0.118	0.100	4.707	12.00	5.08	20.268	20.17	0.233	0.595
1.2	-0.138	0.120	4.960	12.00	5.08	20.268	20.14	0.246	0.596
1.4	-0.158	0.140	5.079	12.00	5.08	20.268	20.11	0.253	0.597
1.6	-0.188	0.160	5.348	12.00	5.08	20.268	20.08	0.266	0.598
1.8	-0.218	0.180	5.450	12.00	5.08	20.268	20.04	0.272	0.599
2	-0.258	0.200	5.664	12.00	5.08	20.268	20.00	0.283	0.600
2.2	-0.308	0.220	5.662	12.00	5.08	20.268	19.96	0.284	0.601
2.4	-0.368	0.240	5.920	12.00	5.08	20.268	19.92	0.297	0.602
2.6	-0.438	0.260	6.040	12.00	5.08	20.268	19.88	0.304	0.604

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

2.8	-0.528	0.280	6.301	12.00	5.08	20.268	19.83	0.318	0.605
3	-0.638	0.300	6.829	12.00	5.08	20.268	19.78	0.345	0.607
3.2	-0.768	0.320	6.305	12.00	5.08	20.268	19.73	0.319	0.608
3.4	-0.928	0.340	5.925	12.00	5.08	20.268	19.68	0.301	0.610
3.6	-1.118	0.360	5.946	12.00	5.08	20.268	19.63	0.303	0.611
3.8	-1.338	0.380	5.262	12.00	5.08	20.268	19.58	0.269	0.613
4	-1.068	0.400	5.018	12.00	5.08	20.268	19.53	0.257	0.615

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE		
CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4	0.162 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²
8	0.266 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²
12	0.345 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²

Figura 41 Esfuerzo normal-Esfuerzo cortante (CD-arena)-P1



Cohesión (C)=	0.07 Kg/cm²
tg(ϕ) =	0.48
ϕ=	25.78°

b) PUNTO 2

- **Primer Estrato – Orgánico**

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

DATOS DEL EQUIPO		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Diámetro	5.08 cm	Peso	78.87gr
Área	20.27 cm ²	Peso Unitario Húmedo	1.81 g/cm ³
Altura	2.15 cm		
Volumen	43.58 cm ³		

Tabla 72 Corte directo-orgánico-carga 4kg-P2

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	0	0	4.00	5.08	20.268	20.27	0	0.197
0.1	-0.012	0.010	0.384	4.00	5.08	20.268	20.27	0.019	0.197
0.2	-0.016	0.020	0.851	4.00	5.08	20.268	20.26	0.042	0.197
0.3	-0.023	0.030	1.313	4.00	5.08	20.268	20.25	0.065	0.198
0.4	-0.033	0.040	1.758	4.00	5.08	20.268	20.24	0.087	0.198
0.5	-0.043	0.050	2.233	4.00	5.08	20.268	20.23	0.110	0.198
0.6	-0.053	0.060	2.431	4.00	5.08	20.268	20.22	0.120	0.198
0.8	-0.063	0.080	2.701	4.00	5.08	20.268	20.20	0.134	0.198
1	-0.073	0.100	3.114	4.00	5.08	20.268	20.17	0.154	0.198
1.2	-0.093	0.120	3.283	4.00	5.08	20.268	20.14	0.163	0.199
1.4	-0.113	0.140	3.545	4.00	5.08	20.268	20.11	0.176	0.199
1.6	-0.143	0.160	4.038	4.00	5.08	20.268	20.08	0.201	0.199
1.8	-0.173	0.180	4.311	4.00	5.08	20.268	20.04	0.215	0.200
2	-0.213	0.200	4.571	4.00	5.08	20.268	20.00	0.229	0.200
2.2	-0.263	0.220	4.835	4.00	5.08	20.268	19.96	0.242	0.200
2.4	-0.323	0.240	5.084	4.00	5.08	20.268	19.92	0.255	0.201
2.6	-0.393	0.260	5.252	4.00	5.08	20.268	19.88	0.264	0.201
2.8	-0.483	0.280	5.416	4.00	5.08	20.268	19.83	0.273	0.202
3	-0.593	0.300	5.556	4.00	5.08	20.268	19.78	0.281	0.202
3.2	-0.723	0.320	5.526	4.00	5.08	20.268	19.73	0.280	0.203
3.4	-0.883	0.340	5.480	4.00	5.08	20.268	19.68	0.278	0.203
3.6	-1.073	0.360	5.223	4.00	5.08	20.268	19.63	0.266	0.204
3.8	-1.293	0.380	4.350	4.00	5.08	20.268	19.58	0.222	0.204
4	-1.023	0.400	3.575	4.00	5.08	20.268	19.53	0.183	0.205

Tabla 73 Corte directo-orgánico-carga 8kg-P2

VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE	8.00 KG
---	---------

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. Cm	AREA cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	8.00	5.08	20.268	20.27	0	0.395
0.1	-0.016	0.010	1.402	8.00	5.08	20.268	20.27	0.069	0.395
0.2	-0.023	0.020	2.140	8.00	5.08	20.268	20.26	0.106	0.395
0.3	-0.033	0.030	2.713	8.00	5.08	20.268	20.25	0.134	0.395
0.4	-0.043	0.040	3.333	8.00	5.08	20.268	20.24	0.165	0.395
0.5	-0.053	0.050	3.821	8.00	5.08	20.268	20.23	0.189	0.395
0.6	-0.063	0.060	3.957	8.00	5.08	20.268	20.22	0.196	0.396
0.8	-0.073	0.080	4.513	8.00	5.08	20.268	20.20	0.223	0.396
1	-0.093	0.100	4.694	8.00	5.08	20.268	20.17	0.233	0.397
1.2	-0.113	0.120	4.916	8.00	5.08	20.268	20.14	0.244	0.397
1.4	-0.133	0.140	5.222	8.00	5.08	20.268	20.11	0.260	0.398
1.6	-0.163	0.160	5.266	8.00	5.08	20.268	20.08	0.262	0.398
1.8	-0.193	0.180	5.565	8.00	5.08	20.268	20.04	0.278	0.399
2	-0.233	0.200	5.800	8.00	5.08	20.268	20.00	0.290	0.400
2.2	-0.283	0.220	6.038	8.00	5.08	20.268	19.96	0.302	0.401
2.4	-0.343	0.240	6.370	8.00	5.08	20.268	19.92	0.320	0.402
2.6	-0.413	0.260	6.596	8.00	5.08	20.268	19.88	0.332	0.402
2.8	-0.503	0.280	6.375	8.00	5.08	20.268	19.83	0.321	0.403
3	-0.613	0.300	6.725	8.00	5.08	20.268	19.78	0.340	0.404
3.2	-0.743	0.320	6.665	8.00	5.08	20.268	19.73	0.338	0.405
3.4	-0.903	0.340	6.117	8.00	5.08	20.268	19.68	0.311	0.406
3.6	-1.093	0.360	5.872	8.00	5.08	20.268	19.63	0.299	0.407
3.8	-1.313	0.380	5.300	8.00	5.08	20.268	19.58	0.271	0.409
4	-1.043	0.400	4.303	8.00	5.08	20.268	19.53	0.220	0.410

Tabla 74 Corte directo-orgánico-carga 12kg-P2

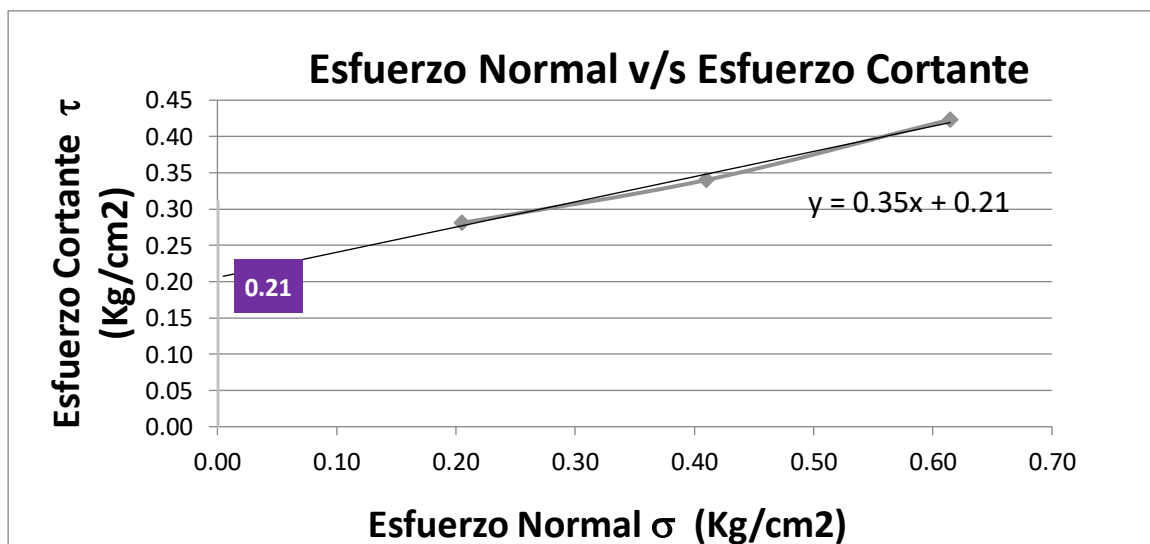
VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE								12.00 KG	
DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. Cm	AREA cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	12.00	5.08	20.268	20.27	0	0.592
0.1	-0.026	0.010	3.248	12.00	5.08	20.268	20.27	0.160	0.592
0.2	-0.033	0.020	3.704	12.00	5.08	20.268	20.26	0.183	0.592
0.3	-0.043	0.030	4.204	12.00	5.08	20.268	20.25	0.208	0.593
0.4	-0.053	0.040	4.531	12.00	5.08	20.268	20.24	0.224	0.593
0.5	-0.063	0.050	4.798	12.00	5.08	20.268	20.23	0.237	0.593
0.6	-0.073	0.060	4.999	12.00	5.08	20.268	20.22	0.247	0.593
0.8	-0.093	0.080	5.104	12.00	5.08	20.268	20.20	0.253	0.594

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

1	-0.113	0.100	5.383	12.00	5.08	20.268	20.17	0.267	0.595
1.2	-0.133	0.120	5.731	12.00	5.08	20.268	20.14	0.284	0.596
1.4	-0.153	0.140	5.945	12.00	5.08	20.268	20.11	0.296	0.597
1.6	-0.183	0.160	6.026	12.00	5.08	20.268	20.08	0.300	0.598
1.8	-0.213	0.180	6.252	12.00	5.08	20.268	20.04	0.312	0.599
2	-0.253	0.200	6.618	12.00	5.08	20.268	20.00	0.331	0.600
2.2	-0.303	0.220	6.549	12.00	5.08	20.268	19.96	0.328	0.601
2.4	-0.363	0.240	6.870	12.00	5.08	20.268	19.92	0.345	0.602
2.6	-0.433	0.260	6.974	12.00	5.08	20.268	19.88	0.351	0.604
2.8	-0.523	0.280	7.702	12.00	5.08	20.268	19.83	0.388	0.605
3	-0.633	0.300	8.372	12.00	5.08	20.268	19.78	0.423	0.607
3.2	-0.763	0.320	8.173	12.00	5.08	20.268	19.73	0.414	0.608
3.4	-0.923	0.340	7.084	12.00	5.08	20.268	19.68	0.360	0.610
3.6	-1.113	0.360	6.940	12.00	5.08	20.268	19.63	0.353	0.611
3.8	-1.333	0.380	6.279	12.00	5.08	20.268	19.58	0.321	0.613
4	-1.063	0.400	5.687	12.00	5.08	20.268	19.53	0.291	0.615

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL		
Y ESFUERZO CORTANTE		
CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4	0.281 kg/cm2	0.205 kg/cm2
8	0.340 kg/cm2	0.410 kg/cm2
12	0.423 kg/cm2	0.615 kg/cm2

Figura 42 Esfuerzo normal-Esfuerzo cortante (CD-orgánico)-P2



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Cohesión (C)=	0.21 Kg/cm²
tg(φ) =	0.350
φ=	19.29 °

• **Segundo Estrato – Arena**

DATOS DEL EQUIPO		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Diámetro	5.08 cm	Peso	82.36gr
Área	20.27 cm ²	Peso Unitario Húmedo	1.89 g/cm ³
Altura	2.15 cm		
Volumen	43.58 cm ³		

Tabla 75 Corte directo-arena-carga 4kg-P2

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 cm²	AREA CORREGIDA cm²	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm²	ESFUERZO NORMAL Kg/cm²
0	0	0	0	4.00	5.08	20.268	20.27	0	0.197
0.1	-0.02	0.010	0.615	4.00	5.08	20.268	20.27	0.030	0.197
0.2	-0.024	0.020	0.837	4.00	5.08	20.268	20.26	0.041	0.197
0.3	-0.031	0.030	1.051	4.00	5.08	20.268	20.25	0.052	0.198
0.4	-0.041	0.040	1.242	4.00	5.08	20.268	20.24	0.061	0.198
0.5	-0.051	0.050	1.469	4.00	5.08	20.268	20.23	0.073	0.198
0.6	-0.061	0.060	1.571	4.00	5.08	20.268	20.22	0.078	0.198
0.8	-0.071	0.080	1.709	4.00	5.08	20.268	20.20	0.085	0.198
1	-0.091	0.100	1.869	4.00	5.08	20.268	20.17	0.093	0.198
1.2	-0.111	0.120	1.977	4.00	5.08	20.268	20.14	0.098	0.199
1.4	-0.131	0.140	2.031	4.00	5.08	20.268	20.11	0.101	0.199
1.6	-0.161	0.160	2.314	4.00	5.08	20.268	20.08	0.115	0.199
1.8	-0.191	0.180	2.440	4.00	5.08	20.268	20.04	0.122	0.200
2	-0.231	0.200	2.551	4.00	5.08	20.268	20.00	0.128	0.200
2.2	-0.281	0.220	2.664	4.00	5.08	20.268	19.96	0.133	0.200
2.4	-0.341	0.240	2.764	4.00	5.08	20.268	19.92	0.139	0.201
2.6	-0.411	0.260	2.887	4.00	5.08	20.268	19.88	0.145	0.201
2.8	-0.501	0.280	2.898	4.00	5.08	20.268	19.83	0.146	0.202
3	-0.611	0.300	2.915	4.00	5.08	20.268	19.78	0.147	0.202
3.2	-0.741	0.320	3.156	4.00	5.08	20.268	19.73	0.160	0.203
3.4	-0.901	0.340	2.960	4.00	5.08	20.268	19.68	0.150	0.203

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

3.6	-1.091	0.360	2.851	4.00	5.08	20.268	19.63	0.145	0.204
3.8	-1.311	0.380	2.406	4.00	5.08	20.268	19.58	0.123	0.204
4	-1.041	0.400	2.053	4.00	5.08	20.268	19.53	0.105	0.205

Tabla 76 Corte directo-arena-carga 8kg-P2

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	8.00	5.08	20.268	20.27	0	0.395
0.1	-0.022	0.010	1.282	8.00	5.08	20.268	20.27	0.063	0.395
0.2	-0.029	0.020	1.867	8.00	5.08	20.268	20.26	0.092	0.395
0.3	-0.039	0.030	2.311	8.00	5.08	20.268	20.25	0.114	0.395
0.4	-0.049	0.040	2.710	8.00	5.08	20.268	20.24	0.134	0.395
0.5	-0.059	0.050	3.031	8.00	5.08	20.268	20.23	0.150	0.395
0.6	-0.069	0.060	3.173	8.00	5.08	20.268	20.22	0.157	0.396
0.8	-0.089	0.080	3.640	8.00	5.08	20.268	20.20	0.180	0.396
1	-0.109	0.100	3.795	8.00	5.08	20.268	20.17	0.188	0.397
1.2	-0.129	0.120	3.953	8.00	5.08	20.268	20.14	0.196	0.397
1.4	-0.149	0.140	4.177	8.00	5.08	20.268	20.11	0.208	0.398
1.6	-0.179	0.160	4.151	8.00	5.08	20.268	20.08	0.207	0.398
1.8	-0.209	0.180	4.299	8.00	5.08	20.268	20.04	0.215	0.399
2	-0.249	0.200	4.517	8.00	5.08	20.268	20.00	0.226	0.400
2.2	-0.299	0.220	4.634	8.00	5.08	20.268	19.96	0.232	0.401
2.4	-0.359	0.240	4.838	8.00	5.08	20.268	19.92	0.243	0.402
2.6	-0.429	0.260	5.107	8.00	5.08	20.268	19.88	0.257	0.402
2.8	-0.519	0.280	5.147	8.00	5.08	20.268	19.83	0.260	0.403
3	-0.629	0.300	5.381	8.00	5.08	20.268	19.78	0.272	0.404
3.2	-0.759	0.320	5.180	8.00	5.08	20.268	19.73	0.262	0.405
3.4	-0.919	0.340	4.666	8.00	5.08	20.268	19.68	0.237	0.406
3.6	-1.109	0.360	4.528	8.00	5.08	20.268	19.63	0.231	0.407
3.8	-1.329	0.380	4.111	8.00	5.08	20.268	19.58	0.210	0.409
4	-1.059	0.400	3.414	8.00	5.08	20.268	19.53	0.175	0.410

Tabla 77 Corte directo-arena-carga 12kg-P2

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	12.00	5.08	20.268	20.27	0	0.592

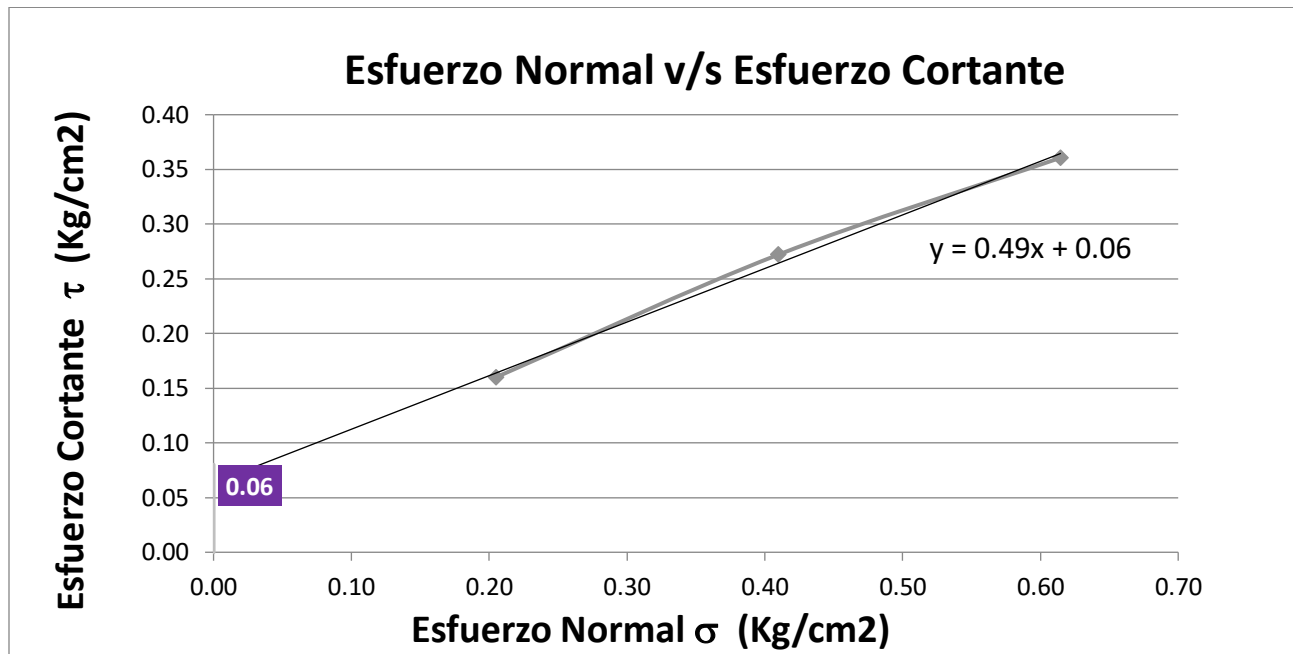
**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

0.1	-0.032	0.010	3.017	12.00	5.08	20.268	20.27	0.149	0.592
0.2	-0.039	0.020	3.602	12.00	5.08	20.268	20.26	0.178	0.592
0.3	-0.049	0.030	4.046	12.00	5.08	20.268	20.25	0.200	0.593
0.4	-0.059	0.040	4.445	12.00	5.08	20.268	20.24	0.220	0.593
0.5	-0.069	0.050	4.766	12.00	5.08	20.268	20.23	0.236	0.593
0.6	-0.079	0.060	4.908	12.00	5.08	20.268	20.22	0.243	0.593
0.8	-0.099	0.080	5.375	12.00	5.08	20.268	20.20	0.266	0.594
1	-0.119	0.100	5.530	12.00	5.08	20.268	20.17	0.274	0.595
1.2	-0.139	0.120	5.688	12.00	5.08	20.268	20.14	0.282	0.596
1.4	-0.159	0.140	5.912	12.00	5.08	20.268	20.11	0.294	0.597
1.6	-0.189	0.160	5.886	12.00	5.08	20.268	20.08	0.293	0.598
1.8	-0.219	0.180	6.034	12.00	5.08	20.268	20.04	0.301	0.599
2	-0.259	0.200	6.252	12.00	5.08	20.268	20.00	0.313	0.600
2.2	-0.309	0.220	6.369	12.00	5.08	20.268	19.96	0.319	0.601
2.4	-0.369	0.240	6.573	12.00	5.08	20.268	19.92	0.330	0.602
2.6	-0.439	0.260	6.842	12.00	5.08	20.268	19.88	0.344	0.604
2.8	-0.529	0.280	6.882	12.00	5.08	20.268	19.83	0.347	0.605
3	-0.639	0.300	7.134	12.00	5.08	20.268	19.78	0.361	0.607
3.2	-0.769	0.320	6.915	12.00	5.08	20.268	19.73	0.350	0.608
3.4	-0.929	0.340	6.401	12.00	5.08	20.268	19.68	0.325	0.610
3.6	-1.119	0.360	6.263	12.00	5.08	20.268	19.63	0.319	0.611
3.8	-1.339	0.380	5.846	12.00	5.08	20.268	19.58	0.299	0.613
4	-1.069	0.400	5.149	12.00	5.08	20.268	19.53	0.264	0.615

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL		
Y ESFUERZO CORTANTE		
CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4	0.160 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²
8	0.272 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²
12	0.361 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Figura 43 Esfuerzo normal-Esfuerzo cortante (CD-arena)-P2



Cohesión (C)=	0.06 Kg/cm2
tg(φ) =	0.490
φ=	26.10 °

c) PLATAFORMA

- **Primer Estrato – Orgánico**

DATOS DEL EQUIPO		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Diámetro	5.08 cm	Peso	78.87 gr
Área	20.27 cm ²	Peso Unitario Húmedo	1.81 g/cm ³
Altura	2.15 cm		
Volumen	43.58 cm ³		

Tabla 78 Corte directo-orgánico-carga 4kg-plataforma

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	4.00	5.08	20.268	20.27	0	0.197
0.1	-0.009	0.010	0.193	4.00	5.08	20.268	20.27	0.010	0.197
0.2	-0.013	0.020	0.660	4.00	5.08	20.268	20.26	0.033	0.197

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

0.3	-0.02	0.030	1.122	4.00	5.08	20.268	20.25	0.055	0.198
0.4	-0.03	0.040	1.567	4.00	5.08	20.268	20.24	0.077	0.198
0.5	-0.04	0.050	2.042	4.00	5.08	20.268	20.23	0.101	0.198
0.6	-0.05	0.060	2.240	4.00	5.08	20.268	20.22	0.111	0.198
0.8	-0.06	0.080	2.510	4.00	5.08	20.268	20.20	0.124	0.198
1	-0.07	0.100	2.923	4.00	5.08	20.268	20.17	0.145	0.198
1.2	-0.09	0.120	3.092	4.00	5.08	20.268	20.14	0.153	0.199
1.4	-0.11	0.140	3.354	4.00	5.08	20.268	20.11	0.167	0.199
1.6	-0.14	0.160	3.847	4.00	5.08	20.268	20.08	0.192	0.199
1.8	-0.17	0.180	4.120	4.00	5.08	20.268	20.04	0.206	0.200
2	-0.21	0.200	4.380	4.00	5.08	20.268	20.00	0.219	0.200
2.2	-0.26	0.220	4.644	4.00	5.08	20.268	19.96	0.233	0.200
2.4	-0.32	0.240	4.893	4.00	5.08	20.268	19.92	0.246	0.201
2.6	-0.39	0.260	5.061	4.00	5.08	20.268	19.88	0.255	0.201
2.8	-0.48	0.280	5.150	4.00	5.08	20.268	19.83	0.260	0.202
3	-0.59	0.300	5.210	4.00	5.08	20.268	19.78	0.263	0.202
3.2	-0.72	0.320	5.210	4.00	5.08	20.268	19.73	0.264	0.203
3.4	-0.88	0.340	5.230	4.00	5.08	20.268	19.68	0.266	0.203
3.6	-1.07	0.360	5.032	4.00	5.08	20.268	19.63	0.256	0.204
3.8	-1.29	0.380	4.159	4.00	5.08	20.268	19.58	0.212	0.204
4	-1.02	0.400	3.384	4.00	5.08	20.268	19.53	0.173	0.205

Tabla 79 Corte directo-orgánico-carga 8kg-plataforma

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	8.00	5.08	20.268	20.27	0	0.395
0.1	-0.013	0.010	0.809	8.00	5.08	20.268	20.27	0.040	0.395
0.2	-0.02	0.020	1.547	8.00	5.08	20.268	20.26	0.076	0.395
0.3	-0.03	0.030	2.120	8.00	5.08	20.268	20.25	0.105	0.395
0.4	-0.04	0.040	2.740	8.00	5.08	20.268	20.24	0.135	0.395
0.5	-0.05	0.050	3.228	8.00	5.08	20.268	20.23	0.160	0.395
0.6	-0.06	0.060	3.364	8.00	5.08	20.268	20.22	0.166	0.396
0.8	-0.07	0.080	3.920	8.00	5.08	20.268	20.20	0.194	0.396
1	-0.09	0.100	4.101	8.00	5.08	20.268	20.17	0.203	0.397
1.2	-0.11	0.120	4.323	8.00	5.08	20.268	20.14	0.215	0.397
1.4	-0.13	0.140	4.629	8.00	5.08	20.268	20.11	0.230	0.398
1.6	-0.16	0.160	4.673	8.00	5.08	20.268	20.08	0.233	0.398
1.8	-0.19	0.180	4.972	8.00	5.08	20.268	20.04	0.248	0.399
2	-0.23	0.200	5.207	8.00	5.08	20.268	20.00	0.260	0.400

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

2.2	-0.28	0.220	5.445	8.00	5.08	20.268	19.96	0.273	0.401
2.4	-0.34	0.240	5.777	8.00	5.08	20.268	19.92	0.290	0.402
2.6	-0.41	0.260	6.003	8.00	5.08	20.268	19.88	0.302	0.402
2.8	-0.5	0.280	6.028	8.00	5.08	20.268	19.83	0.304	0.403
3	-0.61	0.300	6.550	8.00	5.08	20.268	19.78	0.331	0.404
3.2	-0.74	0.320	6.072	8.00	5.08	20.268	19.73	0.308	0.405
3.4	-0.9	0.340	5.524	8.00	5.08	20.268	19.68	0.281	0.406
3.6	-1.09	0.360	5.279	8.00	5.08	20.268	19.63	0.269	0.407
3.8	-1.31	0.380	4.707	8.00	5.08	20.268	19.58	0.240	0.409
4	-1.04	0.400	3.710	8.00	5.08	20.268	19.53	0.190	0.410

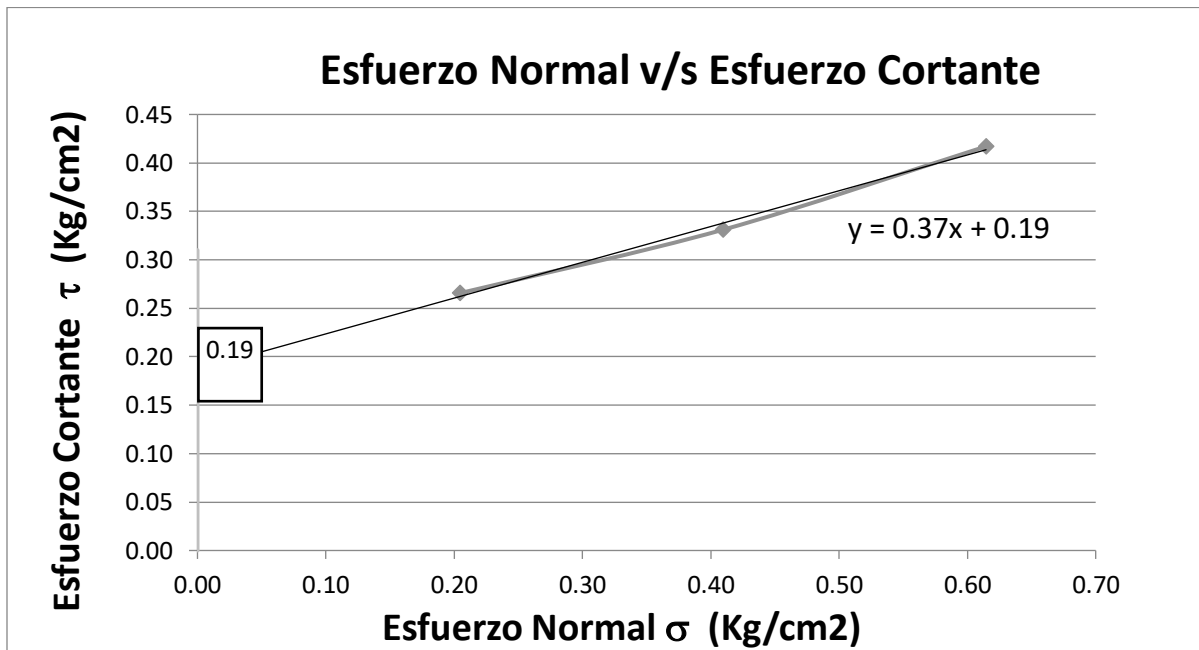
Tabla 80 Corte directo-orgánico-carga 12kg-plataforma

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	12.00	5.08	20.268	20.27	0	0.592
0.1	-0.023	0.010	3.885	12.00	5.08	20.268	20.27	0.192	0.592
0.2	-0.03	0.020	4.341	12.00	5.08	20.268	20.26	0.214	0.592
0.3	-0.04	0.030	4.841	12.00	5.08	20.268	20.25	0.239	0.593
0.4	-0.05	0.040	5.168	12.00	5.08	20.268	20.24	0.255	0.593
0.5	-0.06	0.050	5.435	12.00	5.08	20.268	20.23	0.269	0.593
0.6	-0.07	0.060	5.636	12.00	5.08	20.268	20.22	0.279	0.593
0.8	-0.09	0.080	5.741	12.00	5.08	20.268	20.20	0.284	0.594
1	-0.11	0.100	6.020	12.00	5.08	20.268	20.17	0.298	0.595
1.2	-0.13	0.120	6.368	12.00	5.08	20.268	20.14	0.316	0.596
1.4	-0.15	0.140	6.582	12.00	5.08	20.268	20.11	0.327	0.597
1.6	-0.18	0.160	6.663	12.00	5.08	20.268	20.08	0.332	0.598
1.8	-0.21	0.180	6.889	12.00	5.08	20.268	20.04	0.344	0.599
2	-0.25	0.200	7.255	12.00	5.08	20.268	20.00	0.363	0.600
2.2	-0.3	0.220	7.186	12.00	5.08	20.268	19.96	0.360	0.601
2.4	-0.36	0.240	7.507	12.00	5.08	20.268	19.92	0.377	0.602
2.6	-0.43	0.260	7.611	12.00	5.08	20.268	19.88	0.383	0.604
2.8	-0.52	0.280	8.042	12.00	5.08	20.268	19.83	0.406	0.605
3	-0.63	0.300	8.250	12.00	5.08	20.268	19.78	0.417	0.607
3.2	-0.76	0.320	8.050	12.00	5.08	20.268	19.73	0.408	0.608
3.4	-0.92	0.340	7.721	12.00	5.08	20.268	19.68	0.392	0.610
3.6	-1.11	0.360	7.577	12.00	5.08	20.268	19.63	0.386	0.611
3.8	-1.33	0.380	6.916	12.00	5.08	20.268	19.58	0.353	0.613
4	-1.06	0.400	6.324	12.00	5.08	20.268	19.53	0.324	0.615

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE		
CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4	0.266 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²
8	0.331 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²
12	0.417 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²

Figura 44 Esfuerzo normal-Esfuerzo cortante (CD-orgánico)-plataforma



Cohesión (C)=	0.19 Kg/cm²
tg(ϕ) =	0.370
ϕ=	20.30 °

• **Segundo Estrato – Arcilla**

DATOS DEL EQUIPO		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Diámetro	5.08 cm	Peso	80.62 gr
Área	20.27 cm ²	Peso Unitario Húmedo	1.85 g/cm ³
Altura	2.15 cm		
Volumen	43.58 cm ³		

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Tabla 81 Corte directo-arcilla-carga 4kg-plataforma

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	4.00	5.08	20.268	20.27	0	0.197
0.1	-0.019	0.010	2.108	4.00	5.08	20.268	20.27	0.104	0.197
0.2	-0.023	0.020	2.798	4.00	5.08	20.268	20.26	0.138	0.197
0.3	-0.03	0.030	3.503	4.00	5.08	20.268	20.25	0.173	0.198
0.4	-0.04	0.040	4.163	4.00	5.08	20.268	20.24	0.206	0.198
0.5	-0.05	0.050	4.851	4.00	5.08	20.268	20.23	0.240	0.198
0.6	-0.06	0.060	5.152	4.00	5.08	20.268	20.22	0.255	0.198
0.8	-0.07	0.080	5.557	4.00	5.08	20.268	20.20	0.275	0.198
1	-0.08	0.100	6.252	4.00	5.08	20.268	20.17	0.310	0.198
1.2	-0.1	0.120	6.478	4.00	5.08	20.268	20.14	0.322	0.199
1.4	-0.12	0.140	6.835	4.00	5.08	20.268	20.11	0.340	0.199
1.6	-0.14	0.160	7.583	4.00	5.08	20.268	20.08	0.378	0.199
1.8	-0.17	0.180	7.995	4.00	5.08	20.268	20.04	0.399	0.200
2	-0.21	0.200	8.476	4.00	5.08	20.268	20.00	0.424	0.200
2.2	-0.25	0.220	8.710	4.00	5.08	20.268	19.96	0.436	0.200
2.4	-0.31	0.240	9.060	4.00	5.08	20.268	19.92	0.455	0.201
2.6	-0.37	0.260	9.430	4.00	5.08	20.268	19.88	0.474	0.201
2.8	-0.44	0.280	9.526	4.00	5.08	20.268	19.83	0.480	0.202
3	-0.54	0.300	9.850	4.00	5.08	20.268	19.78	0.498	0.202
3.2	-0.65	0.320	10.133	4.00	5.08	20.268	19.73	0.513	0.203
3.4	-0.79	0.340	9.269	4.00	5.08	20.268	19.68	0.471	0.203
3.6	-0.96	0.360	8.803	4.00	5.08	20.268	19.63	0.448	0.204
3.8	-1.16	0.380	8.012	4.00	5.08	20.268	19.58	0.409	0.204
4	-1.41	0.400	6.581	4.00	5.08	20.268	19.53	0.337	0.205

Tabla 82 Corte directo-arcilla-carga 8kg-plataforma

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 cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	8.00	5.08	20.268	20.27	0	0.395
0.1	-0.023	0.010	3.073	8.00	5.08	20.268	20.27	0.152	0.395
0.2	-0.03	0.020	4.169	8.00	5.08	20.268	20.26	0.206	0.395
0.3	-0.04	0.030	4.974	8.00	5.08	20.268	20.25	0.246	0.395
0.4	-0.05	0.040	5.963	8.00	5.08	20.268	20.24	0.295	0.395

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

0.5	-0.06	0.050	6.733	8.00	5.08	20.268	20.23	0.333	0.395
0.6	-0.07	0.060	6.779	8.00	5.08	20.268	20.22	0.335	0.396
0.8	-0.09	0.080	7.601	8.00	5.08	20.268	20.20	0.376	0.396
1	-0.11	0.100	7.872	8.00	5.08	20.268	20.17	0.390	0.397
1.2	-0.13	0.120	8.250	8.00	5.08	20.268	20.14	0.410	0.397
1.4	-0.16	0.140	8.675	8.00	5.08	20.268	20.11	0.431	0.398
1.6	-0.19	0.160	8.763	8.00	5.08	20.268	20.08	0.436	0.398
1.8	-0.23	0.180	9.159	8.00	5.08	20.268	20.04	0.457	0.399
2	-0.28	0.200	9.501	8.00	5.08	20.268	20.00	0.475	0.400
2.2	-0.34	0.220	9.844	8.00	5.08	20.268	19.96	0.493	0.401
2.4	-0.41	0.240	10.342	8.00	5.08	20.268	19.92	0.519	0.402
2.6	-0.49	0.260	10.716	8.00	5.08	20.268	19.88	0.539	0.402
2.8	-0.59	0.280	10.736	8.00	5.08	20.268	19.83	0.541	0.403
3	-0.71	0.300	10.931	8.00	5.08	20.268	19.78	0.553	0.404
3.2	-0.87	0.320	11.013	8.00	5.08	20.268	19.73	0.558	0.405
3.4	-1.06	0.340	10.136	8.00	5.08	20.268	19.68	0.515	0.406
3.6	-1.28	0.360	9.713	8.00	5.08	20.268	19.63	0.495	0.407
3.8	-1.54	0.380	8.962	8.00	5.08	20.268	19.58	0.458	0.409
4	-1.87	0.400	7.281	8.00	5.08	20.268	19.53	0.373	0.410

Tabla 83 Corte directo-arcilla-carga 12kg-plataforma

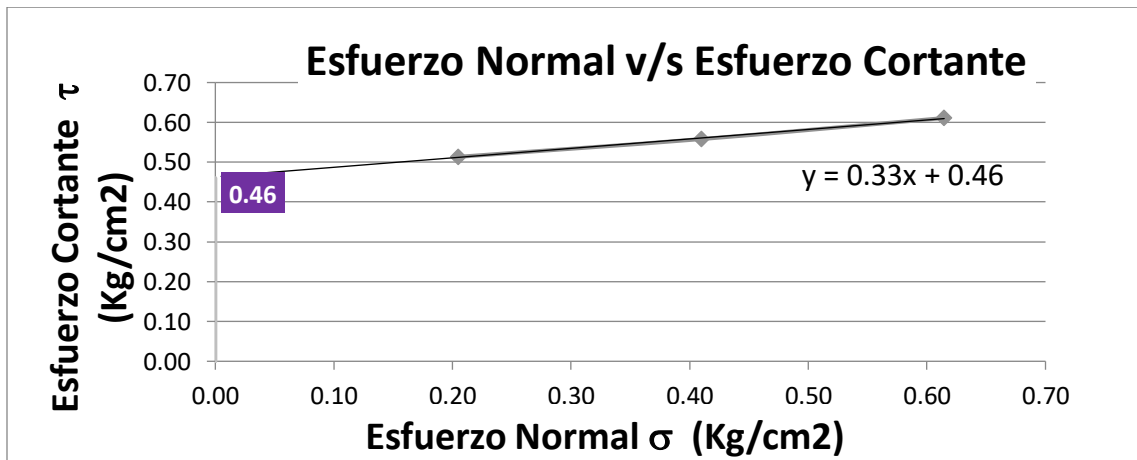
VALORES DE ESFUERZOS CORTANTES Y NORMALES PARA LA CARGA APLICADA DE								12.00 KG	
DEFORM. HORIZON. mm	DEFORM. VERTICAL mm	DEF. cm	CARGA CORTANTE Kg	CARGA NORMAL Kg	Diam. Cm	AREA cm2	AREA CORREGIDA cm2	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm2	ESFUERZO NORMAL Kg/cm2
0	0	0	0	12.00	5.08	20.268	20.27	0	0.592
0.1	-0.033	0.010	5.752	12.00	5.08	20.268	20.27	0.284	0.592
0.2	-0.04	0.020	6.528	12.00	5.08	20.268	20.26	0.322	0.592
0.3	-0.05	0.030	7.022	12.00	5.08	20.268	20.25	0.347	0.593
0.4	-0.06	0.040	7.658	12.00	5.08	20.268	20.24	0.378	0.593
0.5	-0.07	0.050	8.034	12.00	5.08	20.268	20.23	0.397	0.593
0.6	-0.09	0.060	8.358	12.00	5.08	20.268	20.22	0.413	0.593
0.8	-0.11	0.080	8.870	12.00	5.08	20.268	20.20	0.439	0.594
1	-0.13	0.100	9.055	12.00	5.08	20.268	20.17	0.449	0.595
1.2	-0.16	0.120	9.692	12.00	5.08	20.268	20.14	0.481	0.596
1.4	-0.2	0.140	10.309	12.00	5.08	20.268	20.11	0.513	0.597
1.6	-0.24	0.160	10.456	12.00	5.08	20.268	20.08	0.521	0.598
1.8	-0.29	0.180	10.693	12.00	5.08	20.268	20.04	0.534	0.599
2	-0.35	0.200	10.894	12.00	5.08	20.268	20.00	0.545	0.600
2.2	-0.42	0.220	10.938	12.00	5.08	20.268	19.96	0.548	0.601
2.4	-0.51	0.240	11.351	12.00	5.08	20.268	19.92	0.570	0.602

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

2.6	-0.62	0.260	11.635	12.00	5.08	20.268	19.88	0.585	0.604
2.8	-0.76	0.280	11.952	12.00	5.08	20.268	19.83	0.603	0.605
3	-0.91	0.300	12.035	12.00	5.08	20.268	19.78	0.608	0.607
3.2	-1.1	0.320	12.055	12.00	5.08	20.268	19.73	0.611	0.608
3.4	-1.32	0.340	11.030	12.00	5.08	20.268	19.68	0.560	0.610
3.6	-1.59	0.360	10.560	12.00	5.08	20.268	19.63	0.538	0.611
3.8	-1.91	0.380	10.123	12.00	5.08	20.268	19.58	0.517	0.613
4	-2.34	0.400	9.273	12.00	5.08	20.268	19.53	0.475	0.615

PUNTOS MAXIMOS DE ESFUERZO NORMAL Y ESFUERZO CORTANTE		
CARGA (KG)	ESFUERZO CORTANTE	ESFUERZO NORMAL
4	0.513 kg/cm ²	0.205 kg/cm ²
8	0.558 kg/cm ²	0.410 kg/cm ²
12	0.611 kg/cm ²	0.615 kg/cm ²

Figura 45 Esfuerzo normal-Esfuerzo cortante (CD-arcilla)-plataforma



Cohesión (C)=	0.46 Kg/cm²
tg(ϕ) =	0.33
ϕ=	18.41 °

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

4.3 Ensayo de refracción sísmica y MASW

UBICACION POLITICA DEL PROYECTO:

El proyecto se ubica geográficamente en las siguientes coordenadas geográficas.

Localización geográfica del lugar del proyecto.

COMUNIDAD	Raqchi
DISTRITO	San Pedro
PROVINCIA	Canchis
DEPARTAMENTO	Cusco

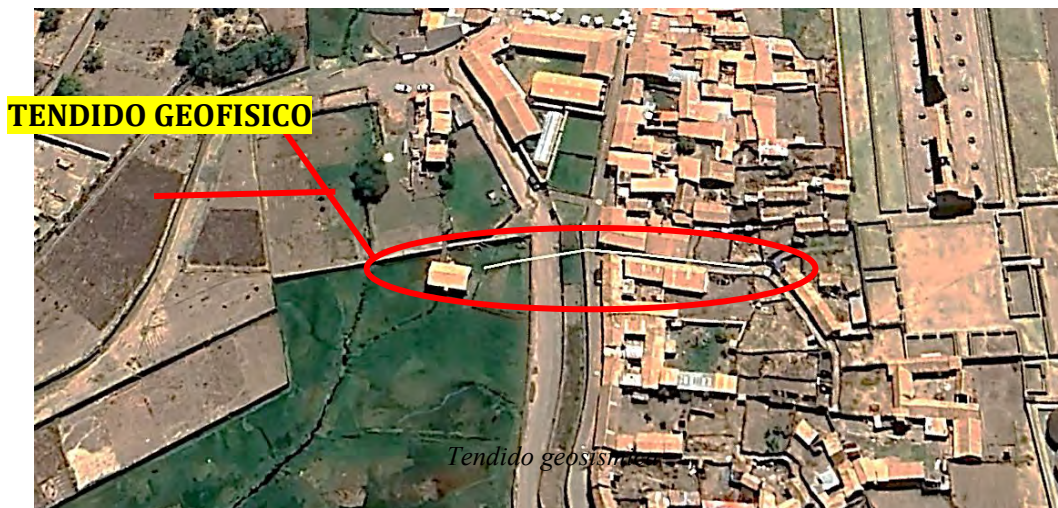
La zona de estudio corresponde al sector de Raqchi, del distrito de San Pedro, provincia de Canchis en el departamento de Cusco.

Localización del área del proyecto.



La línea sísmica está dispuesta de la siguiente manera, como se muestra a continuación:

Localización de la línea sísmica.





EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS

La(s) exploración(es) geotécnica(s) fue(ron) distribuida(s) conveniente en la(s) área(s) de estudio según criterio del especialista geotécnico.

NORMATIVA DE APLICACIÓN

Para la elaboración de los trabajos correspondientes a esta especialidad se ha considerado la siguiente normativa usados para determinar las propiedades dinámicas y la compacidad de suelos en la zona de estudio

- El método se ejecuta en base a lo que determina la normativa internacional ASTM D 5777-95.
- ASTM D5777-00 Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation.
- IBC – 2015: International Building Code.
- Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E 0.30.
- ASTM Standard D6429-99 Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods.

FASES DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

FASE DE CAMPO

En el Estudio Geológico Geotécnico se ha desarrollado las siguientes investigaciones de campo:

- Reconocimiento geológico de la zona de estudio y su entorno (Área de influencia).

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

- Realización del cartografiado geológico local en el área del proyecto a una escala adecuada, limitando las unidades geomorfológicas y lito-estratigráficas, los rasgos de geología estructural y los fenómenos de geodinámica externa.
- Ubicación adecuada de las líneas de exploración sísmica con fines de investigar el subsuelo para definir la estratificación geo-sísmica, identificando los depósitos consolidados, no consolidados, donde se describirán sus velocidades de onda y composición según su propagación de onda.
- Instalación de Equipos y Cables. Este proceso permite ubicar el equipo adecuado, según el número de tendidos previamente planificado. Asimismo, se procedió a instalar los cables y los equipos de medición (geófonos de 4.5 Hz para los ensayos de refracción sísmica “RS” y MASW-2D) en campo.
- Verificación de las conexiones y contactos respectivos de cables con geófonos.
- Toma de Datos. El operador del equipo (Sismógrafo) marca DOLAND que estará a cargo del Ingeniero geólogo con especialidad en Geofísica - Geotecnia, realizando un control de calidad el cual definirá y calificará los datos conforme se van adquiriendo mediante el software DBS280B V2.3, indicando repeticiones o cambio de fuentes de energía o posición del equipo, según sea conveniente o necesario para el levantamiento sobre superficie, así mismo se realizó los métodos de ensayos indirectos para determinar valores de asentamiento ASTM D 5777, para obtener valores de ondas de velocidades V_p y V_s respectivamente recepcionando los datos en campo mediante el software DBS280B V2.3, para su posterior guardado y procedimiento en gabinete.

Parámetros de adquisición en campo

MEDICIONES:	t, Tiempo de Arribo de P
ARREGLO DE GEOFONOS:	24 unidades
INTERVALOS ENTRE GEOFONOS:	3m
COBERTURA DE LEVANTAMIENTO:	líneas Sísmicas RS&MASW2D-01
TOTAL, EN REFRACCION POR SECCION:	72m
FILTROS:	Procesamiento
INTERVALO DE MUESTREO:	0-125 milisegundos
FUENTE DE TIRO:	Perturbador sísmico
FORMATO DE GRABACION:	Archivos*.dat
BRIGADAS DE TRABAJO:	01 grupo
PROFUNDIDAD NOMINAL:	30.00 m

FASE DE TRABAJOS DE GABINETE PARA REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW

Procesamiento, etapa del análisis inicial que consiste en calificar la información de las diversas pulsaciones de corriente (proceso que se realiza en campo), ya en las oficinas se verifica y se obtiene una base de datos final de acuerdo a los patrones de respuesta, las velocidades de ondas que son captados mediante los

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

geófonos tienden a tener el sensor de acuerdo a la instalación. Dicha calificación se hace para dejar aquellos datos dudosos o anómalos.

- Para el estudio de Refracción sísmica “RS” y MASW 2D, el control de calidad de los datos se realizó con el software SuperOne y el procesamiento por inversión con el software SeisImager.
- Se realizó una correlación geológica – geofísica de los materiales identificando la profundidad de los contactos litológicos, la profundidad y posible naturaleza del basamento rocoso.
- Determinación de parámetros de elasticidad correspondiente a cada estrato en función de las Velocidades de Onda P y S.
- Descripción de las condiciones del suelo, estratigrafía e identificación de los estratos del suelo o base rocosa.
- Determinar valores geotécnicos característicos, según a las profundidades estimadas
- Presentación de los resultados y planimetría.

FASE DE IMPLEMENTOS

En esta fase se ha realizado el análisis de la información correspondiente a los trabajos de recopilación de información, trabajos de campo y resultados de ensayos de laboratorio. Esta fase es la última en el que se realiza la compilación y de la información y redacción del informe en el que se ha procesado la información, que consiste en la acumulación de datos, procesamiento de las hojas de cálculo, análisis y discusión para obtener las conclusiones y recomendaciones.

cuadro 1 Lista de implementos de trabajo.

CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Estación diferencial
1	Sismógrafo SeisMex24
1	Cable de Alimentación tipo C print.
1	Carrete Cable Triaxial Tigger
1	Adaptador Keyboard Seismic
1	Cable de 12 WW
24	Geófonos Geospace de 4.5 Hz.
1	Cable de contacto entre percutoresísmico y sismógrafo.
1	Comba de 18 libras.
1	Placa metálica de 25x25 cm.
1	Caja de herramientas.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

CRITERIOS DE ANÁLISIS

Las propiedades dinámicas (velocidad de corte V_s , velocidad de compresión V_p , módulo de corte, coeficiente de Poisson y módulo de Young) del material se han calculado en base a los valores de V_s y V_p usando las ecuaciones que se muestran a continuación.

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

EN ROCA

$$\rho = 1.516 * 10^{-2} * \sqrt{V_p} + 1.597$$

EN SUELO

$$\rho = 1.516 * 10^{-2} * \sqrt{V_p} + 1.3$$

ONDA DE CORTE NORMALIZADA

$$pa \ V_{s1} = ('vo \ 0,25). \ V_s$$

MODULO DE YOUNG DINAMICO

$$E_d = 2 * Gd * (1 + \mu)$$

MODULO DE COMPRESIBILIDAD DINAMICO

$$K_d = \frac{E_d}{3(1 - 2\mu)}$$

MODULO DE YOUNG ESTATICO

$$E_e = 0.97 * \left(\frac{E_d}{13000000} \right)^{0.141} * E_d$$

Donde:

ρ = Densidad del suelo o roca

V_s = Velocidad de onda de corte

V_p = Velocidad de onda de compresión

μ = Modulo de poisson.

P_a = Presión atmosférica.

PROSPECCION GEOFISICA DE REFRACCION SISMICA Y MASW

CUADROS DE INTERPRETACION DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Los criterios de análisis establecidos para la interpretación del presente estudio, fueron determinados según la experiencia de estudios efectuados por diversos autores y a los estándares nacionales de la ingeniería geotécnica, en la que se presentan las correlaciones de velocidad de ondas P y S asociados a depósitos de suelos y roca desarrollados por diversos autores e instituciones.

Recopilación de Martínez Vargas A. (1990)

Descripción	Vp (m/s)
Arena suelta sobre manto freático	245 – 610
Suelo blando	< 300
Arena suelta bajo el manto freático	45 - 1220

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Arenas y gravas	300 – 1000
Arena suelta mezclada con grava	455 – 1065
Rocas blandas, grava y arena	1000 – 2000
Grava suelta, húmeda	455 – 915
Roca compacta	2000 – 4000
Roca muy compacta	> 4000

Norma ASTM D5777 (1995)

Descripción	Vp (m/s)
Suelo intemperizado	204 - 610
Grava o arena seca	460 - 915
Arena saturada	1220 - 1830
Arcilla saturada	910 a 2750
Agua	1430 a 1665
Agua de mar	1460 a 1525
Arenisca	1830 a 3960
Esquisto, arcillas esquistosas	2750 a 4270
Tiza	1830 a 3960
Caliza	2134 a 6100
Granito	4575 a 5800
Roca metamórfica	3050 - 7000

Según la norma sísmo resistente E030, la cual clasifica los perfiles de suelo tomando en cuenta las propiedades mecánicas y dinámicas del suelo, el espesor del estrato y la velocidad de propagación de ondas de corte, los tipos de perfiles de suelos son cinco:

Parámetros del suelo según la norma E030 (Fuente: E030, 2018).

Tipo de Suelo	Velocidadde ondas de corte Vs30(m/s)	N(60) SPT	Resistencia al corte en condición no drenada Su
S0, Roca dura	$V_s > 1500$	-	-
S1, Roca o suelo muy rígido	$500 < V_s < 1500$	> 50	> 100 kPa
S2, Suelos intermedios	$180 < V_s < 500$	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3, Suelos blandos	$V_s < 180$	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4, Condiciones excepcionales	Clasificación basada en el EMS		

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

INTERPRETACIONES DE RESULTADOS

REFRACCIÓN SÍSMICA

De acuerdo a las características geológicas, litológicas y resultados de velocidades de ondas obtenidos en las secciones, los materiales que conforma el sector estudiado podemos definir el siguiente rango de velocidades de ondas compresionales:

<i>Depósitos de materiales recientes</i>		$300 < V_p < 750 \text{ m/s}$
<i>Suelo medianamente denso a rocas desintegradas</i>	.	$750 < V_p < 1500 \text{ m/s}$
<i>Rocas medianamente fracturadas</i>		$1500 < V_p < 3000 \text{ m/s}$
<i>Macizo Rocoso</i>		$3000 < V_p < 3000 \text{ m/s}$

MASW 2D

De la misma forma se toman en cuenta la información geológica y geotécnica recopilada se puede describir los perfiles obtenidos resultados de velocidades de ondas.

Tipo de Suelo	Clasificación del Suelo	Propiedades Promedio en los primeros 30 metros (V_{s30} *)		
		Velocidad V_s (m/s)	Resistencia a la Penetración estándar, NSTP	Resistencia al corte no drenado $S(\text{psf})$
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s \leq 760$	NSPT > 50	$S_u \geq 2000$
D	Suelo Rígido	$180 \leq V_s \leq 360$	$15 \leq \text{NSPT} \leq 50$	$1\ 000 \leq S_u \leq 2000$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	NSPT < 15	$S_u < 1000$

Fuente: Código Internacional de Construcción (IBC), 2015

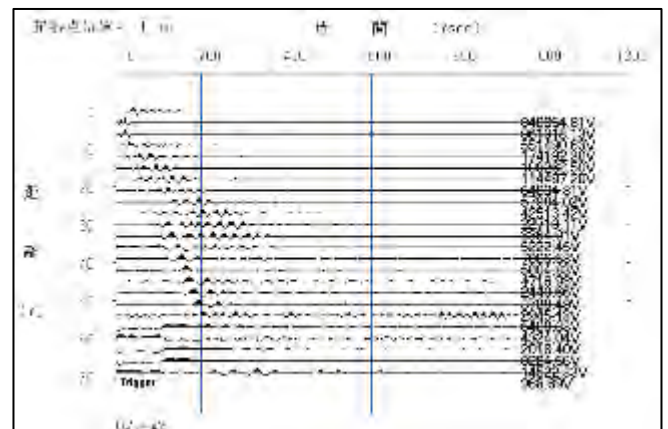
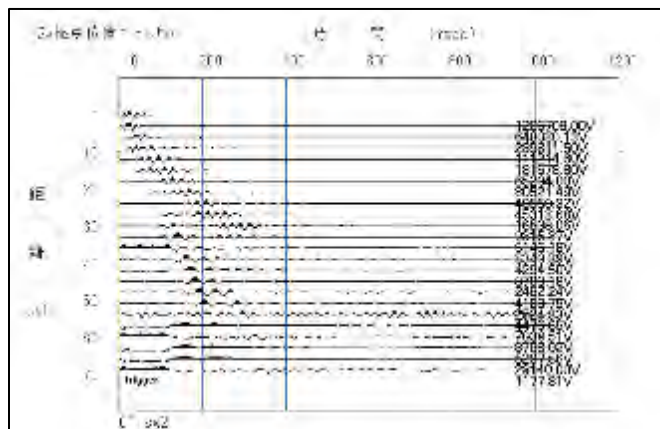
PROCESAMIENTO

Para el procesamiento de los datos de refracción sísmica y masw2D, se realizó en el programa SeisImager.

RESULTADO DEL ENSAYO DE MASW2D

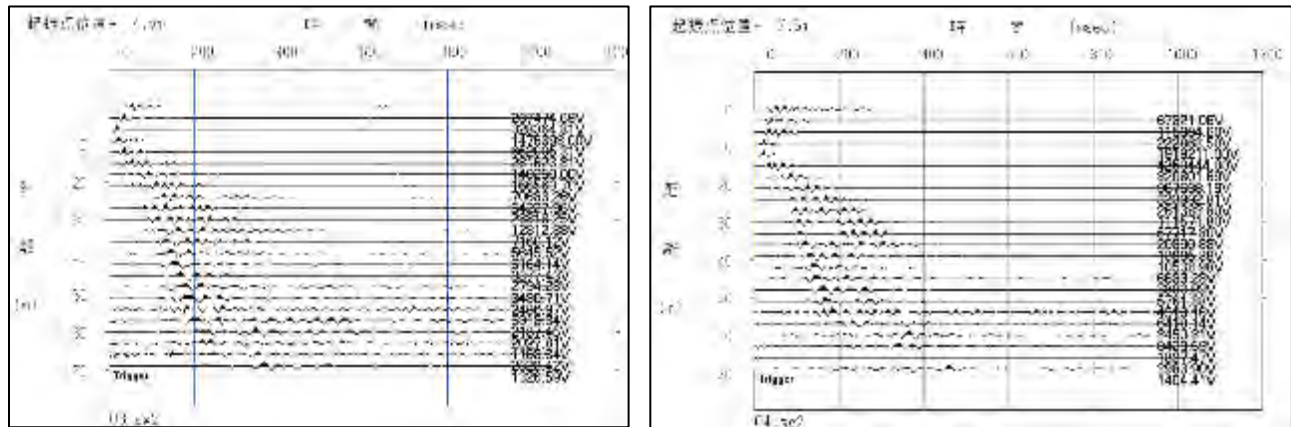
Para el procesamiento de la línea geofísica sísmica, se tiene:

Registro sísmico.

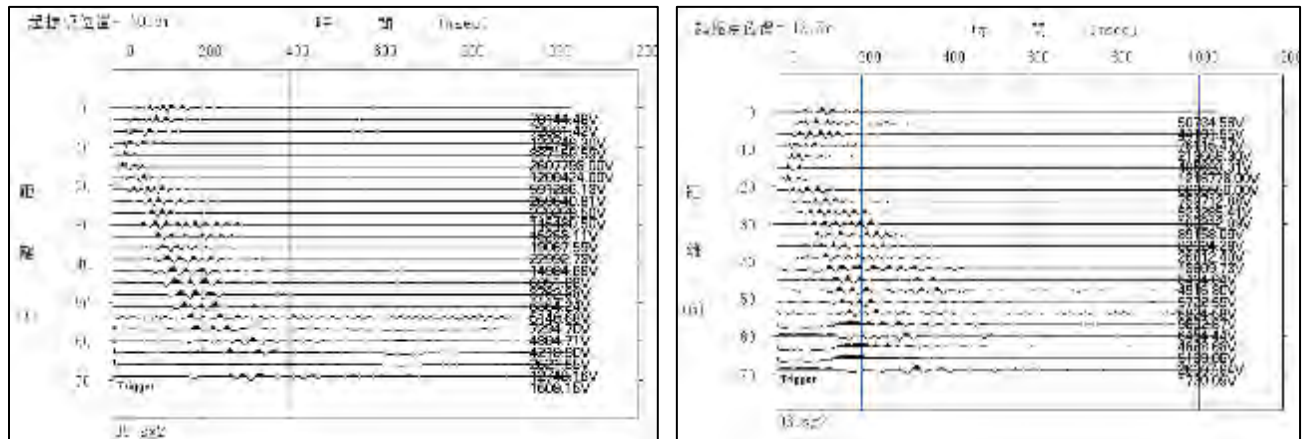


**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

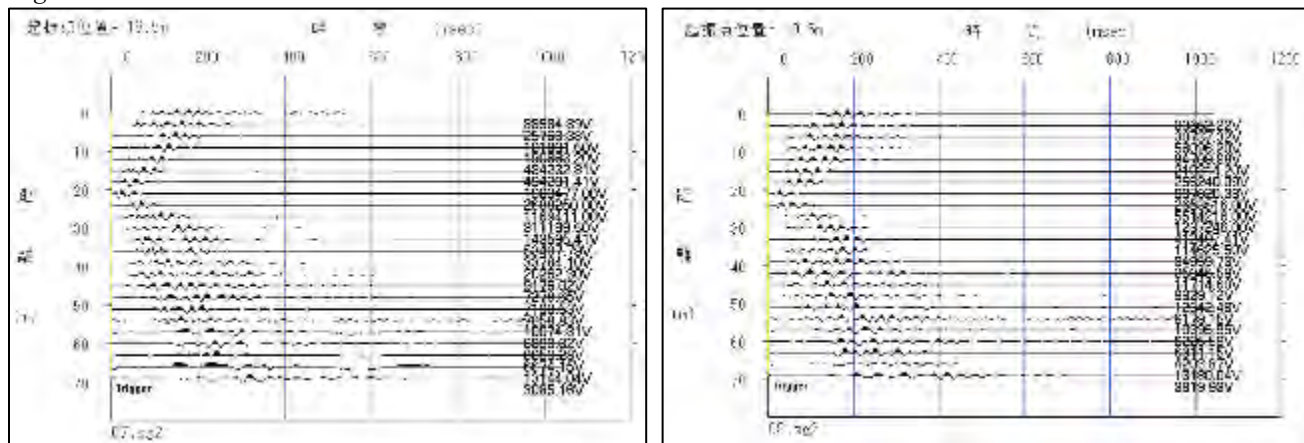
Registro sísmico.



Registro sísmico.

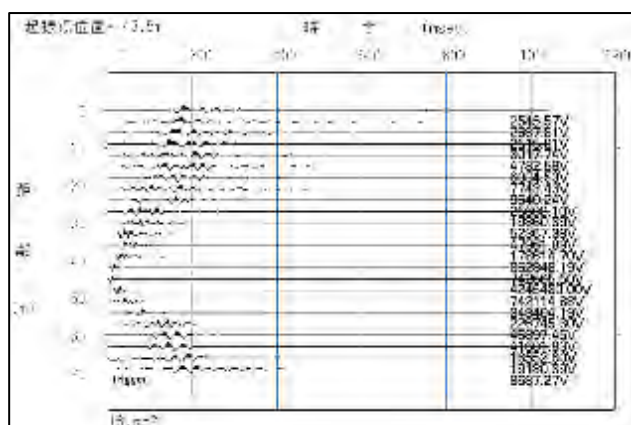
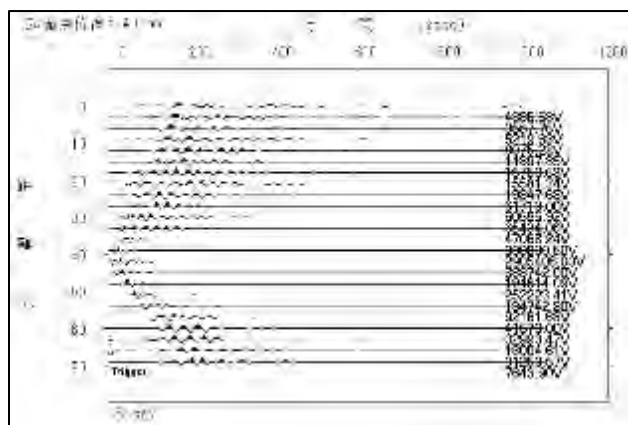


Registro sísmico.

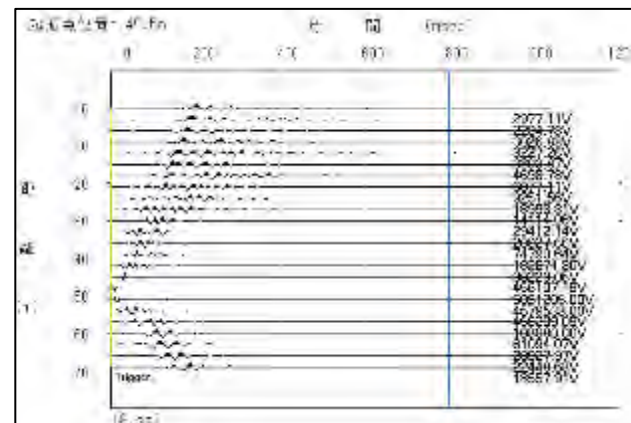
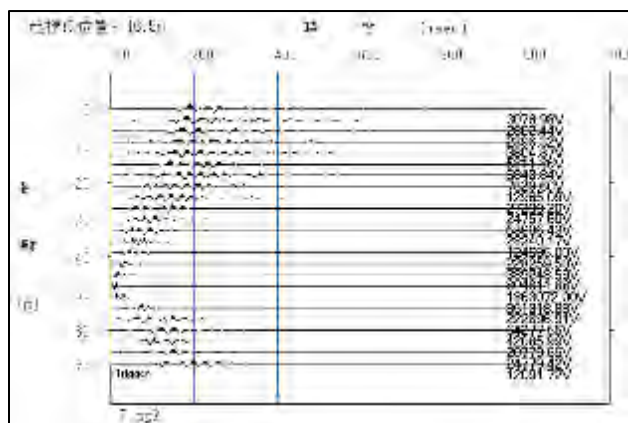


“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

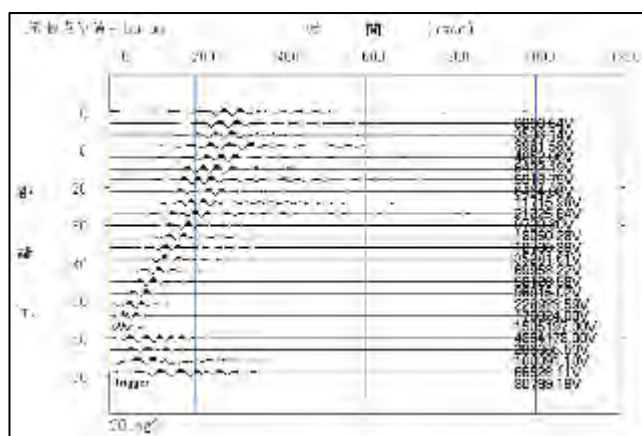
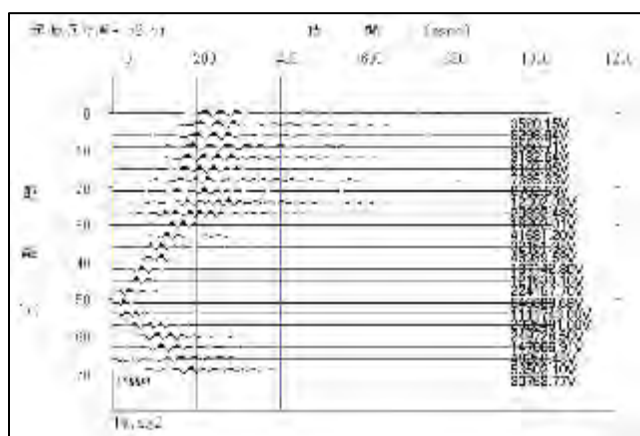
Registro sísmico.



Registro sísmico.

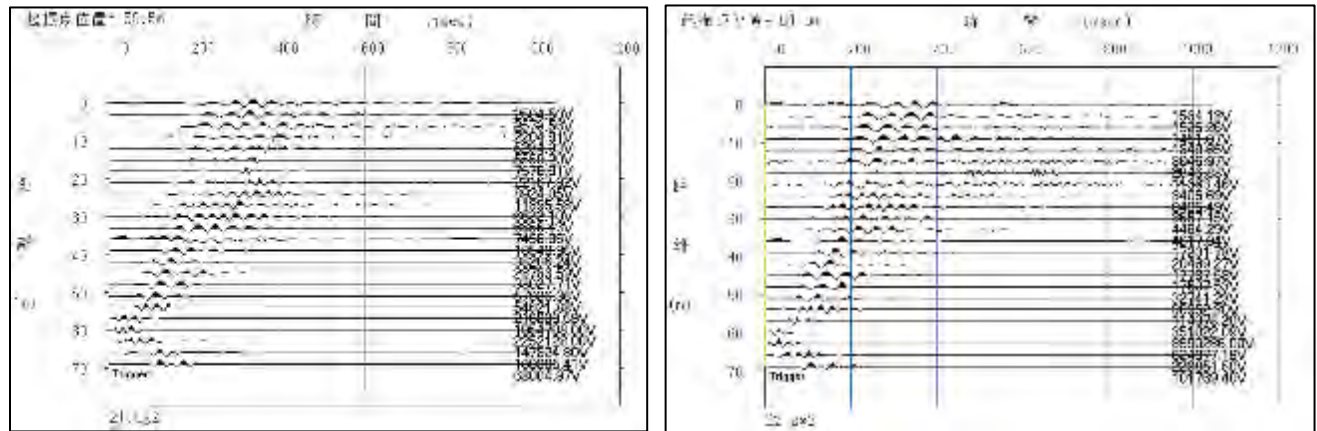


Registro sísmico.

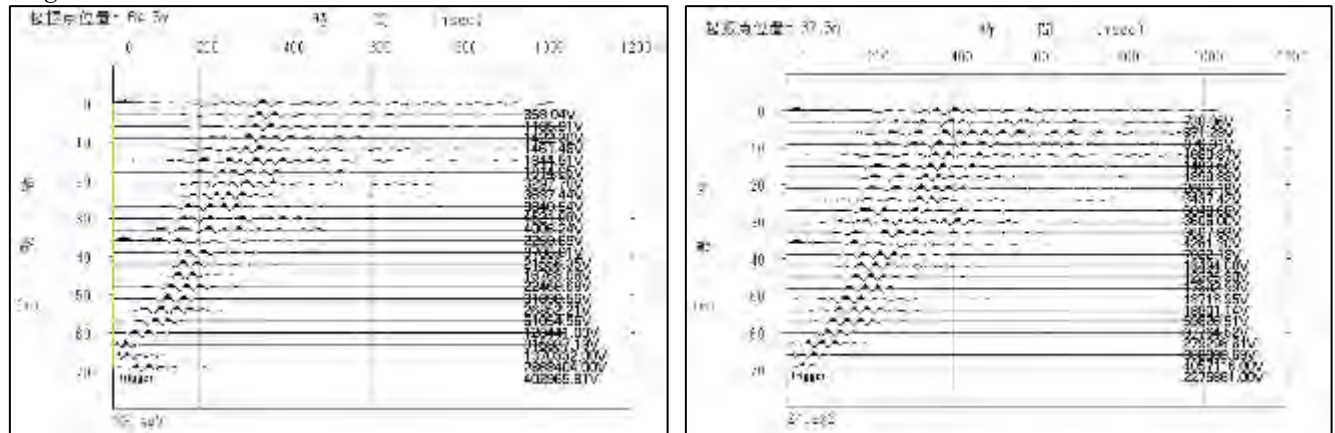


**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

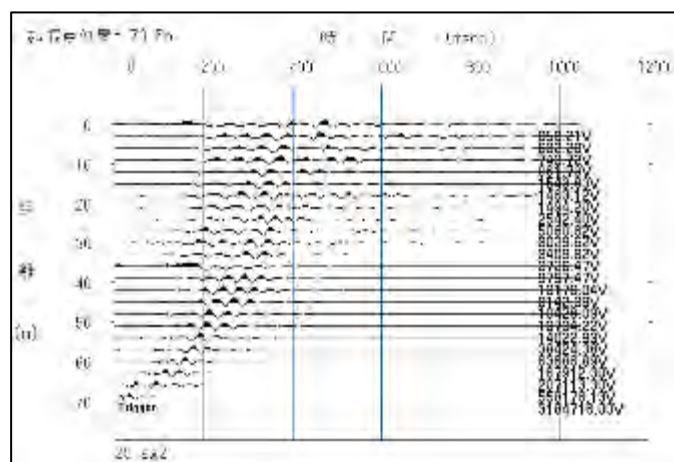
Registro sísmico.



Registro sísmico.

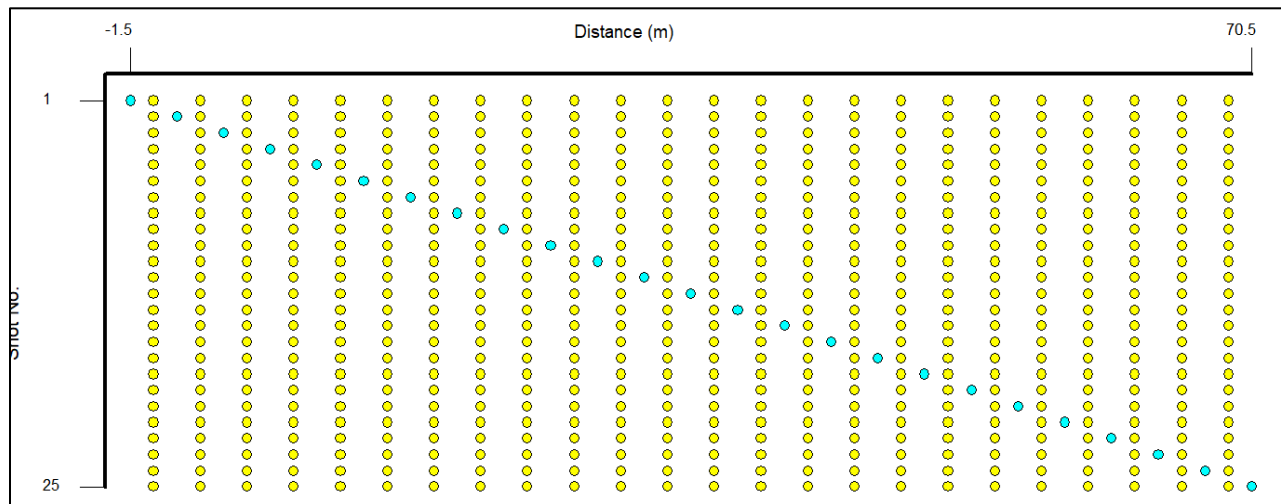


Registro sísmico.

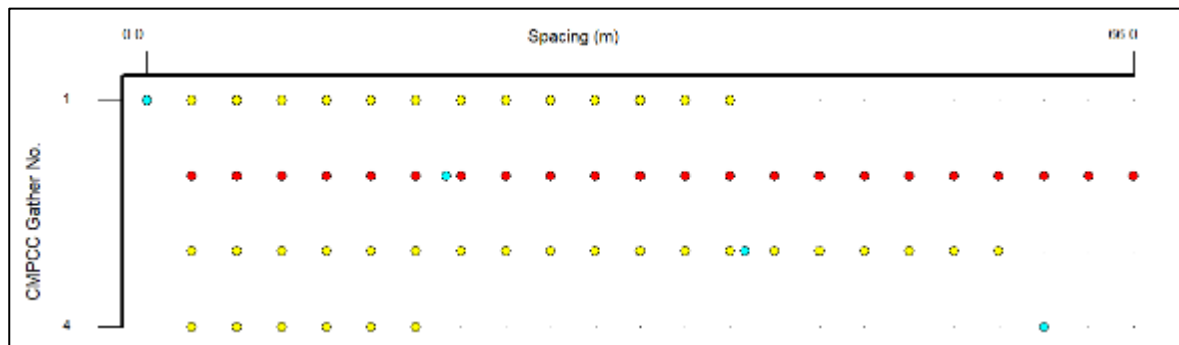


“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

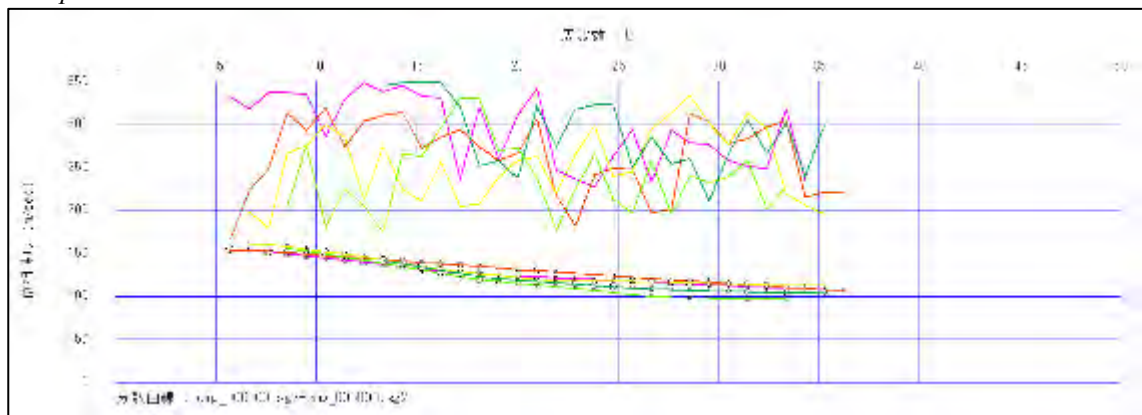
Distribución geométrica de los shots.



Generación de los CMP's

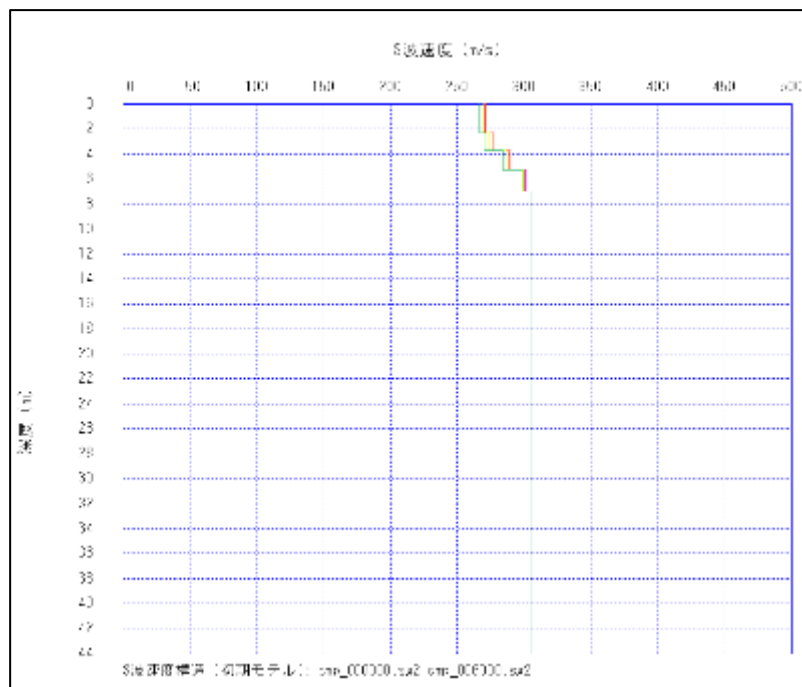


Registro de dispersión.

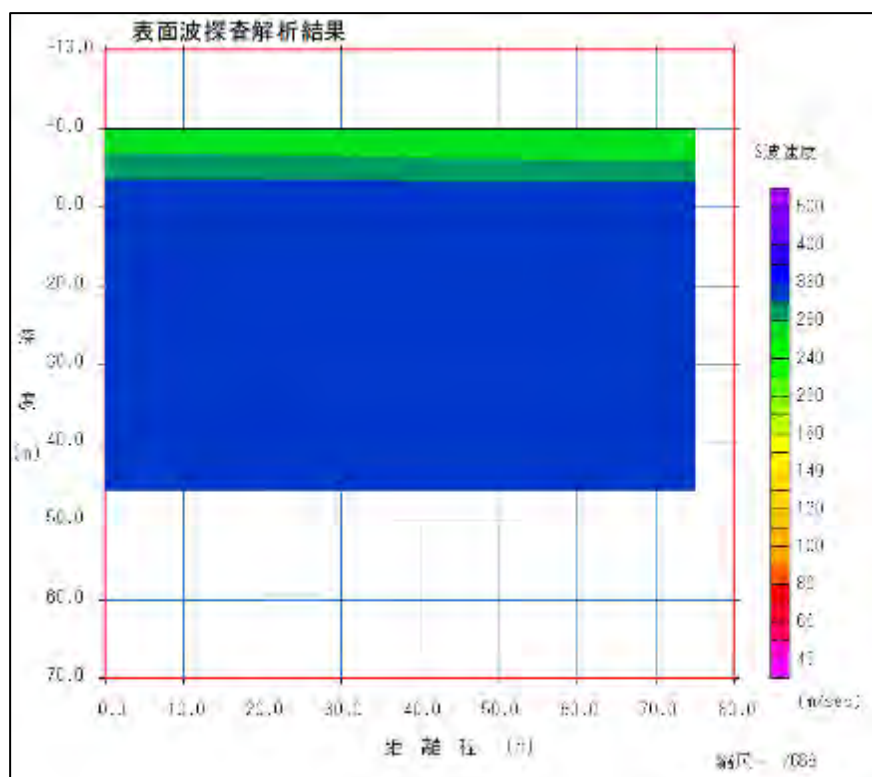


“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Perfiles 1D.

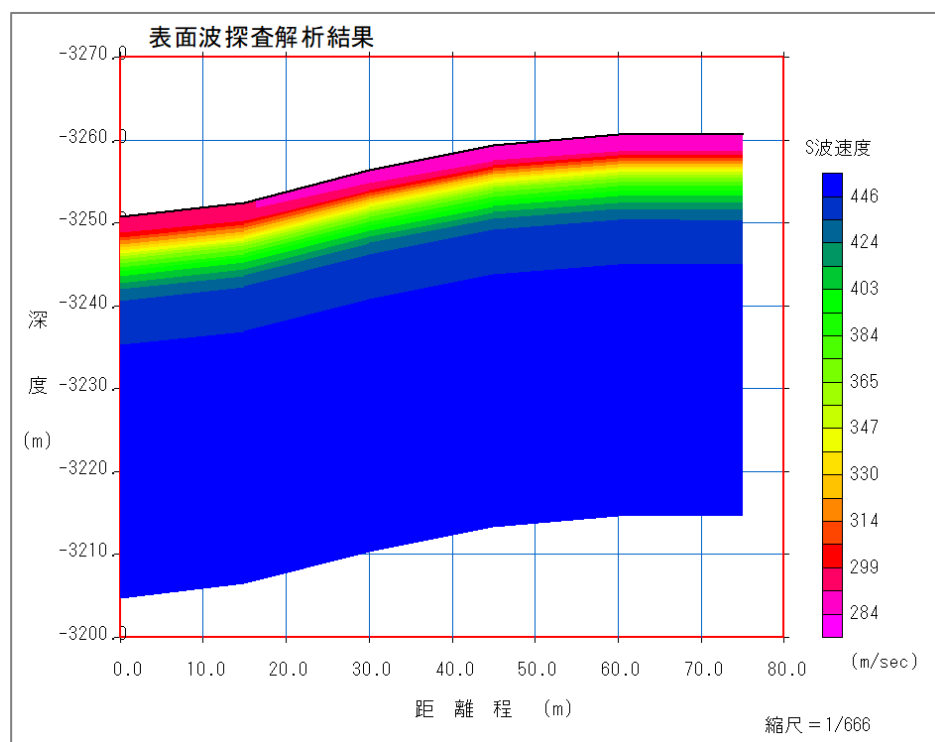


Sección 2D geofísica – Nativa.

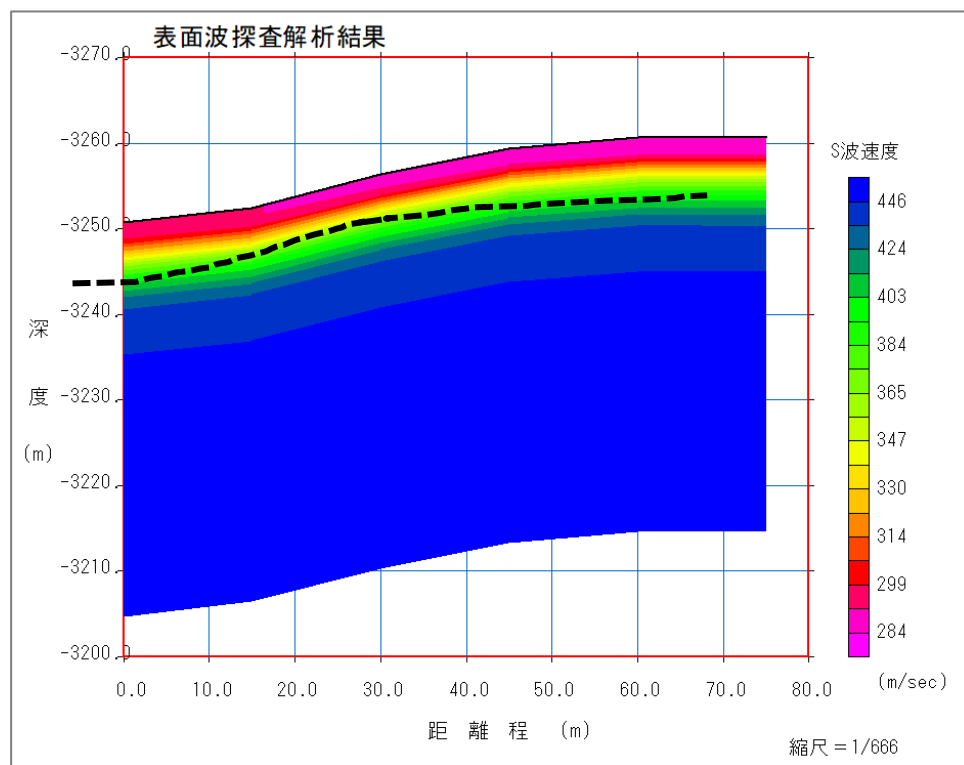


**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

Sección 2D geofísica –final.



Sección 2D geofísica –final interpretado (Según IBC2015).



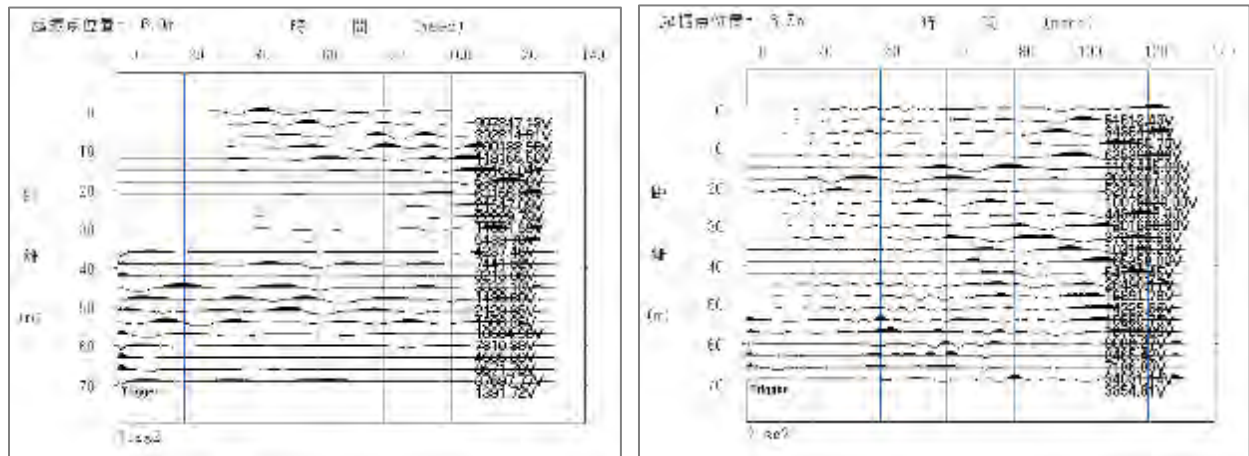
“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Para la interpretación de resultados se considera información bibliográfica, a partir del cuadro del IBC 2015. En el perfil de MASW2D, se puede reconocer dos capas, una primera capa de **suelo rígido**, descrito como: material granular compuesto por gravas en matriz de arenas arcillas y/o limos, con espesores que varían de 5.00 m hasta los 7.00 m con velocidades de onda S de 250 m/s a 360 m/s. La segunda capa de **SUSTRATOS ROCOSOS ALTERADOS**, localizados a partir de 7.00 m de profundidad, el cual se describe como: sustratos rocosos alterados y/o fracturados, con velocidades de onda P que varían entre 360 m/s hasta los 450 m/s. Proyectándose hasta mayores profundidades con velocidades superiores de 450 m/s.

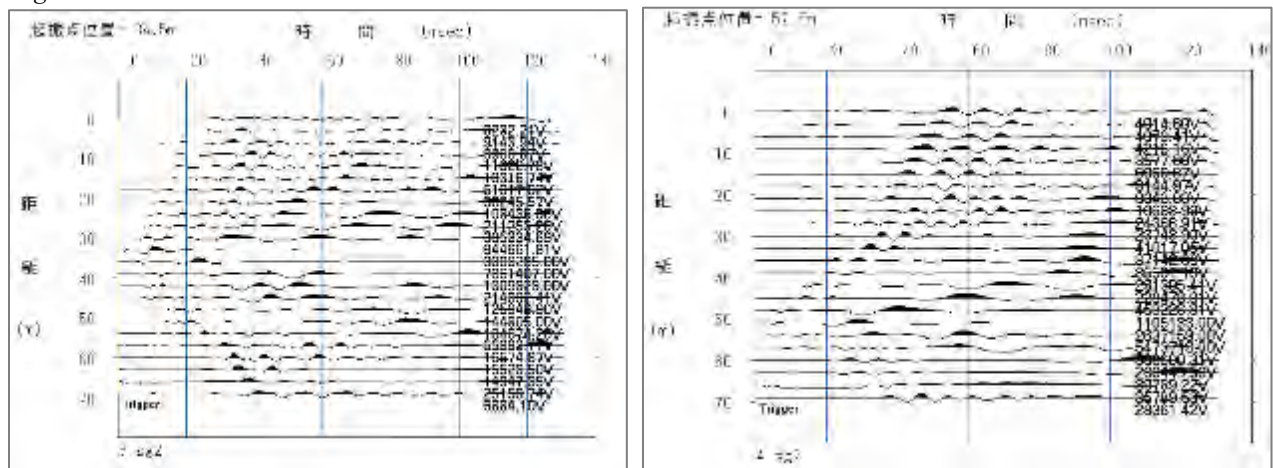
RESULTADO DEL ENSAYO DE REFRACCION SISMICA RS

Para el procesamiento de la línea geofísica sísmica, se tiene:

Registro sísmico.

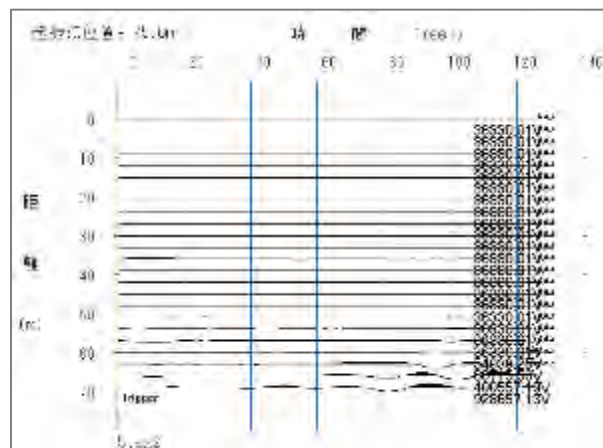


Registro sísmico.

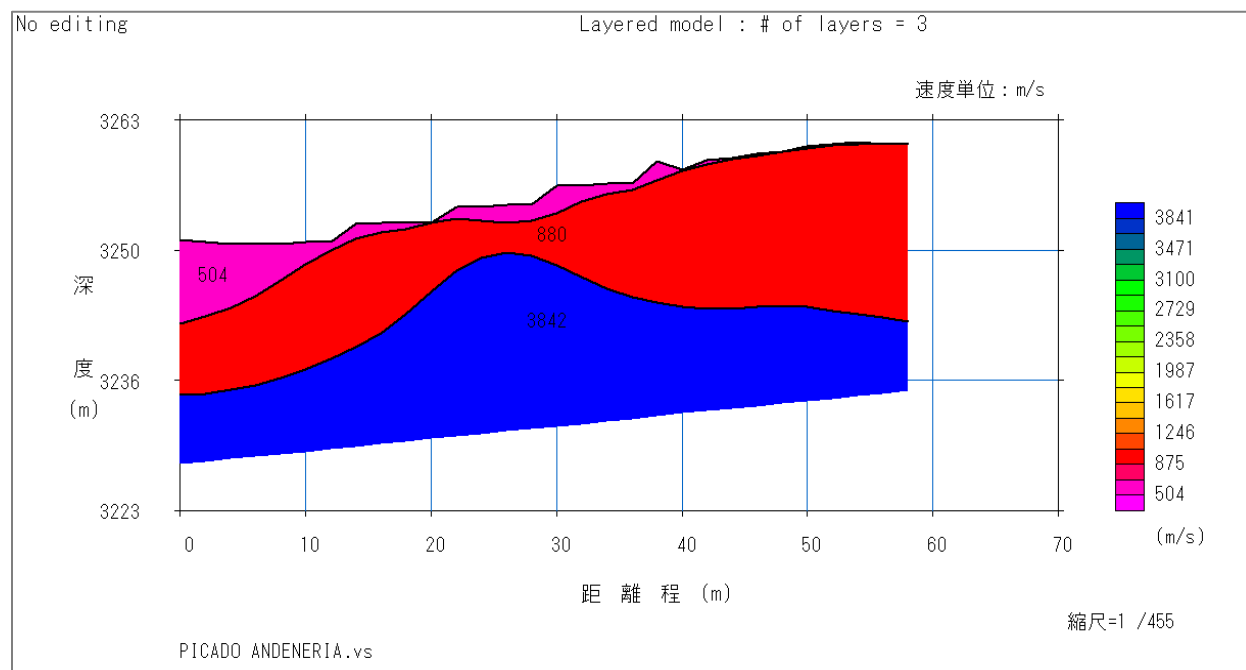


“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Registro sísmico.

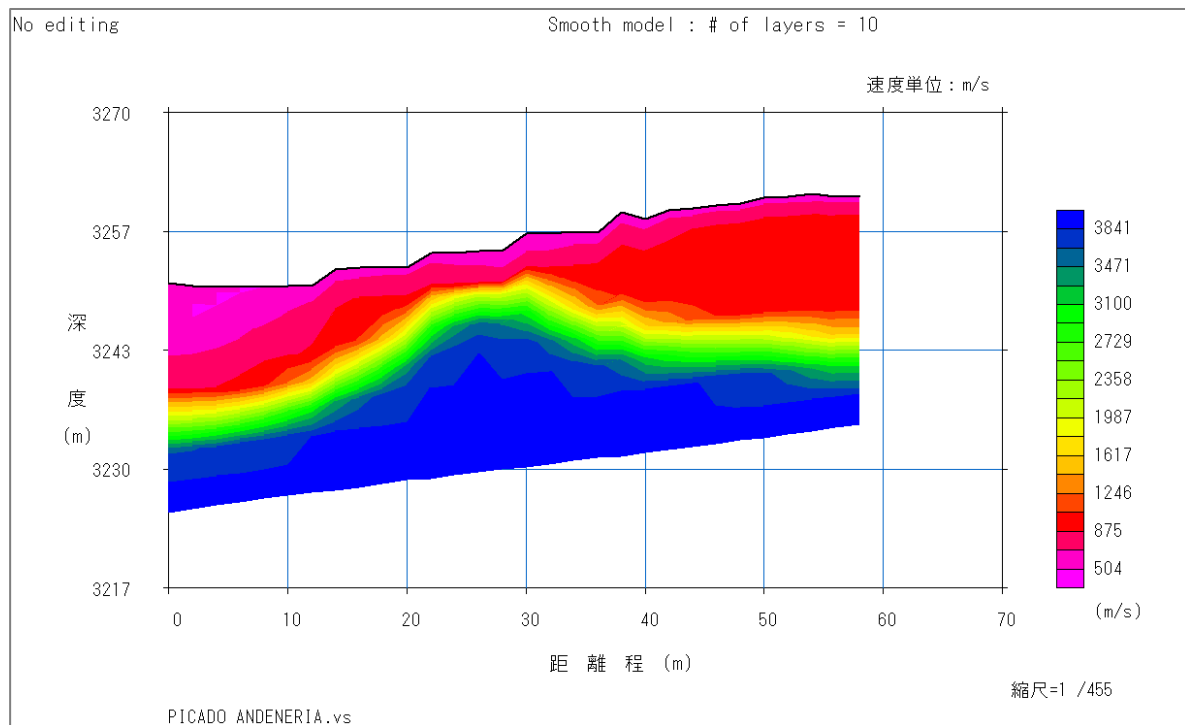


Perfil geofísico sin inversión.

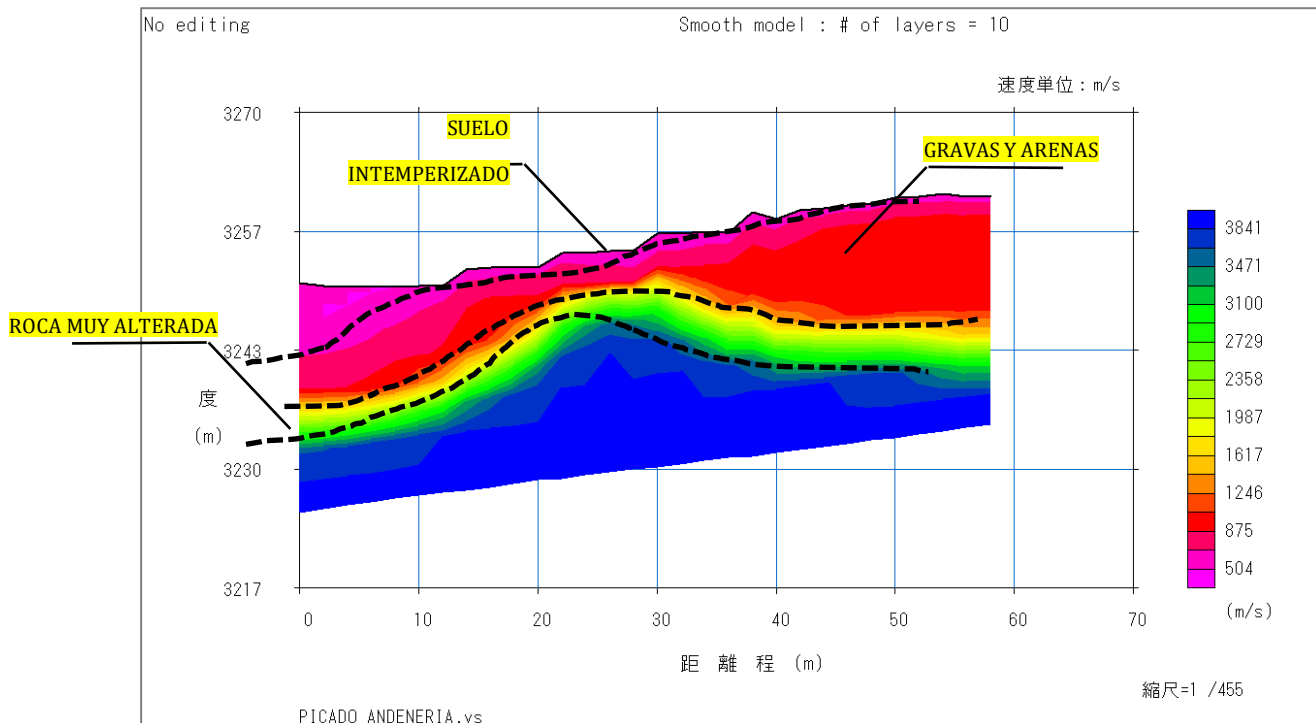


“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Perfil geofísico invertido.



Perfil geofísico interpretado.



“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Para la interpretación de resultados se considera información bibliográfica, a partir del cuadro 03 (ASTM D5777). En el perfil de refracción sísmica RS-01, se puede reconocer cuatro capas, una primera capa de suelo intemperizado, descrito como: material granular muy suelto compuesto por gravas en matriz de arenas arcillas y/o limos, con espesores que varían de 1.00 m hasta los 8.00 m con velocidades de onda P de 350 m/s a 600 m/s. La segunda capa de gravas y arenas secas se localiza a partir de 7.00 m de profundidad, el cual se describe como: materiales granulares compactos, con velocidades de onda P que varían entre 600 m/s hasta los 900 m/s. La tercera capa de rocas muy alteradas, se localiza a partir de 14.00 m de profundidad, el cual se describe como: sustratos rocosos alterados con tendencia a suelo residual, con velocidades de onda P que varían entre 900 m/s hasta los 2 000 m/s. La cuarta capa de rocas sanas, se localiza a partir de 18.00 m de profundidad, el cual se describe como: sustratos rocosos sanos de origen ígneo, con velocidades de onda P que varían entre 2 000 m/s a más, proyectándose hasta mayores profundidades con velocidades superiores de 3 841 m/s.

CORRELACION DE VP AL VS

La velocidad de propagación de las ondas P es casi dos veces mayor que la velocidad de las ondas S. La velocidad de propagación de las ondas sísmicas es distinta, dependiendo del tipo de suelo, siendo mayor la velocidad de las ondas P. Entre mayor es la rigidez del medio, los valores de velocidad para ondas P y S tienden a ser muy cercanos en un medio homogéneo, la velocidad de las ondas elásticas depende de la densidad de masa del suelo (ρ), y de los parámetros elásticos: módulo de elasticidad (E), cociente de Poisson (ν) y módulo de rigidez (G).

Según Kramer (1996), se tiene las siguientes correlaciones:

$$u = \frac{(Vp/Vs)^2 - 2}{2(Vp/Vs)^2 - 2} \quad (5)$$

Según Perez et al (2012), se tiene las siguientes correlaciones:

$$E = 1.8 * 10^{-3} * Vs^{2.17} \text{ (Mpa)} \quad (6)$$

$$G = 5.7 * 10^{-4} * Vs^{2.19} \text{ (Mpa)} \quad (7)$$

$$G = \rho * Vs^2 \text{ (Mpa)} \quad (8)$$

OBTENCION DE CAPACIDAD PORTANTE

Las correlaciones de la capacidad admisible con los datos obtenidos de la geo sísmica solo pueden ser usados de forma referencial y a un nivel de perfil del proyecto, por lo tanto, debe usarse con precaución, de igual manera se recomienda complementar estos estudios con los clásicos de la geotecnia. La capacidad admisible, se determinó mediante la teoría de Tezcan et al (2006 - 2011), la cual plantea que una vez

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

conocida la velocidad de corte V_s del terreno a diferentes profundidades y a la densidad del medio, se puede a través de una relación empírica llegar a conocer valores de carga admisible del terreno. Tezcan en el 2006 encontró a través de varios estudios, que incluyen datos de pozo, pruebas de laboratorio y de prospección geofísica, una expresión que concuerda consistentemente los resultados de la teoría clásica empleada para la investigación de dicho parámetro:

$$q_{ad} = 0.024 * \rho * V_s$$

Donde:

q_{ad} = Capacidad admisible en kPa

ρ = Peso específico del terreno kN/m³

V_s = Velocidades de las ondas S (m/s).

RESULTADO

Para el presente proyecto, ubicado en la comunidad de Raqchi, se realizaron 01 línea de refracción sísmica “RS” y MASW-2D, obteniendo los siguientes resultados:

se puede reconocer cuatro capas:

Una primera capa de suelo intemperizado, descrito como: material granular muy suelto compuesto por gravas en matriz de arenas arcillas y/o limos, con espesores que varían de 1.00 m hasta los 8.00 m con velocidades de onda P de 350 m/s a 600 m/s.

La segunda capa de gravas y arenas secas se localiza a partir de 7.00 m de profundidad, el cual se describe como: materiales granulares compactos, con velocidades de onda P que varían entre 600 m/s hasta los 900 m/s.

La tercera capa de rocas muy alteradas, se localiza a partir de 14.00 m de profundidad, el cual se describe como: sustratos rocosos alterados con tendencia a suelo residual, con velocidades de onda P que varían entre 900 m/s hasta los 2 000 m/s.

La cuarta capa de rocas sanas, se localiza a partir de 18.00 m de profundidad, el cual se describe como: sustratos rocosos sanos de origen ígneo, con velocidades de onda P que varían entre 2 000 m/s a más, proyectándose hasta mayores profundidades con velocidades superiores de 3 841 m/s.

Los valores complementarios obtenidos son referenciales, debido a que todos los valores se obtuvieron por correlación al V_p y V_s . Los valores obtenidos son los siguientes:

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE
RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”**

PROF. (m)	VELOCIDAD DE ONDAS (m/s)	VELOCIDAD DE ONDA P (m/s)	COEFICIENTE DE POISSON (ν) [Kramer 1996]	MODULO DE YOUNG E (Mpa) [Perez et al 2012]	MODULO DE CORTE G (Mpa) [Perez et al 2012]	DEL EMS		qa (kg/cm ²) [Tezcan et al 2006]	
						DENSIDAD NATURAL		PARA CUALQUIER GEOMETRIA DE CIMENTACION	
						g/cm ³	Kn/m ³	kPa	kg/cm ²
5.00	280	550	0.33	367.8	130.4	2.10	20.59	138.35	1.41
10.00	360	870	0.40	634.5	226.0	2.10	20.59	177.88	1.81
15.00	400	1246	0.44	797.5	284.7	2.10	20.59	197.65	2.02
20.00	424	1987	0.48	905.0	323.4	2.10	20.59	209.51	2.14
25.00	446	2348	0.48	1010.0	361.3	2.10	20.59	220.38	2.25
30.00	600	3471	0.48	1922.5	691.9	2.10	20.59	296.47	3.02
PROFUNDIDAD		H	30.0		Ts				
Vs promedio		(m/s)	418		0.29				

4.4. Matriz de consistencia

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

Tesis de Investigación: “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS INCA DEL ACCESO AL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RAQCHI - SAN PEDRO- CANCHIS-CUSCO”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES Y DIMENSIONES
<i>P.G.</i> ¿Son estables los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?	<i>O.G.</i> Determinar la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	<i>H.G.</i> los muros incas del acceso al parque arqueológico de Raqchi son inestables.	X: Variable independiente Características de los muros y suelos Dimensiones: ✓ Propiedades de los suelos ✓ Estructura de los muros ✓ Peso de los muros inca y cargas vehiculares Y: Variable dependiente Y1: Estabilidad de los muros: Dimensiones: ✓ Factores de seguridad ✓ Propuesta de diseño
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	
<i>P.E.1.</i> ¿Cómo influyen los parámetros de resistencia al corte del suelo en la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?	<i>O.E.1.</i> Determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo en la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	<i>H.1.</i> La resistencia al corte sobre cada superficie de falla del talud es menor a las fuerzas ejercidas por la masa del suelo. Es decir, el factor de seguridad al deslizamiento resulta menor a 1.5. Esta característica influye en el deslizamiento de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	
<i>P.E.2.</i> ¿Qué efecto produce las cargas vehiculares y el peso de los muros inca en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?	<i>O.E.2.</i> Determinar la carga vehicular y el peso de los muros inca como fuerzas externas y su influencia en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	<i>H.2.</i> La acción de las cargas vehiculares y el peso de los muros inca como fuerzas externas influyen en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	
<i>P.E.3.</i> ¿Qué efecto produce el comportamiento individual y en conjunto los tres andenes en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?	<i>O.E.3.</i> Determinar el comportamiento individual y en conjunto de los tres andenes en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	<i>H.3.</i> La acción individual y en conjunto de los tres andenes influye en la estabilidad del talud de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	
<i>P.E.4.</i> ¿Cómo influye la acción sísmica en la estabilidad de los muros inca ubicados en el acceso al parque arqueológico de Raqchi?	<i>O.E.4.</i> Evaluar la influencia de la acción sísmica en la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	<i>H.4.</i> La acción sísmica reduce la resistencia al esfuerzo cortante en el suelo, comprometiendo la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	
<i>P.E.5.</i> ¿Qué técnica de refuerzo de suelos se puede aplicar para la mejorar la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi?	<i>O.E.5.</i> Desarrollar técnicas de refuerzo de suelos que se puede aplicar para mejorar la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	<i>H.5.</i> La técnica de columna de grava aumenta la resistencia al corte, la rigidez, la capacidad portante del suelo, mejorando la estabilidad de los muros inca del acceso al parque arqueológico de Raqchi.	

4.5. Planos

P1: Plano de ubicación – U-01

P2: Plano topográfico – TP-01

P3: Plano Arquitectónico – P-03

P4: Plano de Detalle - Estructural-Muros (1°,2°,3°)-Primer perfil (corte A-A') – P-04

P5: Plano de Detalle - Estructural- Muros (1°,2°,3°)-Segundo perfil (corte B-B') – P-05

P6: Plano de Detalle- Estructural- Muros (1°,2°,3°)-Tercer perfil (corte C-C') – P-06