UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025

PRESENTADO POR:
Br. DIEGO ALBERTO VERGARA VERA

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ASESOR:
Mg. Ing. MIJAIL ELIO ROZAS GÓMEZ

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** MIJAIL ELIO ROZAS GÓMEZ quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025

Presentado por: DIEGO ALBERTO VERGARA VERA DNI N° 75237834;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 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, 14 de OCTUBRE de 2026

Firma

Post firma MIJAIL ELIO ROZAS GÓMEZ.
Nro. de DNI 46035754
ORCID del Asesor 0000-0002-3582-2907

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:638306494

DIEGO VERGARA

ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN D...

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:638306494

Fecha de entrega
13 oct 2026, 9:46 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
13 oct 2026, 9:54 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS- BACH. VERGARA VERA DIEGO-REPOSITORIO.pdf

Tamaño del archivo
45.5 MB

355 páginas

55.789 palabras

290.627 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 10 palabras)

Fuentes principales

9% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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, María y Guillermo, por ser mis guías en el camino inmenso de vida y estar a mi lado en cada paso que doy en la búsqueda de mejorar como persona y profesional.

A mi hermana Shiomayra, por todo su apoyo constante e incondicional y por su confianza desmesurada haciendo posible este logro personal en mi camino profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, María y Guillermo, que me apoyan incondicionalmente para poder cumplir todas mis metas personales y académicas. A mi hermana Shiomayra, compañera de vida y lugar de enfoque. Ellos son la motivación que me ha impulsado siempre a perseguir mis metas y ser mejor cada día. También son los que desde un principio fueron el soporte emocional y económico para enfocarme en mis metas.

Le doy las gracias a mi asesor, Mgt. Ing. Mijail Elio Rozas Gómez, por sus consejos y predisposición, sin su contribución a este trabajo de investigación no habría sido posible concretar este objetivo tan personalmente significativo. Agradezco su importante guía y sus consejos, que estarán presentes en mi memoria en mi futuro profesional.

A todos los ingenieros que fueron parte de mi formación en la etapa de universitario, a todos ellos les doy las gracias por las herramientas académicas valiosas brindadas, necesarias para poder estar en esta etapa y enfrentar los futuros retos por venir. Asimismo, agradezco al Ing. Yelsin Jordan Ugarte por dar facilidades en el uso de su laboratorio y todas sus sugerencias y consejos para la realización exitosa de este trabajo.

Agradezco a toda mi familia, que siempre ha estado pendiente de mis pasos en este camino profesional. De la misma forma a mis amigos Luis y Julio, los cuales fueron soporte para poder cumplir este y otros objetivos planteados en mi vida. Gracias por el tiempo compartido, los trabajos y proyectos realizados en conjunto y las historias vividas.

Para concluir, expreso mi gratitud a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco que mediante su rigor me ha impulsado a la excelencia, y ha hecho posible la consecución de esta meta personal en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTOS iii
ÍNDICE GENERAL iv
ÍNDICE DE TABLAS viii
ÍNDICE DE FIGURAS x
RESUMEN xiv
ABSTRACT xv
INTRODUCCIÓN 1
Capítulo I: GENERALIDADES 3
1.1. Justificación de la investigación 3
1.2. Planteamiento del problema 4
1.2.1. Situación Problemática 4
1.3. Formulación del problema de investigación 5
1.3.1. Problema general 5
1.3.2. Problemas Específicos 5
1.4. Objetivos de la investigación 6
1.4.1. Objetivo general 6
1.4.2. Objetivos Específicos 6
1.5. Delimitación e importancia 6
1.5.1. Delimitación geográfica 6
1.5.2. Delimitación Temporal 7
1.5.3. Importancia 8
Capítulo II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL 9
2.1. Antecedentes de la Investigación 9
2.1.1. A nivel internacional 9
2.1.2. A nivel nacional 11
2.1.3. A nivel regional 12
2.2. Marco conceptual 12
2.2.1. Suelos 12
2.2.2. Suelos Expansivos 16
2.2.3. Propiedades Geotécnicas Índice de Suelos 18
2.2.4. Arcillas 28

2.2.5. Mecánica de la Expansión de Suelos 34
2.2.6. Métodos de Cálculo de la Presión de Expansión 37
2.2.7. Correlaciones para Calcular la Presión de Expansión 43
2.3. Hipótesis 46
2.3.1. Hipótesis General. 46
2.3.2. Hipótesis Específicas 46
2.4. Identificación de variables e indicadores 46
2.4.1. Variable Independiente 46
2.4.2. Variable Dependiente 46
2.4.3. Operacionalización de variables 46
2.5. Definición de Términos Básicos 48
Capítulo III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 51
3.1. Ámbito geográfico 51
3.2. Nivel de Estudio de la investigación 51
3.3. Tipo y Enfoque de investigación 51
3.4. Diseño de investigación 52
3.5. Unidad de análisis 52
3.6. Universo y Población de estudio 52
3.7. Muestra 53
3.7.1. Tipo de muestreo 53
3.7.2. Tamaño de muestra 54
3.8. Técnicas de Recolección de Datos e Información 55
3.8.1. Técnicas 55
3.8.2. Análisis documental. 55
3.8.3. Instrumento. 56
3.9. Técnicas de análisis e interpretación de la información 56
3.9.1. Técnicas de procesamiento. 56
3.9.2. Análisis de datos. 56
3.10. Descripción de ensayos realizados 59
3.10.1. Extracción de bloques de suelo inalterados - NTP 339.151 59
3.10.2. Granulometría del Suelo - NTP 339.128 60
3.10.3. Límites de consistencia - NTP 339.129 62
3.10.4. Humedad Natural - NTP 339.127 66

3.10.5. Gravedad Específica de Partículas Sólidas - NTP 339.131 67
3.10.6. Peso Unitario Natural - NTP 339.139 68
3.10.7. Presión de Expansión por expansión controlada NTP 339.170 69
3.11. Diagrama de flujo del proceso de investigación 70
Capítulo IV: RECOLECCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN 72
4.1. Recolección de datos 72
4.1.1. Identificación de las zonas a estudiar 72
4.1.2. Selección y recolección de muestras 74
4.2. Resultados de ensayos de laboratorio 77
4.2.1. Resultados de caracterización, propiedades índice y sedimentación 77
4.2.2. Resultados del ensayo de expansión controlada 80
4.3. Resultados de presión de expansión por métodos indirectos 81
4.4. Relación de las presiones de expansión experimental y estimada 84
4.4.1. Resultados para Nayak y Christensen 84
4.4.2. Resultados para Sabtan 94
4.4.3. Resultados para Komornik y David 104
4.4.4. Resultados para Vijayvergiya y Ghazzaly 113
4.4.5. Resultados para Jiménez Salas 123
Capítulo V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 134
5.1. Análisis de la caracterización geotécnica de los suelos 134
5.1.1. Clasificación de los suelos 134
5.1.2. Propiedades índice y distribución granulométrica 135
5.1.3. Implicancia de las propiedades geotécnicas de las muestras en la expansión del suelo…… 137
5.2. Ensayo de expansión controlada y presión de expansión experimental 139
5.2.1. Presión de expansión experimental 139
5.2.2. Relación entre propiedades índice y presión experimental 140
5.3. Relación de la presión de expansión por métodos empíricos y método directo 143
5.3.1. Índice de concordancia de los modelos empíricos 143
5.3.2. Análisis del error de estimación 144
5.3.3. Análisis de subestimación y sobrestimación 146
5.3.4. Análisis de residuos y normalidad 148
5.3.5. Correlación entre valores experimentales y estimados 150

5.4. Ajuste local a los modelos de estimación de presión de expansión.....152
Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 154
6.1. Conclusiones.....154
6.2. Recomendaciones 156
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....158
ANEXOS 161
Anexo N°01: Matriz de consistencia 162
Anexo N°02: Mapa de ubicación de las zonas de estudio 163
Anexo N°03: Ensayos de laboratorio - caracterización del suelo.....164
Anexo N°04: Ensayos de laboratorio – propiedades índice del suelo 196
Anexo N°05: Ensayos de laboratorio – granulometría por sedimentación.....228
Anexo N°06: Ensayos de laboratorio – expansión controlada del suelo 260
Anexo N°07: Cálculo estadístico del Índice de concordancia Willmott 292
Anexo N°08: Cálculo estadístico del Error y sesgo.....297
Anexo N°09: Cálculo estadístico del Coeficiente de correlación y determinación.....303
Anexo N°10: Panel fotográfico.....308
Anexo N°11: Certificados de calibración de equipos de laboratorio.....322
Anexo N°12: Certificados de uso de laboratorio 339

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Actividad de minerales de arcilla.* 22
Tabla 2. *Gravedad específica de algunos suelos.* 24
Tabla 3. *Simbología del sistema unificado de clasificación de suelos.* 26
Tabla 4. *Simbología del sistema unificado de clasificación de suelos. (ASTM 96)*.....27
Tabla 5. *Fórmulas de correlación para el cálculo de la presión de expansión.* 45
Tabla 6. *Operacionalización de variables.* 47
Tabla 7. *Valores de Z_a en base al nivel de confianza.* 54
Tabla 8. *Coordenadas de la calicata en el APV Villa el Sol – San Jerónimo* 75
Tabla 9. *Coordenadas de la calicata en el C.P. Huacarpay - Lucre*.....76
Tabla 10. *Coordenadas de la calicata en el APV Los Prados – Alto Qosqo*.....77
Tabla 11. *Compilado de resultados de ensayos de caracterización y propiedades índice.*.....79
Tabla 12. Expansión de suelos de la A.P.V. Villa el Sol.....80
Tabla 13. *Expansión de suelos del C.P. Huacarpay*.....81
Tabla 14. *Expansión de suelos de la A.P.V. Los Prados* 81
Tabla 15. Presión de expansión por los métodos directos e indirectos.....83
Tabla 16. *Índice de concordancia Willmott para Nayak y Christensen.* 84
Tabla 17. *Indicadores de error para el modelo de Nayak y Christensen*.....85
Tabla 18. *Coeficientes de correlación Nayak y Christensen* 88
Tabla 19. *Indicadores estadísticos de Nayak y Christensen para Villa el Sol* 92
Tabla 20. *Indicadores estadísticos de Nayak y Christensen para Huacarpay* 93
Tabla 21. *Indicadores estadísticos de Nayak y Christensen para Los Prados*.....94
Tabla 22. *Índice de concordancia Willmott para Sabtan* 94
Tabla 23. *Indicadores de error para el modelo de Sabtan*.....95
Tabla 24. *Coeficientes de correlación Sabtan* 98
Tabla 25. *Indicadores estadísticos de Sabtan para Villa el Sol* 101
Tabla 26. *Indicadores estadísticos de Sabtan para Huacarpay* 102
Tabla 27. *Indicadores estadísticos de Sabtan para Los Prados*.....103
Tabla 28. *Índice de concordancia Willmott para Komornik y David*.....104
Tabla 29. *Indicadores de error para el modelo de Komornik y David*.....104
Tabla 30. *Coeficientes de correlación Komornik y David*.....108
Tabla 31. *Indicadores estadísticos de Komornik y David para Villa el Sol.* 111
Tabla 32. *Indicadores estadísticos de Komornik y David para Huacarpay.*.....112

Tabla 33. *Indicadores estadísticos de Komornik y David para Los Prados.* 113
Tabla 34. *Índice de concordancia Willmott para Vijayvergiya y Ghazzaly* 113
Tabla 35. *Indicadores de error para el modelo de Vijayvergiya y Ghazzaly.* 114
Tabla 36. *Coeficiente de correlación Vijayvergiya y Ghazzaly*.....117
Tabla 37. *Indicadores estadísticos de Vijayvergiya y Ghazzaly para Villa el Sol* 120
Tabla 38. *Indicadores estadísticos de Vijayvergiya y Ghazzaly para Huacarpay* 121
Tabla 39. *Indicadores estadísticos de Vijayvergiya y Ghazzaly para Los Prados.* 122
Tabla 40. *Índice de concordancia Willmott para Jiménez Salas.* 123
Tabla 41. *Indicadores de error para el modelo de Jiménez Salas.*.....123
Tabla 42. *Coeficientes de correlación Jiménez Salas*.....127
Tabla 43. *Indicadores estadísticos de Jiménez Salas para Villa el Sol.* 130
Tabla 44. *Indicadores estadísticos de Jiménez Salas para Huacarpay.* 131
Tabla 45. *Indicadores estadísticos de Jiménez Salas para Los Prados.* 132
Tabla 46. *Resumen de indicadores estadísticos para valores de presión de expansión estimada.* ..133
Tabla 47. *Clasificación del potencial de suelos expansivos* 137
Tabla 48. *Rangos típicos de presión de expansión* 139
Tabla 49. *Resumen de indicadores estadísticos para los modelos después del ajuste local* .152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Zonas de Muestreo en la Formación San Sebastián* 6
Figura 2. *Zonas de Muestreo en el depósito lacustre cuaternario en Lucre* 7
Figura 3. *Definición de los límites de Atterberg.* 14
Figura 4. *Estados del Suelo de acuerdo a su grado de saturación.* 16
Figura 5. *Curva de análisis granulométrico por tamizado* 18
Figura 6. *Análisis granulométrico con el hidrómetro – Ley de Stokes* 19
Figura 7. *Ensayo de límite líquido* 20
Figura 8. *Ensayo de límite plástico* 21
Figura 9. *Gráfica de Plasticidad* 28
Figura 10. *Tetraedro de Silicio y Láminas de Sílice* 29
Figura 11. *Grupos de hidroxilo y Capa octaédrica de Aluminio (Gibsita).* 30
Figura 12. Fotomicrografía de la Caolinita 31
Figura 13. Fotomicrografía de la Montmorillonita 32
Figura 14. Fotomicrografía de la Illita. 33
Figura 15. *Estructura moléculas de minerales de arcilla.* 33
Figura 16. *Zona Activa* 35
Figura 17. *Presión de expansión cero de una prueba de consolidación convencional* 41
Figura 18. *Presión de expansión cero de una prueba de expansión a volumen constante* 42
Figura 19. *Ubicación de las zonas de estudio (Población de estudio)* 53
Figura 20. *Diagrama de flujo del proceso de investigación.* 70
Figura 21. *Ubicación del APV Villa el Sol – San Jerónimo* 72
Figura 22. *Ubicación del C.P. Huacarpay - Lucre* 73
Figura 23. *Ubicación del APV Los Prados – Alto Qosqo* 74
Figura 24. *Ubicación de calicatas en el APV Villa el Sol – San Jerónimo* 74
Figura 25. *Ubicación de calicatas en el C.P. Huacarpay - Lucre* 76
Figura 26. *Ubicación de calicatas en el APV Los Prados – Alto Qosqo* 77
Figura 27. *Presión de expansión experimental vs Error relativo Nayak y Christensen – Villa el Sol* 85
Figura 28. *Presión de expansión experimental vs error relativo Nayak y Christensen – Huacarpay* 86
Figura 29. *Presión de expansión experimental vs error relativo Nayak y Christensen – Los Prados* 86
Figura 30. *Humedad inicial vs error relativo Nayak y Christensen – Villa el Sol* 87
Figura 31. *Humedad inicial vs error relativo Nayak y Christensen – Huacarpay* 87
Figura 32. *Humedad inicial vs error relativo Nayak y Christensen – Los Prados* 88

Figura 33. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Nayak y Christensen – Villa el Sol* 89
Figura 34. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Nayak y Christensen – Huacarpay* 90
Figura 35. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Nayak y Christensen – Los Prados* 90
Figura 36. *Ajuste local Nayak y Christensen para Villa el Sol* 91
Figura 37. *Ajuste local Nayak y Christensen para Huacarpay* 92
Figura 38. *Ajuste local Nayak y Christensen para Los Prados* 93
Figura 39. *Presión de expansión experimental vs error relativo Sabtan – Villa el Sol* 95
Figura 40. *Presión de expansión experimental vs error relativo Sabtan – Huacarpay* 96
Figura 41. *Presión de expansión experimental vs error relativo Sabtan – Los Prados* 96
Figura 42. *Humedad inicial vs error relativo Sabtan – Villa el Sol* 97
Figura 43. *Humedad inicial vs error relativo Sabtan – Huacarpay* 97
Figura 44. *Humedad inicial vs error relativo para Sabtan – Los Prados* 98
Figura 45. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Sabtan – Villa el Sol* 99
Figura 46. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Sabtan – Huacarpay* 100
Figura 47. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Sabtan – Los Prados* 100
Figura 48. *Ajuste local Sabtan para Villa el Sol* 101
Figura 49. *Ajuste local Sabtan para Huacarpay* 102
Figura 50. *Ajuste local Sabtan para Los Prados* 103
Figura 51. *Presión de expansión experimental vs error relativo Komornik y David – Villa el Sol* 105
Figura 52. *Presión de expansión experimental vs error relativo Komornik y David – Huacarpay* 105
Figura 53. *Presión de expansión experimental vs error relativo Komornik y David – Los Prados* 106
Figura 54. *Humedad inicial vs error relativo Komornik y David – Villa el Sol* 106
Figura 55. *Humedad inicial vs error relativo Komornik y David – Huacarpay* 107
Figura 56. *Humedad inicial vs error relativo Komornik y David – Los Prados* 107
Figura 57. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Komornik y David – Villa el Sol* 109
Figura 58. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Komornik y David – Huacarpay* 109

Figura 59. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Komornik y David – Los Prados* 110
Figura 60. *Ajuste local Komornik y David para Villa el Sol* 110
Figura 61. *Ajuste local Komornik y David para Huacarpay* 111
Figura 62. *Ajuste local Komornik y David para Los Prados* 112
Figura 63. *Presión de expansión experimental vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol* 114
Figura 64. *Presión de expansión experimental vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay* 115
Figura 65. *Presión de expansión experimental vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados* 115
Figura 66. *Humedad inicial vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol* 116
Figura 67. *Humedad inicial vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay* 116
Figura 68. *Humedad inicial vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados* 117
Figura 69. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol* 118
Figura 70. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay* 119
Figura 71. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados* 119
Figura 72. *Ajuste local Vijayvergiya y Ghazzaly para Villa el Sol* 120
Figura 73. *Ajuste local Vijayvergiya y Ghazzaly para Huacarpay* 121
Figura 74. *Ajuste local Vijayvergiya y Ghazzaly para Los Prados* 122
Figura 75. *Presión de expansión experimental vs error relativo Jiménez Salas – Villa el Sol* 124
Figura 76. *Presión de expansión experimental vs error relativo Jiménez Salas – Huacarpay* 124
Figura 77. *Presión de expansión experimental vs error relativo Jiménez Salas – Los Prados* 125
Figura 78. *Humedad inicial vs error relativo Jiménez Salas – Villa el Sol* 125
Figura 79. *Humedad inicial vs error relativo Jiménez Salas – Huacarpay* 126
Figura 80. *Humedad inicial vs error relativo Jiménez Salas – Los Prados* 126
Figura 81. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Jiménez Salas – Villa el Sol* 128
Figura 82. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Jiménez Salas – Huacarpay* 128
Figura 83. *Presión de expansión experimental y estimada mediante Jiménez Salas – Los Prados* 129
Figura 84. *Ajuste local Jiménez Salas para Villa el Sol* 129

Figura 85. *Ajuste local Jiménez Salas para Huacarpay* 130
Figura 86. *Ajuste local Jiménez Salas para Los Prados* 131
Figura 87. *Número de muestras con contenido de arcilla mayor al 50%.* 136
Figura 88. *Clasificación de cambio de potencial de volumen* 137
Figura 89. *Comparación de valores de actividad del suelo de las muestras de las tres zonas* 138
Figura 90. *Presión de expansión experimental vs la humedad inicial del ensayo de expansión controlada* 141
Figura 91. *Esquema conceptual del análisis de concordancia (Índice de desempeño Willmott)* 143

RESUMEN

Los suelos expansivos constituyen un problema geotécnico, pues generan presiones sobre las estructuras por cambios volumétricos asociados a variaciones de humedad. El objetivo de este estudio fue determinar la relación entre la presión de expansión obtenida mediante el ensayo de expansión controlada y la estimada con ecuaciones empíricas en tres tipos de suelos cohesivos del Cusco.

La investigación fue de enfoque cuantitativo, nivel correlacional y diseño no experimental. Se analizaron 32 muestras inalteradas extraídas de 17 calicatas en tres zonas: Villa el Sol – San Jerónimo, Huacarpay – Lucre y Los Prados – Alto Qosqo. Se realizaron ensayos de caracterización, propiedades índice y expansión controlada en edómetro según la NTP 339.170, cuyos resultados se compararon con los modelos de Nayak y Christensen, Sabtan, Komornik y David, Vijayvergiya y Ghazzaly, y Jiménez Salas. La capacidad predictiva se evaluó mediante el índice de concordancia de Willmott, análisis de errores y coeficientes de correlación.

Los modelos presentaron limitaciones, con sobreestimación en presiones bajas y subestimación en presiones altas. El modelo de Nayak y Christensen fue el más consistente en las zonas evaluadas (d = 0.555 a 0.677) y, con el ajuste local, alcanzó valores de d entre 0.881 y 0.985, aunque la mejora varió entre modelos. Se concluye que el uso de estos modelos en las zonas estudiadas requiere una calibración local, por la influencia de las condiciones geotécnicas propias de cada zona.

Palabras clave: Suelos expansivos, Suelos cohesivos del Cusco, Expansión controlada, Presión de expansión, Índice de plasticidad.

ABSTRACT

Expansive soils are a geotechnical concern, as they exert pressures on structures due to volumetric changes associated with variations in moisture content. The objective of this study was to determine the relationship between the swelling pressure obtained through the controlled swell test and that estimated using empirical equations for three types of cohesive soils in Cusco.

The research followed a quantitative approach, with a correlational level and a non-experimental design. Thirty-two undisturbed samples were extracted from 17 test pits in three areas: Villa El Sol – San Jerónimo, Huacarpay – Lucre, and Los Prados – Alto Qosqo. Characterization and index property tests were performed, along with controlled swell tests in an oedometer according to NTP 339.170, and the results were compared with the models of Nayak and Christensen, Sabtan, Komornik and David, Vijayvergiya and Ghazzaly, and Jiménez Salas. Predictive performance was evaluated using the Willmott index of agreement, error analysis, and correlation coefficients.

The models showed limitations, overestimating low pressures and underestimating high pressures. The Nayak and Christensen model was the most consistent across the evaluated areas (d = 0.555 to 0.677) and, after local adjustment, reached d values between 0.881 and 0.985, although the improvement varied among models. It is concluded that applying these models in the studied areas requires local calibration due to the influence of site-specific geotechnical conditions.

Keywords: Expansive soils, Cohesive soils in Cusco, Controlled swell test, Swelling pressure, Plasticity index.

INTRODUCCIÓN

En la práctica de la ingeniería geotécnica, de cimentaciones y de infraestructuras viales, el comportamiento del suelo de soporte constituye un factor determinante para la estabilidad, durabilidad y seguridad de las obras civiles. Entre las formaciones geotécnicamente complejas, los suelos cohesivos expansivos, principalmente aquellos con presencia de minerales arcillosos como las esmectitas y montmorillonitas, presentan cambios volumétricos severos al experimentar variaciones en su humedad. Este fenómeno genera presiones de hinchamiento elevadas que derivan en fisuraciones, agrietamientos y fallas prematuras en edificaciones ligeras, pavimentos y obras de contención, traduciéndose en sustanciales pérdidas económicas para la sociedad.

Los suelos expansivos son aquellos que presentan un cambio de volumen considerable debido a efectos físicos y químicos en su estructura interna, son considerados especiales o problemáticos en la mayoría de la bibliografía y normas debido a los inconvenientes asociados a estos en la práctica de la ingeniería civil (Roca & Tomalá, 2023). Los suelos que tienden a presentar problemas de expansión generalmente son suelos cohesivos con bajo grado de saturación y están compuestos de materiales finos (limos y arcillas). Los cambios volumétricos que los suelos cohesivos pueden experimentar suelen causar daños mayores a las estructuras ligeras apoyadas sobre estos, los cuales sufren deformaciones considerables, y suelen provocar que la estabilidad de los componentes estructurales y no estructurales se vea comprometida, viéndose reflejada en la aparición de grietas y deformaciones no previstas.

Los factores que influyen en el potencial expansivo de los suelos incluyen algunas propiedades como la granulometría del material, la plasticidad, la densidad y la relación de vacíos; asimismo, influyen los factores ambientales (clima, agua subterránea, vegetación y drenaje) y estados de esfuerzos presentes en el subsuelo (Nelson & Miller, 1992). Otro factor importante a considerar es el tipo de mineral arcilloso y los cationes de adsorción, los cuales intervienen en la capacidad que tiene tal arcilla de expandirse.

Estos suelos expansivos presentan factores importantes para su evaluación como el potencial de expansión, índice de expansión y la presión de expansión. Un parámetro esencial en la caracterización de los suelos arcillosos expansivos es la presión de hinchamiento o expansión, definida como el esfuerzo que ejerce una muestra del material cohesivo arcilloso al ser sometida a un incremento de su humedad en condiciones de volumen constante, estudiado

desde comienzos del siglo XX, dadas las afectaciones halladas y demostradas ocurridas a un gran número de estructuras. (Leal Vargas, 2019).

Los problemas debidos a suelos expansivos se han detectado en numerosos países, específicamente en áreas donde la combinación de arcillas no saturadas y cambios de humedad han causado grandes afectaciones, transformándose en un problema de enorme importancia.

En la bibliografía técnica existente podemos encontrar diversos métodos y técnicas propuestos para la evaluación del potencial y la presión expansiva de arcillas, principalmente basados en las propiedades geotécnicas índice, siendo uno de los métodos más utilizados el propuesto por Holtz y Gibbs (1956). Algunos autores han propuesto distintos métodos indirectos a fin de poder predecir la magnitud del hinchamiento de un suelo (Nayak y Christensen, 1971; Sabtan, 2005; Komornik y David, 1969; Popescu; Zacharias y Ranganathan). No obstante, la mayoría de estos métodos no logran ser aplicables, ya que fueron formulados para condiciones geológicas diferentes. Algunos de estos modelos se generaron a partir de ensayos en muestras de arcilla remoldeadas, o bien no se tuvieron en cuenta elementos cruciales para determinar valores más precisos de la presión de expansión.

En el Cusco, son muy limitados los datos que podemos encontrar en estudios sobre la expansión de suelos arcillosos que nos ayuden a zonificar o establecer métodos simplificados los cuales aceleren una evaluación previa del potencial que tiene un suelo para generar daños a estructuras por el hinchamiento, es por eso que se desarrolla esta investigación cuyo objetivo es el de estudiar algunos suelos cohesivos para definir el valor de la presión de expansión y correlacionar este valor con los métodos indirectos de cálculo de presión de expansión y así poder determinar si una fórmula empírica es utilizable en nuestro medio, basándonos en su correlación estadística con los valores que se hallen en el laboratorio y planteando formulaciones de ajuste o calibración local para mejorar el grado de ajuste al medio geológico del Cusco.

Capítulo I: GENERALIDADES

1.1. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación se centra en el análisis de los parámetros índice e hinchamiento de suelos cohesivos, específicamente en la correlación de los valores de la presión de expansión calculados por los métodos directos e indirectos.

Aunque el ensayo de expansión controlada en edómetro (NTP 339.170 / ASTM D4546) constituye el método directo, normalizado y más confiable, su ejecución demanda tiempos prolongados y costos elevados, lo que limita su aplicación masiva en estudios preliminares o proyectos de gran extensión territorial. Esta investigación proporciona una evaluación concreta sobre la confiabilidad de los métodos indirectos, mejorando la toma de decisiones geotécnicas y optimizando los procesos desde la etapa de diseño hasta la ejecución de la obra.

Existe la necesidad de profundizar en el conocimiento del comportamiento de las arcillas locales, dado que las ecuaciones empíricas internacionales suelen requerir calibración para las condiciones geotécnicas específicas de la región del Cusco. Este trabajo aporta evidencia empírica para fundamentar la validez de dichas metodologías indirectas y sienta las bases teóricas para la futura formulación de ecuaciones o zonificaciones predictivas ajustadas a nuestro medio.

La estimación oportuna y precisa de la presión de expansión contribuye a prevenir fallas patológicas, agrietamientos y deformaciones en las infraestructuras viales y edificaciones de la región. Esto se traduce en un incremento en la durabilidad de las obras públicas y privadas, así como en una reducción de costos por mantenimiento correctivo o reparaciones estructurales, impactando positivamente en el desarrollo socioeconómico local.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Situación Problemática

Para estructuras fundadas sobre suelos problemáticos como lo son los suelos expansivos, tales como edificaciones u obras lineales, el fenómeno de expansión produce daños severos que en muchos casos no son prevenidos. Para explicar la principal causa de la expansión de suelos, se parte de la concepción de la existencia de un cambio en el contenido de agua presente en el suelo, razón por la cual este cambio, junto con otras condiciones que lo acompañan, como el tipo de suelo y las presiones internas existentes, evidencia la necesidad de investigar más sobre este fenómeno debido a las pérdidas económicas considerables derivadas de la reparación de obras civiles, luego de un proceso de expansión o retracción que no fue prevista con un estudio previo a la ejecución.

Según la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), los suelos expansivos afectan a alrededor del 25% de las estructuras en los Estados Unidos, y las pérdidas económicas pueden ser mayores que las causadas por inundaciones, terremotos y tornados (Roca & Tomalá, 2023). Los costos anuales asociados a cimentaciones problemáticas en estructuras de ingeniería civil construidas sobre estos suelos ascienden a miles de millones de dólares en todo el mundo (Mosleh & Al-Obaidy, 2021).

Entre uno de los casos estudiados, se halló que al incrementarse el valor del potencial de expansión en suelos donde se apoya una estructura, existe una reducción en los parámetros de resistencia al corte con lo que al existir una variación del 38% en el contenido de agua inicial, se produjo un costo de 61 000 dólares en reparaciones de daños en una edificación en la ciudad de Irbid, Jordán. (Nusier & Alawneh, 2022)

Junto con edificaciones, las obras lineales, como las carreteras, canales y alcantarillas, forman parte de las obras civiles esenciales que son afectadas por la expansión de suelos cohesivos. Es común observar pavimentos dañados, los cuales presentan agrietamiento longitudinal provocado por el hinchamiento del material que conforma la subrasante. De la misma forma, los problemas atribuibles al cambio de volumen de suelos abarcan a muchas otras estructuras como taludes, cubiertas de vertederos, terraplenes, presas, irrigaciones, entre otros (Roca & Tomalá, 2023). Por ello es importante contar con estudios de clasificación de zonas con posibles eventos de expansión de suelos donde podamos verificar caracterizaciones precisas sobre arcillas plásticas propensas a sufrir este fenómeno y establecer alternativas de estabilización para mitigar el problema.

Considerando la afectación que puede producir la presencia de suelos expansivos, es necesario tener métodos de identificación efectivos para una toma de decisiones rápida y acertada. El ensayo para el cálculo del valor de la presión de expansión es el "Ensayo de expansión controlada en el edómetro y el Ensayo de consolidación convencional", los cuales, en muchos casos, dependiendo de las propiedades del suelo a evaluar, pueden llegar a durar varios días, conllevando a ralentizar la toma de decisiones en un proyecto y más aún cuando es necesario un mayor número de ensayos como en el caso de obras lineales, lo cual nos llevaría a un retraso, considerando que este también conllevaría a un costo mayor, ya que este ensayo es uno de los más costosos, justamente por el tiempo que lleva realizarlos por el laboratorio encargado. Es por eso que se usan fórmulas empíricas planteadas por autores de otras regiones. Si bien estas fórmulas son de gran utilidad para estimar un valor de la presión de expansión, facilitando el proceso, estas fórmulas se desarrollaron en otras regiones y en su mayoría no brindan ni siquiera valores aproximados para la presión de expansión.

En Cusco, la construcción de obras civiles debido al crecimiento urbanístico de la región conlleva a la necesidad de la creación de nuevos espacios físicos; sin embargo, este sector no cuenta con la existencia de un estudio de zonificación que permita tener un alcance previo de identificación de zonas con suelos potencialmente expansivos, ni métodos de estimación de los valores de la presión de expansión, índice de probabilidad de hinchamiento o potencial de expansión de suelos.

1.3. Formulación del problema de investigación

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la relación entre la presión de expansión calculada por el ensayo de expansión controlada y la estimada con ecuaciones empíricas para tres tipos de suelos cohesivos, Cusco 2025?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la presión de expansión calculada mediante el ensayo de expansión controlada de tres tipos de suelos cohesivos en el Cusco?
- ¿Cuál es la presión de expansión calculada a través de ecuaciones empíricas de tres tipos de suelos cohesivos en Cusco?
- ¿Cuál es el grado de correlación de la presión de expansión calculada por los modelos empíricos ajustados localmente y el método directo?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Determinar la relación entre los valores de presión de expansión calculados mediante el ensayo de expansión controlada y las ecuaciones empíricas para tres tipos de suelos cohesivos del Cusco.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la presión de expansión de los tres tipos de suelos cohesivos del Cusco, mediante el ensayo de expansión controlada en el edómetro.
- Determinar la presión de expansión a través de ecuaciones empíricas para tres tipos de suelos cohesivos del Cusco.
- Formular una ecuación de ajuste local para los modelos empíricos de estimación de la presión de expansión para las condiciones geológicas de los tres tipos de suelos cohesivos de Cusco.

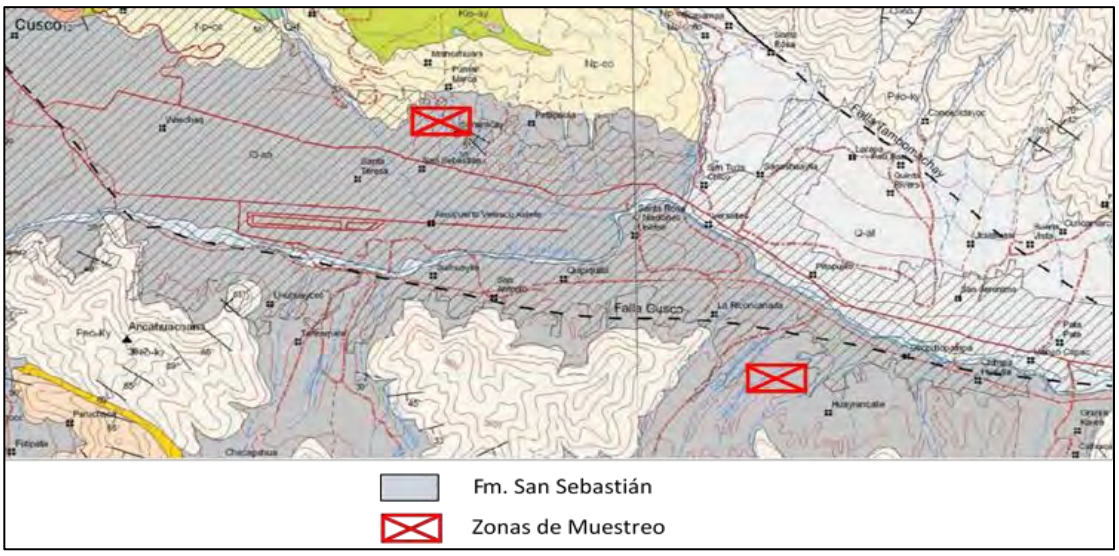
1.5. Delimitación e importancia

1.5.1. Delimitación geográfica

La investigación se desarrolló en la región del Cusco. El muestreo de los suelos se realizó en la Formación San Sebastián y el depósito lacustre en el distrito de Lucre (Quispicanchis).

Figura 1.

Zonas de Muestreo en la Formación San Sebastián

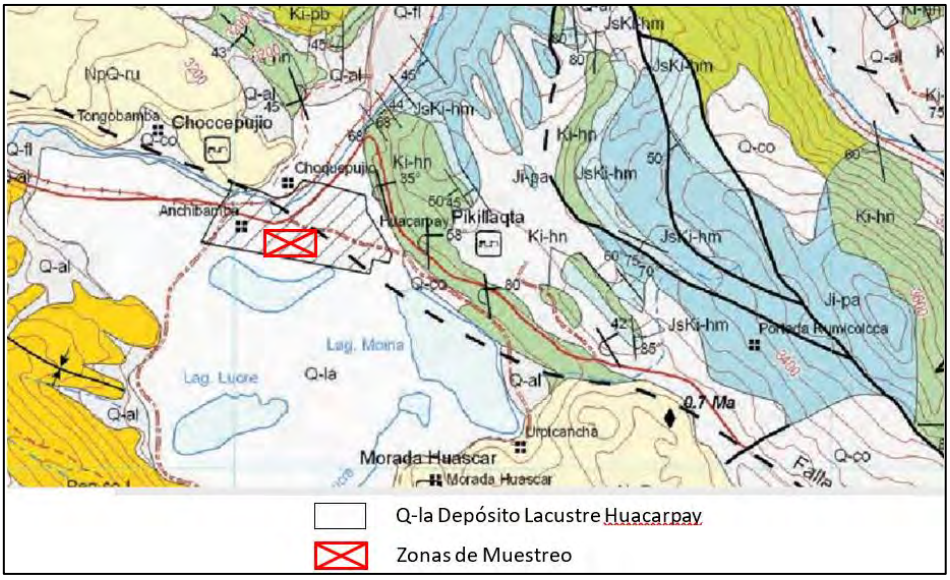


Nota. Fuente *(INGEMMET, 2010)*

La Formación San Sebastián del sistema cuaternario es una unidad sedimentaria joven compuesta principalmente por arcillas y arenas depositadas en un ambiente fluvio-lacustre, con niveles específicos de turba y diatomitas. En esta zona se encuentran arcillas y arenas que se utilizan para la confección de tejas, ladrillos y adobes que sirven para viviendas de la zona. Localmente, estas arenas son acuíferos confinados por arcillas impermeables en distintos niveles. Las arcillas tienen un comportamiento un tanto perjudicial, tanto en cimentaciones como en laderas y taludes donde se pueden ubicar terrenos inestables. (INGEMMET, 2010).

Figura 2.

Zonas de Muestreo en el depósito lacustre cuaternario en Lucre



Nota. Fuente *(INGEMMET, 2010)*

El centro poblado Huacarpay presenta depósitos lacustres de arcillas grises con niveles de turba y depósitos coluviales. Las arcillas se utilizan para la confección de tejas, ladrillos y adobes, y muy escasamente para la cerámica. Las arcillas tienen un contenido de vacíos considerable, pero son impermeables; se saturan de agua, pero no tienen transmisividad, tienen mal comportamiento para cimentaciones, especialmente en condiciones húmedas. (INGEMMET, 2010).

1.5.2. Delimitación Temporal

Los ensayos sobre las muestras elaboradas en laboratorio se realizaron durante el año 2025.

1.5.3. Importancia

La importancia de la presente investigación es la de comprender la respuesta del suelo generada por sus componentes expansivos, para enriquecer la toma de decisiones, mitigar los inconvenientes relacionados a estos fenómenos perjudiciales para las estructuras civiles y al mismo tiempo contribuir con el conocimiento del estudio de suelos problemáticos en nuestra ciudad, puesto que al conocer el comportamiento de hinchamiento de los suelos arcillosos (tres tipos de arcillas específicas de las zonas planteadas), se pueden plantear y ejecutar proyectos tomando las consideraciones técnicas para este tipo de suelos, puesto que estas zonas se encuentran actualmente en un proceso de crecimiento y desarrollo urbano, vial y recreativo, que podría verse afectado por fenómenos perjudiciales de este tipo de suelos.

Evaluar las fórmulas empíricas para la estimación de la presión de expansión con respecto al valor de la presión de expansión determinado por los ensayos de laboratorio, como establece la norma, proporciona valiosa información a considerar en el diseño de ingeniería civil. Esta investigación contribuye significativamente al entendimiento del fenómeno de hinchamiento de suelos cohesivos en la región del Cusco, brindando una base sólida para futuros trabajos, proyectos e investigaciones, y mejorando las capacidades de planificación y ejecución de proyectos en estas localidades.

Capítulo II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. A nivel internacional

México:

El artículo de investigación de (Ordoñez, Auvinet, & Juárez, 2014) titulado "Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez" realizado en México. Para alcanzar sus objetivos se utilizaron dos métodos: el primero, para determinar la capacidad de hinchamiento de las arcillas, y el segundo, para evaluar los diversos riesgos implicados, analizando cuatro muestras de suelo inalterado y 20 muestras alteradas y remoldeadas, mediante ensayos en el odómetro y posteriormente realizar una interpolación con los resultados. Los resultados demostraron que, la presión de hinchamiento para variaciones de contenido de agua en suelos $\Delta w < 10\%$, registra valores de presiones entre 240 a 420 kPa y para $\Delta w < 5\%$, presiones mayores a 55 kPa. Los mapas de contornos y de riesgos geotécnicos obtenidos del análisis y zonificación de los suelos indican que para las profundidades de 0.25 a 3 m predomina el riesgo de medio a alto y para profundidades de 5 m predomina el riesgo bajo a medio. La mayor parte del área urbana objeto de estudio está cubierta de suelos expansivos, que se han detectado a profundidades de entre 0 y 7 metros, y hasta 9 metros. Esto sugiere que las arcillas expansivas de la ciudad tienen un potencial de expansión de medio a muy alto.

Chile:

En la tesis de maestría de Rodríguez, Patricia en el 2020 denominado "Un método simplificado de predicción de hinchamiento de arcillas expansivas debido a cambios de humedad" realizado en Chile. El plan experimental de ensayos de laboratorio incluyó ensayos de granulometría, actividad del suelo, límites de Atterberg, densidad de las partículas sólidas, contenido de humedad y distribución granulométrica de las partículas finas. Se analizaron 170 ensayos de expansión con edómetro realizados en muestras no alteradas procedentes de once capas de arcilla distintas, siguiendo el método descrito en la norma ASTM D4546 (1996), de los cuales 75 fueron ejecutados para fines de investigación y 95 fueron obtenidos de trabajos de investigación anteriores, además, se recopilaron datos de ensayos de expansión ejecutados en Chile y algunos ensayos realizados en el extranjero. De los datos analizados, alrededor del 90% corresponden con el modelo de las curvas de expansión propuestas, alcanzando un coeficiente de determinación R2 de 0.83, concluyendo que el modelo propuesto requiere el

empleo de parámetros geotécnicos simples como son el Límite Líquido (LL), el Índice de Plasticidad (IP), el Porcentaje de Finos (%F), el grado de saturación inicial del suelo (Sr), y la carga aplicada por la cimentación (P). (Rodríguez, 2020). Propiedades fácilmente calculadas mediante ensayos de laboratorio

Ecuador:

La tesis de investigación de María Roca y Allan Tomalá denominada "Análisis de comportamiento mecánico y correlación de magnitud de esfuerzos en suelos expansivos pertenecientes al sector Ancón, Ecuador". Para ello, se extrajeron diez muestras de suelo a dos diferentes profundidades. El potencial del suelo estudiado se evaluó mediante ensayos de expansión en el laboratorio y se emplearon también métodos indirectos de la bibliografía geotécnica disponible. El estudio concluye que el 90% de muestras estudiadas resultan ser suelos de partículas finas, las cuales están conformadas primordialmente por arcillas y limos con índices de plasticidad notorios en la mayoría de los casos, que en su mayoría presentan una expansividad media y alta, mientras que el 10% de muestras resultan ser suelos de partículas gruesas clasificadas como arenas de gradación pobre las cuales no presentan plasticidad. Todas las correlaciones muestran una dispersión mínima; sin embargo, aquellas que arrojan valores más cercanos a los obtenidos mediante el ensayo de expansión controlada son las propuestas por Nayak y Christensen y Vijayvergiya y Ghazzaly. (Roca & Tomalá, 2023)

Sudán:

El artículo científico de (Elarabi, 2006) denominado "Evaluation of predicted equations for swelling potential", cuyo principal objetivo es analizar y comparar algunas ecuaciones predictivas (fórmulas empíricas) para determinar el porcentaje de hinchamiento en suelos expansivos, y de evaluar su precisión frente a los resultados experimentales. El trabajo se llevó a cabo en tres regiones de Sudán (AlGadarif, Malakal y Alnishishiba), tomando muestras de suelo con diferentes niveles de potencial de expansión y evaluando las ecuaciones predictivas basadas en propiedades como el índice de plasticidad, contenido de arcilla, humedad inicial, densidad seca y límite líquido, comparándolas con ensayos directos de laboratorio y así determinar su aplicabilidad en función de las condiciones locales y propiedades de los suelos. Se observó que todas las ecuaciones mostraron variaciones significativas en los valores de hinchamiento predichos en comparación con los datos obtenidos experimentalmente, subestimando los valores del hinchamiento al 91.6%. Se concluyó que las ecuaciones no son universalmente aplicables, ya que su precisión depende de las condiciones locales como el clima y las propiedades específicas del suelo.

2.1.2. A nivel nacional

La tesis de Sandra Peralta Tingal denominada “Caracterización de arcillas expansivas y mitigación de riesgos” realizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú. El objetivo era identificar las arcillas expansivas, los riesgos que plantean y las posibles estrategias de mitigación. La revisión bibliográfica utiliza diversas bases de datos de institutos geológicos públicos y empresas relacionadas, la norma peruana E.050, libros, publicaciones científicas, sitios web y el repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú. La información se verificó mediante la triangulación de datos. Las conclusiones a las que se llegó fueron que en la zona Norte de Perú se pueden encontrar más casos de estudio sobre suelos con potencial expansivo, por lo que se necesita realizar una investigación más minuciosa para identificar más zonas similares. Para la mitigación del impacto de los efectos del hinchamiento de arcillas se recurre principalmente a estabilizaciones en base a productos químicos como la cal, cemento Portland, cloruro de sodio, cáscaras de arroz y productos geosintéticos. (Peralta Tingal, 2021)

Erick Abad Rosales Asto de la Universidad Nacional Agraria La Molina en su tesis titulada: "Determinación de la Deformación Elástica y el Módulo de Elasticidad en Suelos Expansivos Mediante Ensayos de Expansión Libre y Consolidación". En ella se plantearon métodos simplificados de análisis de suelos expansivos y gráficas para la correlación con otros parámetros, evaluando 4 muestras inalteradas. Como resultado se logró obtener valores de deformación unitaria elástica que van entre (0.01126 – 0.01786) y el módulo de elasticidad entre 40 - 80 kg/cm2. Se recomienda que para el cálculo de los parámetros elásticos se use el ensayo de consolidación unidimensional ya que cumple con la Teoría de Terzaghi, el cual considera que para un medio semiinfinito la deformación es unidimensional y en dirección de la carga aplicada. (Rosales Asto, 2014)

En el estudio de Aguilar, Chaiña & Salas, denominado “Suelos Expansivos en Moquegua” en el que se tenía como principal objetivo el de investigar y analizar los suelos del Centro Poblado de San Antonio al presentarse en observación fallas estructurales en los elementos del centro de salud de la zona, los cuales podían atribuirse a daños causados por problemas con suelos especiales. Se concluyó que los suelos de esta zona tienen un alto potencial de expansión, altamente perjudicial para las edificaciones cimentadas sobre ellos. Las cargas necesarias para el control de hinchamiento son elevadas para poder ser compensadas con el peso de las edificaciones. Se realizó un análisis de la estimación del potencial de expansión por métodos indirectos y se halló que las ecuaciones empíricas, encontradas en

bibliografía especializada de geotecnia, no predicen adecuadamente el comportamiento de estos suelos. (Aguilar, Chaiña, & Salas, 2002)

2.1.3. A nivel regional

En el trabajo de investigación de Dante Quispe Vilca en el 2021, titulado "Estabilización de suelos expansivos con ceniza de mazorca de maíz en la ciudad del Cusco" realizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú. La muestra de suelo evaluada en el estudio fue una arcilla mal gradada con arena (CL) con alta plasticidad (IP=10.14) y una capacidad de soporte pobre (CBR=7.2). Al adicionarle ceniza de mazorca de maíz se mejoraron las propiedades del suelo, concluyendo que la adición de ceniza de mazorca de maíz pudo mejorar el comportamiento plástico del suelo produciendo la disminución del índice de plasticidad de 10.14% a 6.08% (Quispe Vilca, 2021). Se redujeron las propiedades plásticas del suelo con un porcentaje óptimo de 8% de este material adicionado y se duplicó el valor de CBR, que pasó de 7.2% a 19.10%.

La tesis de grado de (Luza Huallpa & Conto Merma, 2023) titulada "Influencia de suelos medianamente expansivos en el deterioro prematuro de estructuras ligeras de concreto en áreas urbanas de los distritos de Poroy, Santiago y Cusco, de la provincia y departamento del Cusco, 2019" realizada en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Se realizó un estudio de reconocimiento de fallas y daños en estructuras ligeras de concreto y se analizaron muestras de suelo para comprobar si esos daños podían estar relacionados con fenómenos de hinchamiento de suelos y con los datos se elaboraron mapas de zonificación de acuerdo al potencial de expansión del suelo. Se evaluó el porcentaje de expansión mediante el ensayo de Free Swell Test en el picnómetro para 130 muestras y se realizó el ensayo de expansión libre y controlada para 4 muestras inalteradas. Las ecuaciones que se utilizaron para la determinación del potencial de expansión de suelos reflejaron en tal medida los resultados del ensayo para determinar el potencial de expansión en laboratorio. De acuerdo a la zonificación de suelos expansivos, las zonas donde se puede encontrar suelos medianamente expansivos están en las zonas de Los Olivos y Cachona del distrito de Santiago, la comunidad de Chinchaysuyo en el distrito de Poroy y la urbanización de Magisterio del Cusco.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Suelos

El suelo es un material natural compuesto básicamente de partículas minerales, agua y aire, y en algunos casos también por materia orgánica, conformando una delgada capa

superficial de la corteza terrestre resultado de la desintegración física y química de las rocas y en menor medida de los residuos de seres vivos (Das, 2012). El suelo es un material particulado cuyas propiedades aplicables en la ingeniería dependen en gran medida de la interacción de estas partículas y de manera secundaria de sus propiedades internas. Sus propiedades varían ampliamente de un lugar a otro, incluso podrían variar dentro de una misma área. Está conformado por tres fases, una sólida que refiere a las partículas minerales (arena, grava, limo y arcilla), una fase líquida que corresponde al agua en los poros del suelo y una gaseosa correspondiente al aire atrapado. Sin embargo, de acuerdo al enfoque de otros autores, se sugiere la existencia de una cuarta fase denominada membrana contráctil del agua adsorbida, resultado de la interacción entre la fase sólida y líquida (considerando a la interfase entre el aire libre y el agua libre). (Coduto, 1998).

2.2.1.1. Agentes Generadores de Suelo

La relación entre la roca madre y los diversos mecanismos mediante los cuales se descompone, lo que da lugar a la formación de una amplia variedad de tipos de suelo, se conoce generalmente como génesis del suelo. La corteza terrestre es principalmente atacada por el aire y agua, siendo muy variados los medios de acción de estos componentes (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005). Sin embargo, todos estos medios de acción de ataque pueden incluirse en dos grupos:

- **Desintegración Mecánica**

Este término explica el fenómeno de intemperización que sufren las rocas debido a los agentes físicos, como variaciones de temperatura, congelamiento de agua en las grietas de las rocas, vegetación, etc. A través de estos medios, se pueden formar arenas o cuando mucho, limos y solo en casos especiales arcillas. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005)

- **Descomposición Química**

La arcilla se forma a menudo como resultado de diversas actividades de descomposición química, al alterar la composición mineralógica o química de las rocas, estos procesos las descomponen, siendo el agua el agente clave en este proceso, y la oxidación, la hidratación y la carbonatación son los principales mecanismos de meteorización.

2.2.1.2. Estados del Suelo de acuerdo a los límites de Consistencia

Los estados del suelo de acuerdo con los límites de consistencia se refieren a diferentes estados de suelo en base a las condiciones físicas en las que se encuentra, dependiendo de su

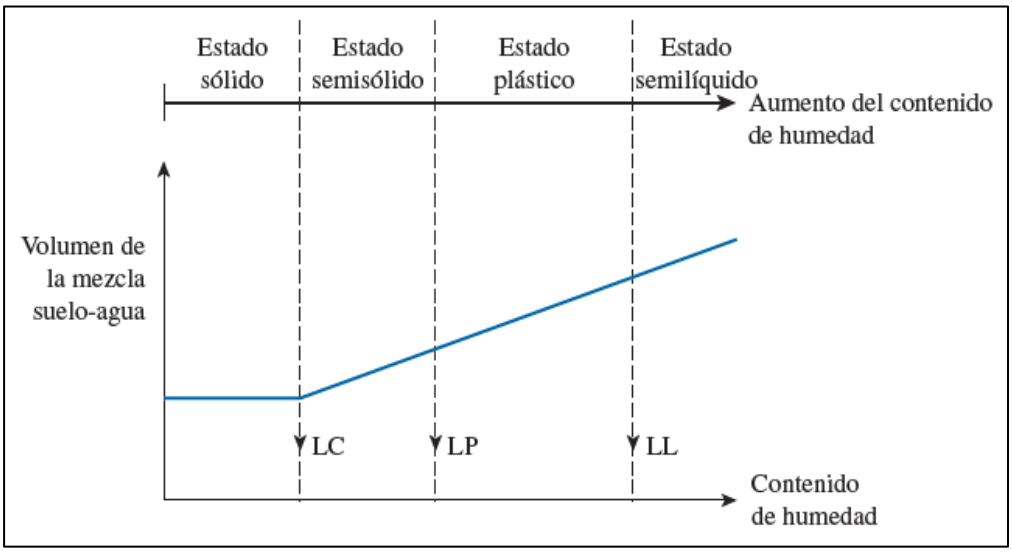
humedad y la interacción entre las fases que lo componen (sólida, líquida y gaseosa). Estos estados están estrechamente relacionados con los límites de Atterberg, los cuales definen cómo es el comportamiento del suelo al pasar del estado sólido al líquido al variar su contenido de agua. (Rodríguez Saavedra, 2007). Los estados del suelo que se pueden hallar son el sólido, semisólido, plástico y líquido.

Según Das, 2012, estos estados del suelo se pueden definir de acuerdo a los valores de los límites de consistencia:

- Límite de Contracción (LC): Es el valor de la humedad en el que el suelo comienza a experimentar cambios volumétricos al incrementarse su contenido de agua. Coincide con el valor de la humedad del suelo en el que el suelo cambia de un estado semisólido a uno sólido.
- Límite Plástico (LP): Es el valor de la humedad del suelo en el que el suelo cambia de un estado plástico a uno semisólido.
- Límite Líquido (LL): Es el valor de la humedad del suelo en el que el suelo cambia de un estado líquido a uno plástico.

Figura 3.

Definición de los límites de Atterberg.



Nota. Fuente *(Das, 2012)*

2.2.1.3. Estados del Suelo de acuerdo al grado de Saturación

Los estados del suelo de acuerdo con su grado de saturación, están definidos de acuerdo a la cantidad de agua presente en sus poros en relación con el volumen total de vacíos. Para el

suelo, esta variación tiene implicaciones en las propiedades mecánicas y de resistencia (Roca & Tomalá, 2023). Los tres estados del suelo se definen de la siguiente manera: suelos en estado saturado, parcialmente saturado o insaturados y suelos en estado seco.

- **Suelos en estado Saturado**

Son suelos que se encuentran típicamente por debajo del nivel freático o tras una saturación completa (inundación). Presentan espacios vacíos (poros) ocupados completamente por agua, por consiguiente, su grado de saturación S=100% y su peso unitario es mayor.

El comportamiento mecánico e hidráulico del suelo está gobernado principalmente por la interacción entre las partículas de suelo y el agua intersticial. De acuerdo con las leyes de la hidráulica, bajo esta condición, el agua en los poros se encuentra a una presión positiva de igual magnitud en todas las direcciones y se le conoce como presión de poro. (Meza Ochoa, 2012). La resistencia y la deformabilidad del suelo en este estado dependen de la presión efectiva y la presión de poros existente.

- **Suelos en estado parcialmente Saturado o insaturado**

Según (Roca & Tomalá, 2023): Los suelos insaturados o parcialmente saturados son aquellos que se encuentran entre la zona del suelo seco y la franja capilar, donde existe una zona intermedia en la que los poros del suelo son ocupados por agua y aire, siendo el estado más común en suelos naturales por encima del nivel freático. El grado de saturación varía entre el $0\% < S < 100\%$. (pág. 20)

La zona que se encuentra más cercana al nivel freático es llamada franja capilar, donde la presión de poros es negativa, se podría ver incrementada la resistencia al corte al aumentar la presión efectiva, pero esta contribución se pierde en caso de suelos completamente saturados al disminuir la presión efectiva, generando esfuerzos de corte negativos. (Meza Ochoa, 2012).

Los fenómenos más considerables del comportamiento del suelo no saturado tienen relación con sus deformaciones volumétricas al existir una variación en su grado de saturación. Estas deformaciones pueden ser negativas, lo que provoca una expansión de la estructura del suelo, o positivas, lo que provoca un colapso.

Figura 4.

Estados del Suelo de acuerdo a su grado de saturación.



Nota. Fuente *(Meza Ochoa, 2012)*

- **Suelos en estado seco**

Los suelos que se encuentran por encima del nivel freático pueden estar en estado seco o parcialmente saturado, (Roca & Tomalá, 2023). La capa más cercana a la superficie del suelo se conoce como "zona de suelo seco". Sus poros están completamente llenos de aire y, aunque puede existir una fase líquida, esta se presenta de forma discontinua, como pequeñas gotas de agua aisladas. Al no haber succión capilar, tiene un nivel de saturación del 0 % y una cohesión aparente muy escasa.

2.2.2. Suelos Expansivos

Según (Roca & Tomalá, 2023): Los suelos expansivos son aquellos que presentan cambios apreciables de volumen en expansión o contracción. Se componen principalmente de minerales pertenecientes a la familia de las esmectitas con un alto contenido de minerales arcillosos como la montmorillonita. Estos minerales, en contacto con el agua, experimentan cambios en su volumen debido a las variaciones en el contenido de agua. Tienen la capacidad de adsorber agua y expandirse, o perder agua y contraerse. (pág. 18)

En ingeniería geotécnica, los suelos expansivos representan un desafío importante, ya que las obras civiles construidas sobre ese tipo de suelos están sujetas a cambios de volumen provocados por los procesos de expansión y contracción antes descritos, teniendo en cuenta que a pesar de que estos fenómenos ocurren consecutivamente, producen respuestas aisladas

provocando daños de levantamiento y agrietamiento a estructuras como cimentaciones, pavimentos y muros si no se manejan adecuadamente. (Ordoñez, Auvinet, & Juárez, 2014)

2.2.2.1. Proceso de Formación de Suelos Expansivos

El origen de los suelos expansivos está dado por una combinación de condiciones y procesos, como la composición del material de origen y el grado de meteorización física y química, que dan como resultado la formación de minerales arcillosos con composición mineralógica y química particular de arcillas expansivas. Simples variaciones en las condiciones y procesos pueden llevar a la formación de otros minerales arcillosos no expansivos.

Los materiales de origen pueden clasificarse en dos grupos. El primero comprende las rocas ígneas básicas, las cuales son de bajo contenido en sílice y ricas en bases metálicas como piroxenos, biotitas y olivino. Pizarras y rocas de arcilla son algunas de las rocas sedimentarias que contienen montmorillonita como constituyente. Las lutitas contienen cantidades variables de cenizas volcánicas y vidrio, el cual posteriormente se meteoriza hasta convertirse en montmorillonita. (Tamrat, 2013).

2.2.2.2. Expansión y Contracción del suelo

Los fenómenos de expansión y contracción de suelos están asociados a las variaciones de volumen que sufren ciertos tipos de suelos debido a las variaciones de su contenido de agua. Estos procesos son más relevantes en arcillas al presentar una alta capacidad para absorber y liberar agua, lo que afecta directamente la variación de su volumen.

La expansión o hinchamiento de suelos es un proceso inherente a las propiedades de las arcillas expansivas y ocurre cuando un suelo incrementa su volumen al absorber agua. Al saturarse, estas partículas de arcilla se separan, aumentando su volumen. (Olarte & Cavalcante, 2023)

La contracción del suelo ocurre cuando este disminuye su volumen al perder o liberar agua por fenómenos de secado, drenaje o altas exposiciones al sol y al viento, acelerando la evaporación.

La expansión y contracción de un suelo es atribuible a un incremento y disminución de la tensión capilar, entre el límite de las zonas de agua y aire. De modo que, ante la pérdida de agua, se produce un incremento en la tensión capilar, provocando su encogimiento o contracción; de manera similar cuando un suelo se halla comprimido y en condición de

absorber agua, se produce un relajamiento de la tensión capilar al ganar el agua necesaria para alcanzar el punto de equilibrio; lo que produce un hinchamiento (Quintero Lemus & Gallardo Amaya, 2015).

2.2.3. Propiedades Geotécnicas Índice de Suelos

Las propiedades geotécnicas índice de los suelos son aquellas características físicas y mecánicas que se determinan a través de ensayos de laboratorio relativamente simples. Estas propiedades sirven para realizar la clasificación de los suelos y, en muchos casos, también para la predicción de su comportamiento y correlación con otras propiedades geotécnicas.

2.2.3.1. Distribución Granulométrica

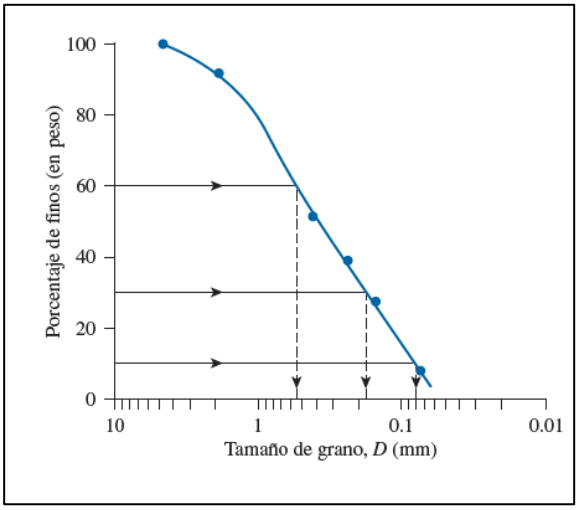
Considerando que el tamaño de los granos en los suelos varía en gran medida, para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica. Puede ser realizado mediante el tamizado a través de mallas normalizadas donde se desprecian las partículas menores a 75 µm, y para granos finos, esta distribución se puede obtener por medio del análisis del hidrómetro.

Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D6913)

Para suelos granulares, se tamiza la muestra por una serie de mallas normalizadas de aberturas estandarizadas y se determina el porcentaje de partículas retenidas en cada tamaño. El porcentaje de partículas retenidas en cada malla, determinado por un análisis con tamices, se traza en escala semilogarítmica. (partículas retenidas vs tamaño del grano). (Das, 2012)

Figura 5.

Curva de análisis granulométrico por tamizado



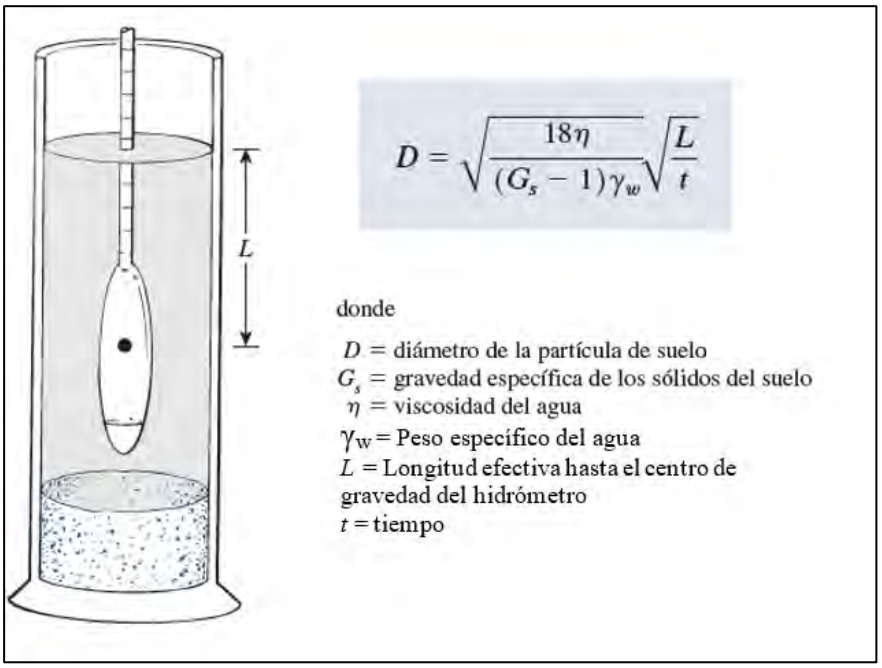
Nota. Fuente *(Das, 2012)*

Análisis granulométrico por sedimentación en el hidrómetro (ASTM D422)

Este ensayo se basa en la velocidad a la que se sedimentan las partículas y se lleva a cabo utilizando un hidrómetro. Se realiza para arcillas y limos, considerados suelos finos, utilizando un defloculante para neutralizar las cargas de las partículas, de modo que cada una de ellas pueda sedimentarse por separado. Los hidrómetros están calibrados para indicar la cantidad de suelo que se encuentra en suspensión en un momento dado. La ley de Stokes permite calcular el diámetro máximo de las partículas de suelo que seguían en suspensión en ese instante.

Figura 6.

Análisis granulométrico con el hidrómetro – Ley de Stokes



Nota. Los materiales visualizados en la imagen, necesarios para la realización del ensayo, son el hidrómetro de Bouyoucos, probeta de vidrio de 1 L con tapón y el hexametafosfato de sodio como defloculante del suelo. Fuente *(Das, 2012)*

De esto nace el concepto de fracción arcillosa (C) de un suelo, que es el porcentaje de partículas que tienen un tamaño menor a 0.002 mm (2 μm) del peso total, de acuerdo a la mayoría de los sistemas de clasificación granulométrica. Este valor es importante, ya que estas partículas poseen propiedades fisicoquímicas que les permiten interactuar con el agua, generando comportamientos como el hinchamiento o la contracción e influyen en propiedades como el índice de plasticidad.

2.2.3.2. Límites de Consistencia

También conocidos como límites de Atterberg en honor al científico agrónomo en la rama de suelos, Albert Atterberg, quien desarrolló una serie de pruebas para evaluar la relación entre la humedad del suelo y su consistencia. Después Karl Terzaghi y Arthur Casagrande adaptaron estos ensayos para propósitos de la ingeniería civil, convirtiéndolos en parte rutinaria de la ingeniería geotécnica. (Coduto, 1998).

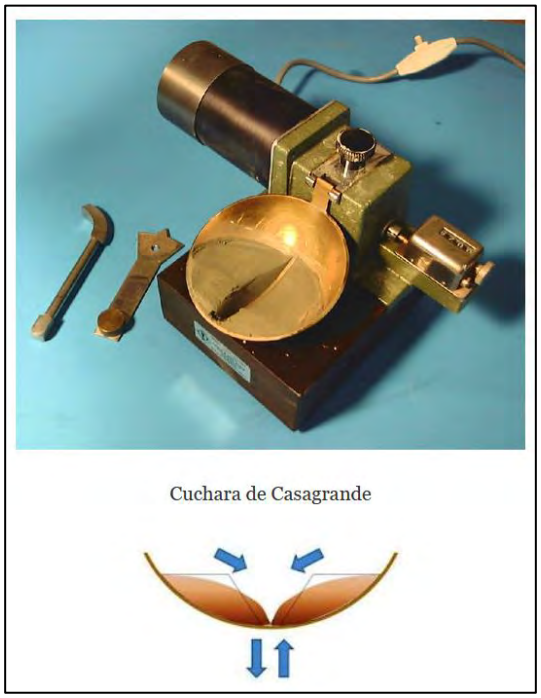
Estos límites de consistencia del suelo se determinan mediante ensayos normalizados de acuerdo a ASTM-D4318, y son fundamentales para clasificar el suelo y determinar su plasticidad.

Límite Líquido (LL)

El límite líquido se define como el valor de la humedad en el que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido y se comporta como un fluido viscoso. Para su determinación se utiliza la cuchara de Casagrande y se alcanza calculando el contenido de agua en el que cierra una ranura de 12.7 mm mediante 25 golpes de caída de una muestra de suelo fino colocada en la cuchara de Casagrande. (Arriola Moscoso, 2021)

Figura 7.

Ensayo de límite líquido



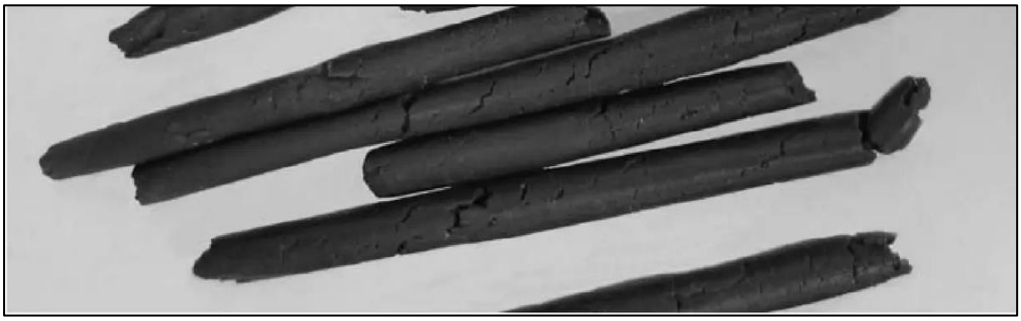
Nota. Desplazamiento de la muestra de suelo y cierre del surco en la cuchara de Casagrande. Fuente (Estudios Geotécnicos, 2013)

Límite Plástico (LP)

El límite plástico se define como el valor de la humedad en el que el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico. Se determina calculando el contenido de agua en el que el suelo se agrieta severamente al formar un rollito de 3.18 mm de diámetro.

Figura 8.

Ensayo de límite plástico



Nota. Cilindros alargados para la prueba de Límite Plástico en el momento de agrietamiento. Fuente *(Geotecnia Fácil, 2011)*

Límite de Contracción (LC)

Es el valor de la humedad del suelo en el que no experimenta ningún cambio adicional de volumen por secado. El ensayo para su determinación se realiza de acuerdo a la norma ASTM-D427.

Índice de Plasticidad (IP)

Es el rango de valores de contenido de agua en el que el suelo tiene un comportamiento plástico. Se determina mediante la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo.

$$IP = LL - LP \qquad \text{...Ecuación 1}$$

Donde:

IP: índice de plasticidad

LL: límite líquido

LP: límite plástico

Índice Líquido (IL)

Expresa la posición del contenido de agua o humedad natural de un suelo con respecto a sus límites de consistencia, permitiendo conocer el estado de consistencia del suelo en condiciones naturales. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$IP = \frac{w - LP}{LL - LP} \quad \text{...Ecuación 2}$$

Donde:

w: humedad natural

LL: límite líquido

LP: límite plástico

2.2.3.3. Actividad (Ac)

La actividad del suelo puede definirse como la capacidad de las partículas de un suelo arcilloso para retener la humedad. Fue introducida por Skempton en 1953 y está directamente relacionada con la evaluación del potencial de hinchamiento y contracción de los suelos finos. La actividad del suelo se define como la relación entre el índice de plasticidad (IP) y la fracción de arcilla del suelo (C).

$$Ac = \frac{IP}{C} \quad \text{...Ecuación 3}$$

Donde:

Ac: Actividad del suelo

IP: índice de plasticidad

C: Fracción de arcilla

La actividad se utiliza como un índice para identificar el potencial de expansión de los suelos arcillosos; en la siguiente tabla se indican los valores comunes de actividades para varios minerales de arcilla. (Das, 2012)

Tabla 1.

Actividad de minerales de arcilla.

Mineral	Actividad (A)
Esmectitas	1-7
Ilita	0.5-1
Caolinita	0.5
Haloysita ($4H_2O$)	0.5
Haloysita ($2H_2O$)	0.1
Atapulgita	0.5-1.2
Alofana	0.5-1.2

Nota. Fuente (Das, 2012)

2.2.3.4. Humedad Natural

Es una propiedad fundamental en la ingeniería geotécnica que mide la cantidad de agua presente en el suelo, expresada como un porcentaje del peso seco de los sólidos y se evalúa de acuerdo a la normativa estandarizada ASTM-D2216. El comportamiento del suelo, incluyendo la resistencia al cizallamiento, la compresibilidad, la hinchazón y la capacidad portante, se ve directamente influido por esta característica. La humedad del suelo se define como la relación entre el peso del agua y el peso de los sólidos de una muestra, expresada en porcentaje.

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100\% \qquad \text{...Ecuación 4}$$

Donde:

W: humedad del suelo

W_w: peso del agua en la muestra

W_s: peso seco de los sólidos

2.2.3.5. Gravedad Específica de partículas sólidas

La gravedad específica de un suelo es una propiedad índice que mide la relación del peso de las partículas sólidas de la muestra frente al peso del agua destilada a 4 °C que ocupa ese mismo volumen. Se puede expresar con la relación de la densidad del suelo, frente a la densidad del agua y se determina mediante el ensayo estandarizado ASTM-D854. Este es un parámetro adimensional que indica la composición mineralógica de los suelos o puede ofrecer datos de la historia de meteorización de la roca. Este parámetro contribuye a la clasificación mineralógica del suelo.

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} \qquad \text{...Ecuación 5}$$

Donde:

Gs: gravedad específica de los sólidos

ρ_s: densidad de los sólidos

ρ_w: densidad del agua

- Densidad de los sólidos: Se entiende por este concepto la masa por unidad de volumen de las partículas sólidas de un suelo, excluyendo los vacíos entre ellas. Se calcula mediante el ensayo con el picnómetro, midiendo el peso de una

muestra de suelo y luego determinando su volumen mediante el desplazamiento del agua que produce.

$$\rho_s = \frac{W_s}{V_s} \qquad \text{...Ecuación 6}$$

Donde:

ρ_s: densidad de los sólidos

W_s: masa de los sólidos

V_s: volumen de los sólidos

En la siguiente tabla se muestran intervalos generales de los valores representativos de gravedad específica de sólidos para algunos suelos encontrados en la naturaleza.

Tabla 2.

Gravedad específica de algunos suelos.

Tipo de suelo	G_s
Arena de cuarzo	2.64-2.66
Limo	2.67-2.73
Arcilla	2.70-2.9
Marga	2.60-2.75
Loess	2.65-2.73
Turba	1.30-1.9

Nota. Fuente (Das, 2012)

2.2.3.6. Peso Unitario

El peso unitario es la propiedad física que representa el peso total de la muestra del suelo por unidad de volumen. Este valor puede variar de acuerdo al estado de saturación del suelo y su humedad. El ensayo para su evaluación está basado en la norma estandarizada ASTM-D7263.

El peso unitario es un parámetro fundamental del suelo para la ingeniería geotécnica, ya que influye en el diseño estructural, capacidad de carga y análisis de estabilidad. Se puede definir como:

$$\gamma = \frac{W}{V} \qquad \text{...Ecuación 7}$$

Donde:

γ: Peso unitario del suelo

W: Peso total de la muestra

V: volumen de la muestra

De acuerdo con diferentes condiciones de humedad y saturación, se distinguen los diferentes tipos de peso unitario. (Das, 2012)

- Peso Unitario Natural (γ): correspondiente al peso del suelo en condiciones naturales.
- Peso Unitario Seco (γd): corresponde al peso de las partículas sólidas por unidad de volumen, excluyendo el agua. Es utilizado para determinar el grado de compactación.
- Peso Unitario Saturado (γsat): corresponde al peso del suelo cuando todos sus poros están llenos de agua, este dato es utilizado para cálculos de empuje de tierra y estabilidad de taludes.
- Peso Unitario Sumergido (γ'): es el peso unitario aparente del suelo cuando se encuentra completamente sumergido bajo el agua. Se utiliza para el cálculo de las presiones efectivas en el terreno.

2.2.3.7. Clasificación de Suelos

Los suelos se clasifican en base a un procedimiento de identificación de acuerdo a propiedades físicas y mecánicas con el propósito de predecir su comportamiento. Esta clasificación se realiza principalmente a partir de la granulometría y los límites de Atterberg del suelo, clasificándolos en grupos y subgrupos. Esta clasificación es usada para establecer si un cierto tipo de suelo es adecuado para una aplicación dada. Los dos sistemas de clasificación más usados en la actualidad son: el sistema de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), desarrollado principalmente para la clasificación de suelos de acuerdo a su utilidad en las capas del pavimento de caminos y carreteras, mientras que el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS por sus siglas en inglés), que también es el sistema usado por la ASTM, que originalmente fue desarrollado para su uso en la industria aeronáutica, pero posteriormente modificado para su uso general. (Coduto, 1998)

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS)

El sistema USCS de clasificación de suelos no es ni muy elaborado, ni muy simplificado. Originalmente lo propuso A. Casagrande en 1942 y más tarde lo adoptaron el

United States Bureau of Reclamation y el US Army Corps of Engineers; y en la actualidad es usado en casi todo trabajo de ingeniería geotécnica. (Das, 2012)

Este sistema de clasificación de suelos utiliza los siguientes símbolos:

Tabla 3.

Simbología del sistema unificado de clasificación de suelos.

Símbolo	**G**	**S**	**M**	**O**	**Pt**	**H**	**L**	**W**	**P**
Descripción Inglés	Gravel	Sand	Silt (Mud)	Organic Material	Peat Organic	High plasticity	Low plasticity	Well graded	Poor graded
Español	Grava	Arena	Limo	Material Orgánico	Turba altamente orgánico	Alta Plasticida	Baja Plasticida	Bien Gradado	Mal gradado

Nota. Reproducido de *(Das, 2012)*

En la siguiente tabla se muestra el procedimiento para determinar el símbolo del grupo del suelo al correspondiente grupo de acuerdo a sus propiedades:

Tabla 4.

Simbología del sistema unificado de clasificación de suelos. (ASTM 96)

Criterios para asignar símbolos y nombres de grupo utilizando pruebas de laboratorio[a]				Clasificación del suelo: Símbolo de grupo	Clasificación del suelo: Nombre de grupo[b]
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en la malla núm. 200	Gravas Más de 50% de la fracción gruesa retenida en la malla núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos[c]	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$[e]	GW	Grava bien graduada[f]
			$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$[e]	GP	Grava mal graduada[f]
		Gravas con finos Más de 12% finos[c]	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa[f, g, h]
			Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa[f, g, h]
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla núm. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos[d]	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$[e]	SW	Arena bien graduada[i]
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$[e]	SP	Arena mal graduada[i]
		Arena con finos Más de 12% finos[d]	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa[g, h, i]
			Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena arcillosa[g, h, i]
Suelos de grano fino 50% o más pasa la malla núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se encuentra en o arriba de la línea "A"[j]	CL	Arcilla de baja compresibilidad[k, l, m]
			IP < 4 o se encuentra debajo de la línea "A"[j]	ML	Limo de baja compresibilidad[k, l, m]
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite líquido—secado en horno}}{\text{Límite líquido—no secado}} < 0.75$	OL	Arcilla orgánica[k, l, m, n] / Limo orgánico[k, l, m, o]
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o mayor	Inorgánicos	IP se encuentra en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta compresibilidad[k, l, m, n]
			IP se encuentra debajo de la línea "A"	MH	Limo de alta compresibilidad[k, l, m, n]
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite líquido—secado en horno}}{\text{Límite líquido—no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla orgánica[k, l, m, p] / Limo orgánico[k, l, m, q]
Suelos altamente orgánicos		Principalmente materia orgánica, de color oscuro y olor orgánico		PT	Turba

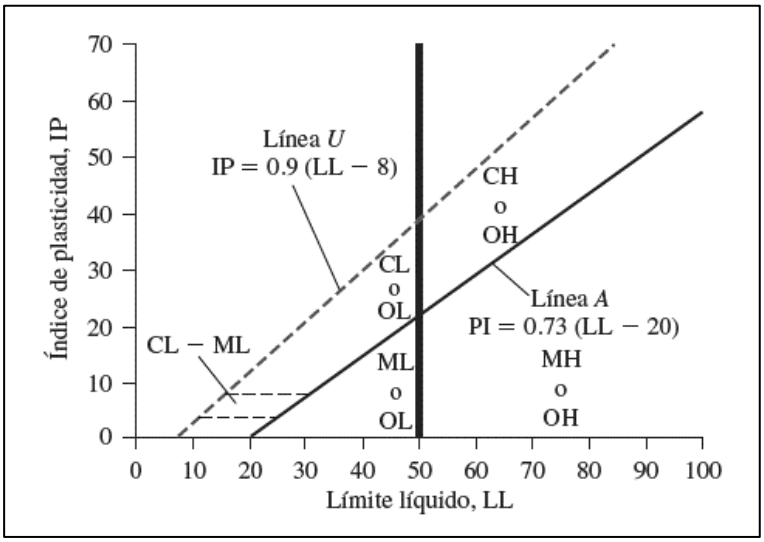
[a]Con base en el material que pasa la malla de 75 mm (3 in).
[b]Si la muestra de campo contenía cantos rodados o piedra bola, o ambos, agregue "con cantos rodados o piedra bola, o ambos" al nombre de grupo.
[c]Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: grava bien graduada con limo, GW-GM; grava bien graduada con arcilla, GW-GC; grava mal graduada con limo, GP-GM; grava mal graduada con arcilla, GP-GC.
[d]Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: arena bien graduada con limo SW-SM; arena bien graduada con arcilla SW-SC; arena mal graduada con limo SP-SM; arena mal graduada con arcilla SP-SC.
[e]$C_u = D_{60}/D_{10} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$
[f]Si el suelo contiene ≥ 15% de arena, agregue "con arena" al nombre de grupo.
[g]Si los finos se clasifican como CL-ML, utilice el símbolo doble GC-GM o SC-SM.
[h]Si los finos son orgánicos, agregue "con finos orgánicos" al nombre de grupo.
[i]Si el suelo contiene ≥ 15% de grava, agregue "con grava" al nombre de grupo.
[j]Si los límites de Atterberg se encuentran en el área sombreada, el suelo es una arcilla limosa, CL-ML.
[k]Si el suelo contiene 15 a 29% más la malla núm. 200, agregue "con arena" o "con grava," lo que predomine.
[l]Si el suelo contiene ≥ 30% más la malla núm. 200, predominantemente arena, agregue "arenoso" al nombre de grupo.
[m]Si el suelo contiene ≥ 30% más la malla núm. 200, predominantemente grava, agregue "gravoso" al nombre de grupo.
[n]Si IP ≥ 4 y se encuentra en o arriba de la línea "A."
[o]Si IP < 4 o se encuentra debajo de la línea "A."
[p]Si IP se encuentra en o arriba de la línea "A."
[q]Si IP se encuentra debajo de la línea "A."

Nota. Reproducido de (Das, 2012)

De la misma forma, como resultado experimental de suelos muestreados de diferentes partes del mundo, se ha elaborado una gráfica entre el índice de plasticidad y el límite líquido con las líneas “U” y “A” como fronteras fundamentales, con el que se puede determinar la clasificación ubicando en el gráfico las regiones equivalentes para arcillas, limos y suelos orgánicos de acuerdo a sus propiedades (límites de Atterberg), dando como resultado el nombre del grupo al que pertenece el suelo analizado.

Figura 9.

Gráfica de Plasticidad



Nota. Fuente *(Das, 2012)*

2.2.4. Arcillas

Los procesos de meteorización física y química leves que mantienen gran parte de la estructura original de la roca madre que lo originó, dan como resultado suelos que consisten en limos, arenas y grava, pero este no es el caso de las arcillas, ya que estas han experimentado una meteorización química intensa, dando como resultado un material nuevo, diferente al de la roca madre que lo originó. Por esta razón las propiedades de las arcillas y los retos que estas conllevan para la ingeniería son bastante distintos de los de otros suelos. (Coduto, 1998)

Las arcillas son suelos procedentes de la descomposición química de las rocas con componentes feldespatos, micas y minerales ferromagnesianos, con una estructura cristalina similar a la de la mica. Se forman cuando los silicatos ricos en aluminio se someten a la acción de los agentes atmosféricos o a modificaciones hidrotermales. El agua es la causa principal de este cambio físico-químico. Las arcillas transportadas y depositadas forman estratos tabulares

o lentes (capas) y sus impurezas por lo general se encuentran constituidas por partículas de cuarzo o limos. (Roca & Tomalá, 2023)

Desde el punto de vista granulométrico las arcillas son partículas con tamaño inferior a 2μm. Su composición mineralógica es relevante en sus propiedades.

Es fundamental comprender el suelo a nivel microestructural, es decir, teniendo en cuenta su composición, los minerales que contiene y las interacciones que se producen con el agua, ya que las arcillas son materiales geológicos problemáticos en ingeniería civil debido a los diversos problemas de estabilidad que provocan.

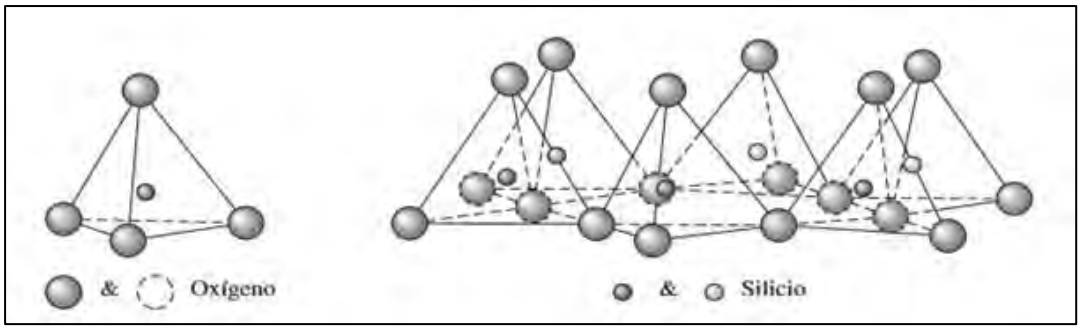
2.2.4.1. Estructura de los Minerales de las arcillas.

Las arcillas están compuestas básicamente por dos estructuras moleculares, la primera corresponde a tetraedros de silicio y la segunda a octaedros de aluminio, hierro u otro metal. Estas dos estructuras forman capas, las que se combinan de distintas maneras para dar origen a los diversos minerales arcillosos cristalinos existentes. (Rodríguez Saavedra, 2007)

La primera unidad, el tetraedro de silicio, está compuesta de cuatro átomos de oxígeno que rodean a un átomo de silicio (SiO_4) y da lugar a láminas de sílice que dan lugar a láminas de sílice, (Roca & Tomalá, 2023). Todos los átomos de oxígeno de la base se encuentran en el mismo plano formando parte de tetraedros.

Figura 10.

Tetraedro de Silicio y Láminas de Sílice



Nota. Fuente *(Das, 2012)*

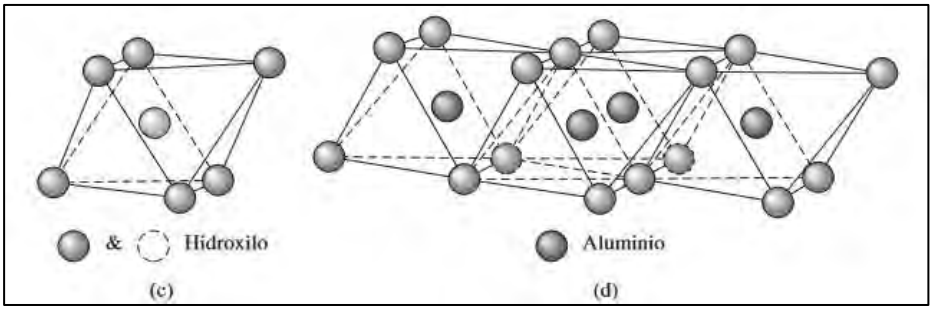
La segunda unidad que da forma a los silicatos complejos son las láminas de aluminio octaédricas. Estos octaedros, por su parte, constan de un átomo de aluminio, hierro, magnesio, u otro metal, que está rodeado por seis átomos de oxígeno o iones hidroxilo. (Das, 2012)

Según (Roca & Tomalá, 2023): La configuración electrónica de estas unidades se debe a la presencia de seis hidroxilos que rodean un átomo de aluminio, al combinarse forman una

capa octaédrica denominada lámina de gibsita, sin embargo, cuando los átomos de aluminio son sustituidos por magnesio la capa octaédrica se denominará lámina de brucita. (pág. 38)

Figura 11.

Grupos de hidroxilo y Capa octaédrica de Aluminio (Gibsita).



Nota. Fuente *(Das, 2012)*

2.2.4.2. Factores que controlan las propiedades de las arcillas.

Existe una serie de variables que influyen en las características de las arcillas. Algunas de las cuales se enumeran a continuación.

- **Composición de la fracción arcillosa.**

Esta composición es especialmente importante, porque la configuración y distribución de los minerales arcillosos producen cambios en las propiedades de los materiales (Roca & Tomalá, 2023). Las arcillas, de acuerdo a la distribución laminar, se pueden dividir en diferentes grupos como la clorita, halloysita, vermiculita, atapulgita, siendo las principales la caolinita, montmorillonita y la illita.

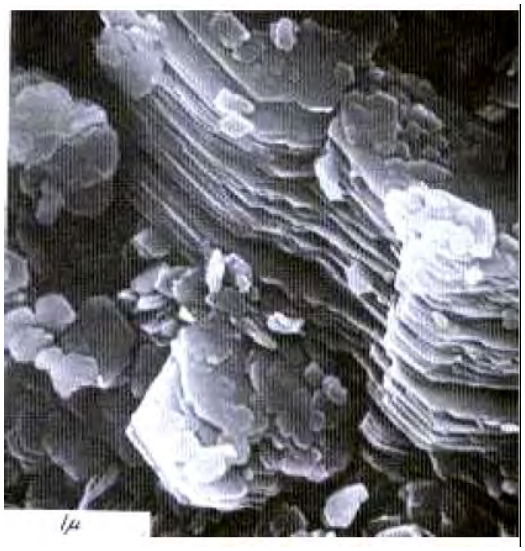
- Caolinita:

La unidad fundamental de caolinita se compone de una capa de octaedros de aluminio y una de tetraedros. La placa unidad posee un espesor de 7.2 Å (ángstrom), una relación ancho/espesor de 5 a 10, y una superficie específica de 5 a 15 m^2/g. Los enlaces de hidrógeno entre las dos capas unitarias son lo suficientemente fuertes como para impedir que las moléculas de agua o los iones atraviesen las capas de caolinita adyacentes. Las reacciones iónicas se deben a las valencias no neutralizadas que surgen de los enlaces rotos en los bordes del mineral arcilloso. La capacidad de intercambio catiónico es inferior a 10 meq/100 g.

Este mineral presenta poca dilatación o contracción y poca plasticidad.

Figura 12.

Fotomicrografía de la Caolinita



Nota. Fuente (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996)

- Montmorillonita:

Tiene una estructura similar a la illita, es decir, una lámina de gibsita intercalada entre dos láminas de sílice. En las capas octaédricas de la montmorillonita, el aluminio es sustituido isomórficamente por magnesio y hierro. Aquí, al igual que en la illita, no hay iones de potasio, y se acumula una gran cantidad de agua en los espacios entre las capas. Las partículas de montmorillonita tienen un grosor que oscila entre 1 y 50 Å y un diámetro lateral de entre 1000 y 5000 Å. La superficie específica es aproximadamente de 800 m^2/g. (Das, 2012)

En la capa tetraédrica de una unidad fundamental de montmorillonita puede existir sustitución del silicio por aluminio, mientras que, en la capa octaédrica, el hierro y el magnesio pueden reemplazar al aluminio. Debido a ello, existe una deficiencia de cargas positivas en la estructura, la cual es compensada por medio de cationes que se sitúan entre unidades fundamentales y alrededor de los bordes. Estos cationes pueden ser sustituidos fácilmente por otros, por lo cual se les denomina cationes de intercambio (Jiménez Salas, De Justo Alpañez, & Serrano González, 1980).

Según (Rodríguez Saavedra, 2007): La hidratación de estos cationes y la adsorción de las moléculas de agua causan la hinchazón entre las capas y la dilatación de la red cristalina. El tipo de catión intercambiable y el grado de hidratación de las superficies internas determinan en qué medida se expande o se contrae la red. Tanto las superficies exteriores como las internas de la montmorillonita tienen una capacidad de intercambio catiónico de entre 80 y 150 meq/100

g. Esta alta capacidad de intercambio catiónico y la naturaleza expansiva de la red cristalina influyen mucho en la viscosidad, hinchamiento, plasticidad y otras propiedades físicas.

Figura 13.

Fotomicrografía de la Montmorillonita



Nota. Fuente *(Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996)*

- Illita:

Es el mineral arcilloso más abundante en la corteza terrestre. Una unidad está formada por un octaedro de aluminio entre dos tetraedros de silicio, similar al caso de la montmorillonita. Tiene un espesor de 9.6 Å, una superficie específica de 80 a 100 m^2/g, y su relación ancho/espesor oscila entre 15 y 30. Su capacidad de intercambio iónico es de 10 a 40 meq/100 g.

La illita es un mineral compuesto por capas de estratificaciones que tiene intercambio isomórfico de silicio por aluminio en la capa de sílice, y de aluminio por magnesio y hierro en la capa alumínica. La diferencia principal que tiene la illita respecto de la montmorillonita es que las cargas negativas ocasionadas por la sustitución son equilibradas por iones potásicos, formando paquetes bastante compactos que impiden el ingreso de agua a sus capas. Esto trae como consecuencia que la estructura de la illita no sea expansiva. (Rodríguez Saavedra, 2007).

Figura 14.

Fotomicrografía de la Illita.



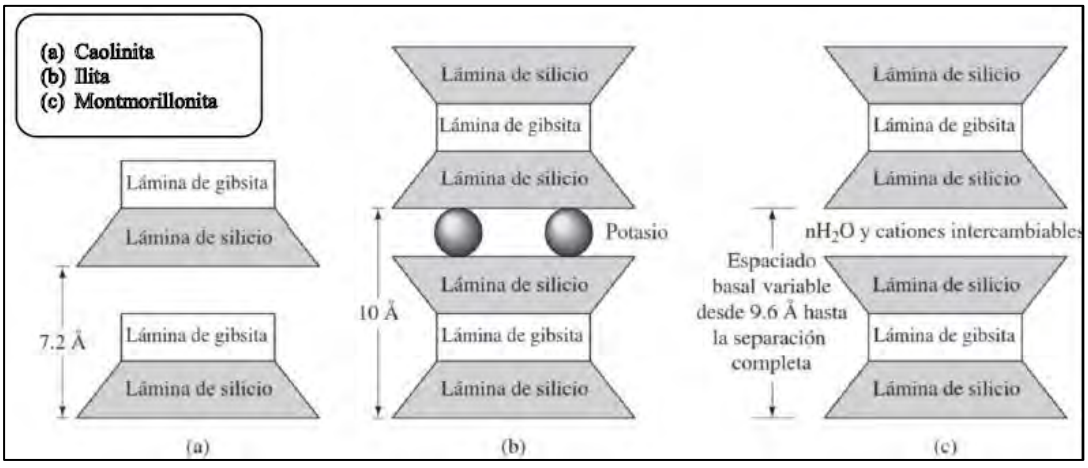
Nota. Fuente *(Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996)*

- **Presencia de iones y sales solubles.**

Las reacciones químicas entre las partículas de arcilla, agua y minerales son las encargadas de definir las propiedades del suelo que contenga estos elementos. Las arcillas tienen intercambio catiónico cuando están en contacto con otros elementos como lo son el sodio, potasio, calcio, magnesio, hidrógeno y amonio. Producto de este intercambio se originan las distintas familias de minerales de arcilla, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 15.

Estructura molecular de minerales de arcilla.



Nota. Fuente *(Das, 2012, pág. 31)*

- **Composición de la fracción no arcillosa.**

Según (Roca & Tomalá, 2023): La fracción no arcillosa que conforma una partícula de arcilla, teóricamente es mínima en comparación con la fracción arcillosa que define las características y el comportamiento de la arcilla. Sin embargo, en realidad se ha observado que las cantidades mínimas sí influyen en su comportamiento, incluso cuando están presentes en proporciones relativamente pequeñas. (pág. 22)

- **Material Orgánico**

Debido a factores relacionados con los mecanismos de transporte que tuvieron lugar durante su deposición y meteorización, los depósitos arcillosos pueden contener materiales biológicos. Por lo tanto, el comportamiento de absorción de agua se ve alterado por el tipo y la cantidad de materia orgánica presente.

Esta sustancia puede encontrarse en forma de moléculas orgánicas adsorbidas por los minerales arcillosos o como partículas diminutas e independientes (madera, esporas, hojas, restos leñosos, etc.). En consecuencia, la capacidad de absorción de agua disminuye a medida que aumenta la concentración de compuestos orgánicos o iones.

2.2.4.3. Arcillas Expansivas

Según (Roca & Tomalá, 2023): Las arcillas expansivas pertenecen al grupo mineralógico de los silicatos y en función de la distribución de los tetraedros de sílice se clasifican sistemáticamente dentro de los filosilicatos o silicatos laminares, siendo las del grupo de las esmectitas las que tienen mayor potencial de expansividad. Su capacidad para absorber enormes cantidades de agua es una de sus características más notables, lo que provoca variaciones en el volumen y el contenido de humedad tanto en estado seco como húmedo, provocando daños estructurales. (pág. 19)

Para identificar las arcillas expansivas hay que tener en cuenta una serie de elementos fundamentales, entre los que se incluyen el color del suelo, la presencia de grietas de retracción y la consistencia muy plástica y pegajosa del suelo húmedo, todos ellos signos evidentes de la presencia de arcillas expansivas. Por otra parte, estos suelos presentan bordes afilados en sus fracturas naturales y son difíciles de romper con las manos durante las estaciones secas.

2.2.5. Mecánica de la Expansión de Suelos

La expansión o hinchamiento de suelos se da cuando existe un cambio en el entorno o naturaleza del suelo arcilloso expansivo. Estos cambios pueden consistir en la disminución de la presión debido a excavaciones, desecación debido a variaciones de la temperatura y sobre

todo al incremento de volumen por aumento en el contenido de agua, siendo los efectos del incremento de la humedad del suelo el elemento más importante para la expansión del suelo.

2.2.5.1. Fluctuaciones de la Humedad

Los patrones de migración de humedad dependen de varios factores como la formación geológica de la zona, condiciones climáticas, factores topográficos, tipo de suelo y nivel freático presente. Esta migración de humedad puede ocurrir en todas las direcciones y conducirse por diversos medios o factores como fracturas o fisuras, roturas por contracción, fuerza de capilaridad o gradientes térmicos, conllevando al hinchamiento de suelos expansivos.

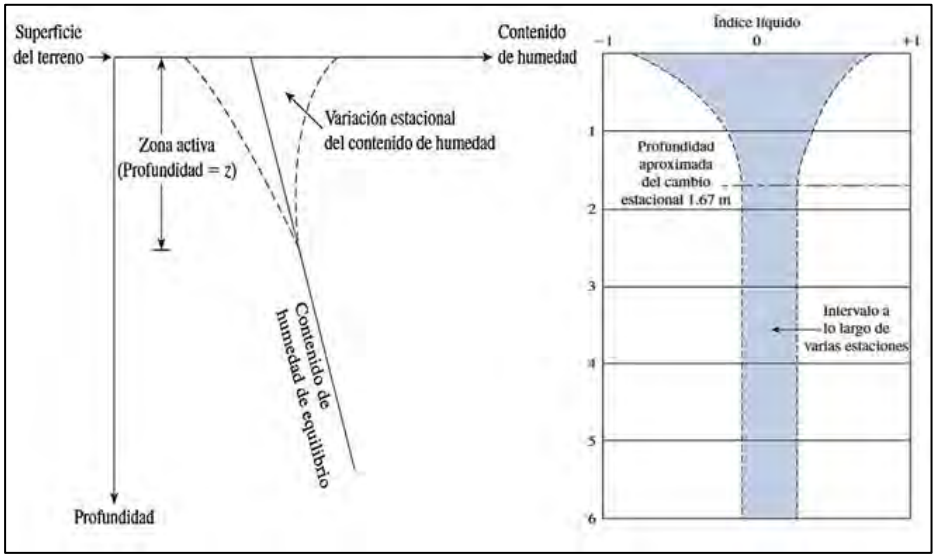
En áreas no cubiertas o suelos naturales al aire libre, existen condiciones naturales de evaporación y transpiración que causan variaciones en el contenido de agua en el suelo cerca de la superficie de la tierra. En áreas de suelos cubiertos, no hay ganancia o pérdida de humedad desde la atmósfera. La humedad del suelo tiene una variación decreciente con la profundidad del suelo, considerando también que, a mayor profundidad, disminuye la capacidad del suelo de perder humedad.

- **Zona Activa**

Esta es la profundidad del suelo en la que pueden producirse cambios esporádicos en el contenido de humedad. Para determinar esta profundidad, que varía en función de la ubicación del emplazamiento, se utiliza un gráfico que muestra la variación en el contenido de agua en función de la profundidad del perfil del suelo a lo largo de varias estaciones.

Figura 16.

Zona Activa



Nota. Fuente *(Das, 2012)*

2.2.5.2. Proceso de Cambio de Volumen a Microescala

Los mecanismos naturales de expansión a microescala, los cuales contribuyen en mayor proporción al cambio volumétrico en suelos expansivos, se pueden dividir en cinco. (Tamrat, 2013):

- **Repulsión Osmótica:**

Es un gradiente de presión desarrollado en el espacio interlaminar de la arcilla, generalmente arcillas esmectíticas. Se produce cuando el agua externa presente en los poros del suelo posee una menor concentración de iones, generando un gradiente de repulsión osmótica. El resultado directo de esto es un incremento del espesor interlaminar, que se manifiesta como un hinchamiento del suelo.

- **Atracción de las partículas de arcilla:**

Las partículas de arcilla poseen una carga negativa en su superficie y bordes, atraen cationes, en particular, cationes de moléculas dipolares como las del agua. Este proceso da como resultado un incremento en el volumen del suelo.

- **Hidratación de Cationes:**

Es un proceso que no cambia las propiedades químicas de la arcilla. Consiste en la hidratación física de los cationes de agua sustituidos internamente o atados a partículas de arcilla.

- **Imbibición capilar:**

Es un movimiento de agua dentro de la masa de arcilla resultante de los efectos de la tensión superficial del agua y la mezcla de aire en los poros de la masa de arcilla.

2.2.5.3. Factores que Inducen al Hinchamiento y Contracción de Suelos

La contracción y la expansión de suelos expansivos pueden ser inducidas por diferentes factores. Generalmente estos factores pueden ser agrupados en tres: (Tamrat, 2013)

- **Propiedades y características del suelo**

Las características del suelo influyen en la naturaleza de las fuerzas internas de las partículas. Las características más importantes a considerar son la mineralogía de la arcilla, densidad seca, plasticidad, succión, estructura molecular y química del agua en el suelo.

- **Factores Ambientales**

Los factores ambientales influyen fuertemente en los cambios que pueden ocurrir en el sistema de fuerzas internas del suelo; estos factores son comúnmente asociados con los cambios

de humedad. Algunos de estos factores pueden ser el clima, nivel freático y agua subterránea, drenaje y vegetación.

2.2.5.4. Condiciones de los esfuerzos existentes

La sobreconsolidación, la magnitud de la sobrecarga, el historial de esfuerzos de la zona y el perfil del suelo son factores que influyen en el fenómeno de contracción e hinchamiento que ocurre en el sistema que compone el suelo.

2.2.6. Métodos de Cálculo de la Presión de Expansión

Para la definición clara de que existe la probabilidad de que un suelo presente características expansivas, podemos hallar diferentes formas, las cuales dependen principalmente de los objetivos para los cuales se realiza el análisis, el tiempo disponible para lograr esta definición y los equipos y materiales para resolver esta identificación.

Conociendo que uno de los constituyentes principales de los suelos expansivos es la arcilla y sus minerales componentes de su estructura, se puede identificar o evaluar aproximadamente su capacidad expansiva definiendo el tipo de mineral que constituye el suelo a través de pruebas mineralógicas, adicionalmente, se puede realizar una aproximación más precisa a través de pruebas de laboratorio estandarizadas (Roca & Tomalá, 2023). Por último, al analizar las características de sus índices y aplicar los indicadores y las ecuaciones empíricas propuestas por distintos autores, es posible determinar el potencial de expansión y la presión. Estos métodos de identificación se clasifican en: métodos mineralógicos, métodos directos e indirectos.

2.2.6.1. Métodos basados en la evaluación mineralógica de las arcillas.

La composición mineral de los suelos expansivos tiene influencia importante sobre las características expansivas de los suelos, debido a su estructura reticular, compuesta por las láminas silícicas y alumínicas, según el tipo de arcilla. El propósito de estas pruebas es describir los minerales presentes en las muestras que se analizan. Se fundamentan, sobre todo, en detectar la presencia de montmorillonita, el mineral que provoca principalmente la expansión del suelo; también consideran la existencia de cargas eléctricas negativas y la habilidad para el intercambio catiónico, siendo estos fundamentales en el proceso expansivo. Algunos de los métodos de evaluación mineralógica más conocidos son:

- Difracción por rayos X
- Análisis térmico diferencial

- Análisis de colorantes
- Absorción de calor
- Análisis químicos
- Análisis por microscopía electrónica de barrido

2.2.6.2. Métodos Directos.

Los métodos directos de cálculo del potencial y la presión de expansión son aquellos en los que necesariamente se tienen que realizar ensayos de laboratorio mediante pruebas de expansión donde se mida la variación de volumen de muestras de suelo extraídas de manera inalterada y talladas de acuerdo a los requerimientos normativos de forma y dimensiones para los ensayos, sometidas a un cambio de su contenido de agua a través de la saturación. En estos ensayos, se pueden considerar otros factores como la presión vertical aplicada en la carga o descarga sobre la muestra y el tiempo en que actúa esta, de acuerdo al equipo de laboratorio que se utiliza, como el edómetro o consolidómetro o variaciones en la máquina triaxial dinámica.

El objetivo de estos ensayos es determinar la expansividad o aumento de volumen de una muestra de suelo con componentes arcillosos o suelos cohesivos, suelos con probabilidad de hinchamiento. Estos métodos directos se consideran más precisos que los métodos mediante fórmulas empíricas que se basan en correlaciones, ya que se realizan mediante procedimientos experimentales de medición directa y bajo condiciones controladas.

Según (Roca & Tomalá, 2023): Siendo que el cambio de volumen de un suelo arcilloso es resultado directo del contenido y variación de la cantidad de agua que este posea. Para medir la expansividad de un suelo parcialmente saturado, se ejecutan ensayos realizados en el edómetro, los más comunes son el ensayo de expansión simple, que permite el hinchamiento de la muestra al ser inundada y el ensayo para determinar la presión de expansión, donde se mide la presión que ejerce el suelo al expandirse realizada a través de los ensayos de consolidación convencional y el ensayo de expansión controlada. (pág. 2)

Estos ensayos son detallados en la norma internacional ASTM D4546-96, Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils y la Norma Técnica Peruana NTP 339.170 Métodos de ensayo normalizados para la determinación del hinchamiento unidimensional o potencial de asentamiento de suelos cohesivos, cuyo objeto es establecer tres métodos alternativos de laboratorio para determinar la magnitud de

hinchamiento o asentamiento de suelos cohesivos relativamente inalterados o compactados. (ASTM, 1996); (INDECOPI, 2015).

- **Ensayo de expansión libre**

En esta prueba, se determina cuánto se expande una muestra de suelo cohesivo, muestreado y extraído de manera inalterada, confinado lateralmente en un anillo y montado sobre un edómetro. Con este dato, se calcula el índice de expansión y se define el potencial de expansión del suelo.

Para realizar el ensayo, la muestra de suelo compactada debe colocarse exactamente entre dos piedras porosas y fijarse dentro de un anillo metálico para evitar que se desplace lateralmente una vez montada en el dispositivo de consolidación. El ensayo consiste en medir la dilatación de la muestra de suelo bajo una carga vertical de 1 psi (comúnmente la presión generada por la piedra porosa y aditamentos del equipo). Se ensambla el lector de deformación y luego agua a la muestra hasta un nivel en que el agua solamente penetre en la pastilla de suelo por la piedra porosa inferior (así se evita que quede aire atrapado en el interior de la muestra) y se mide la expansión del volumen de la muestra (es decir, su altura; el área de la sección transversal es constante) hasta que se alcance el equilibrio, (Roca & Tomalá, 2023). El hinchamiento vertical se presenta como porcentaje de la altura inicial de la probeta.

Procedimiento:

- Se obtiene una muestra inalterada
- Tallar la muestra al ras con los extremos del anillo del equipo de consolidación
- Calcular la altura inicial, el volumen inicial, la masa húmeda inicial
- Se extraen muestras del suelo (restos del tallado para obtener datos representativos) con sus respectivos pesos y se envían al horno durante 24 horas para obtener la humedad inicial del suelo.
- Aplicar una presión de 1 PSI al montar la muestra en el medidor de consolidación, teniendo en cuenta el peso de la placa de carga y del disco poroso superior.
- Mantener el nivel del agua constante en todo momento y añadir agua destilada hasta que rebose por encima de la piedra porosa superior.
- Cuando el deformímetro permanezca invariable (hasta que ya no presente variaciones de ±0.01 línea en 6 horas) se procede a leer el mismo, desmontarlo y sacar tres muestras para obtener la humedad final.

Entonces el porcentaje de expansión libre se expresa en porcentaje a través de la siguiente ecuación:

$$S_{W(libre)}(\%) = \frac{\Delta H}{H} * 100$$ …Ecuación 8

Donde:

$s_{w(\ libre)}$: Expansión libre

ΔH: Altura de la expansión debida a la saturación

H: Altura Inicial de la muestra

- **Prueba de presión de expansión**

La presión necesaria para mantener constante el volumen de la muestra de suelo durante todo el proceso de saturación se conoce como presión de hinchamiento. Este ensayo utiliza el mismo aparato edométrico que el ensayo de expansión libre, y la preparación de la muestra tallada es igualmente similar.

La prueba de presión de expansión se determina a través de dos pruebas diferentes que son:

- **Prueba de expansión convencional.**

En este ensayo, la muestra se coloca en un edómetro ante una sobrecarga inicial pequeña de aproximadamente 1 PSI. Se satura la muestra, permitiéndole que se expanda y alcance una posición de equilibrio después de cierto tiempo, (Das, 2012). Luego, se agregan cargas en pasos convenientes y se consolida la muestra hasta recobrar su volumen inicial.

Procedimiento:

- Se obtiene una muestra inalterada

- Tallar la muestra al ras con los extremos del anillo del equipo de consolidación

- Calcular la altura inicial, el volumen inicial, la masa húmeda inicial

- Aplicar una presión de 1 PSI al montar la probeta en el equipo de consolidación, teniendo en cuenta el peso de la placa de carga y del disco poroso superior.

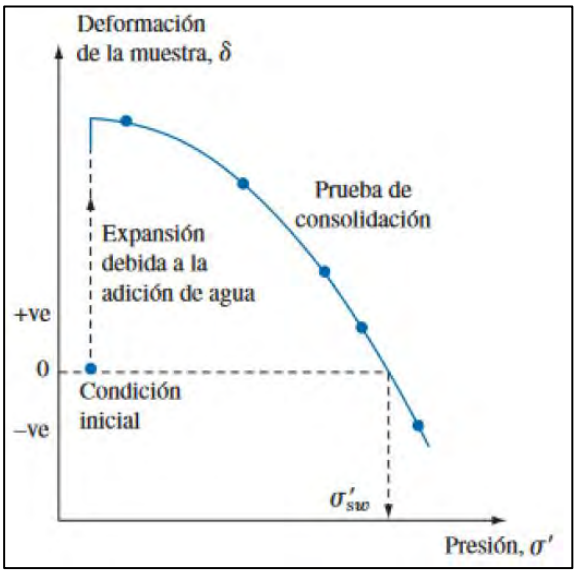
- Saturar la muestra con agua destilada hasta rebosar sobre la piedra porosa superior. Cuando el deformímetro permanezca invariable se comienza el proceso de carga.

- Se debe aplicar una presión vertical de aproximadamente 5 kPa, 10 kPa, 20 kPa, 40 kPa, 80 kPa, etc. Mantenga la presión constante hasta que la muestra recupere su relación de vacíos y altura originales.

En el siguiente gráfico se muestra la relación de la expansión de la muestra en relación con el cambio de volumen, se observa que el punto de intersección entre ambos ejes determina la presión de expansión cero o presión de expansión de la muestra ($\sigma' sw$). (Das, 2012).

Figura 17.

Presión de expansión cero de una prueba de consolidación convencional



Nota. Fuente *(Das, 2012)*

- **Prueba a volumen constante o expansión controlada**

En la prueba a volumen constante, primero se coloca una muestra en el edómetro y se le aplica una sobrecarga inicial pequeña de aproximadamente 1 psi; posteriormente, se satura la muestra. Conforme la muestra comienza a expandirse, se aplican cargas para producir incrementos de presión de manera gradual, de tal forma que se prevenga su expansión. Esta presión se mantiene constante manteniendo el deformímetro en cero hasta que permanezca invariable con un lapso de tiempo considerable. Esta presión última se considera como la presión de expansión o presión de expansión cero.

Procedimiento:

- Salvo por la adición de pesos al aparato para garantizar que el suelo no presente hinchamiento, el corte y la preparación de la muestra son los mismos que en el ensayo de expansión libre.

- Para evitar que el suelo se expanda, hay que añadir pesos cuando el medidor de deformación registre un aumento; la lectura no puede desviarse más de 0.03 mm del cero.

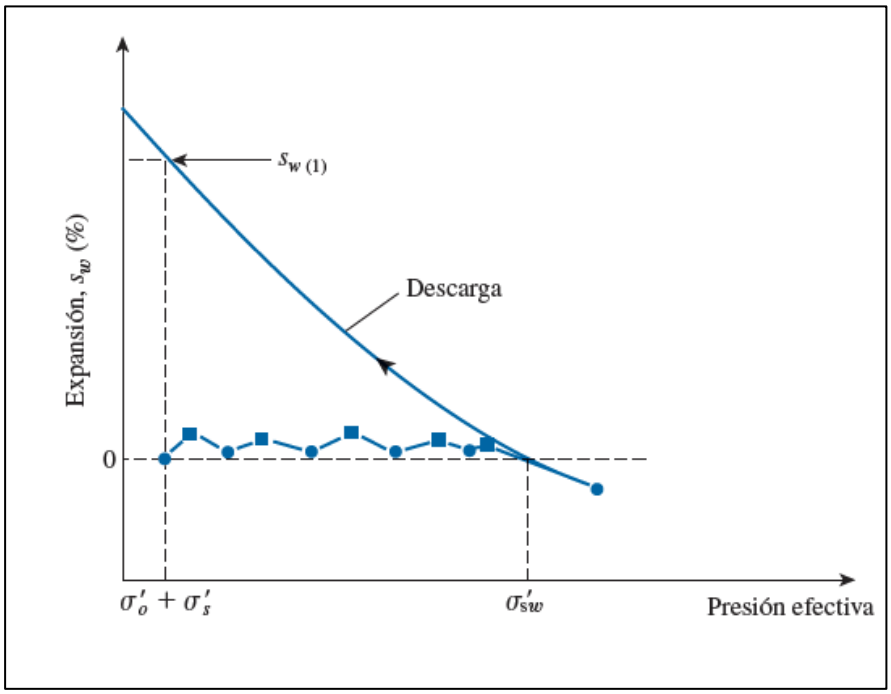
- Si el indicador muestra un aumento, añadir más peso; si no es así, retirar un poco. Hasta que transcurra el periodo de 24 horas sin que se produzcan variaciones, se irán aumentando las cargas de forma regular.

- Una vez que no haya cambios en el deformímetro se ha encontrado el peso estabilizador (presión de expansión).

En la siguiente figura se muestra la variación del porcentaje de expansión con la presión efectiva aplicada a la muestra durante una prueba de expansión a volumen constante. La suma de todas las presiones aplicadas determina la presión de expansión cero o presión de expansión de la muestra ($\sigma' sw$).

Figura 18.

Presión de expansión cero de una prueba de expansión a volumen constante



Nota. Fuente *(Das, 2012)*

2.2.6.3. Métodos Indirectos.

Estos métodos consisten en la identificación del potencial y presión de expansión basándose en correlaciones que los relacionan con las propiedades índice del suelo como los límites de Atterberg, peso específico, porción de arcilla o humedad con la ventaja de ser más rápidos y económicos en comparación con los ensayos directos, pero a su vez menos precisos en muchos casos.

Según (Roca & Tomalá, 2023): Varios autores han propuesto diversas ecuaciones empíricas y gráficas de correlación en base a una compilación de ensayos en distintos grupos de arcillas para clasificar el potencial de expansión. Estas correlaciones pueden ser empleadas de manera complementaria con métodos directos antes descritos para una mayor aproximación. (pág. 28).

2.2.7. Correlaciones para Calcular la Presión de Expansión

En los diferentes métodos empíricos que se exponen a continuación, las denotaciones o símbolos usados en las fórmulas, son los siguientes:

- Ps: Presión de expansión
- Ip: Índice de Plasticidad
- W_L: Límite Líquido
- W_0: Humedad inicial (%)
- C: Contenido de partículas menores a 2 μm (%)
- γ_d: Densidad Seca del suelo
- γ_o: Densidad natural

2.2.7.1. Método Nayak y Christensen (1971)

Este método indirecto fue desarrollado específicamente para suelos arcillosos expansivos, permite estimar la presión de hinchamiento (Ps) en función de propiedades fundamentales del suelo como el índice de plasticidad, contenido de arcilla o actividad del suelo y la humedad, basada en correlaciones obtenidas de ensayos experimentales. Se fundamenta asumiendo que la presión de expansión de un suelo cohesivo depende esencialmente de su capacidad de absorber agua, lo cual se relaciona directamente con la mineralogía del suelo arcilloso, su contenido de partículas finas y sus condiciones de humedad.

Esta ecuación se derivó del análisis de datos de prueba de 18 muestras de suelo artificial compactadas con la humedad óptima mediante el método Proctor estándar y que se dejaron hinchar bajo una sobrecarga de 1 psi. (Nayak & Christensen, 1971).

$$\mathrm{Ps} = 0.035817 * \mathrm{Ip}^{1.12} * \frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{W_o}^2} + 3.7912 \qquad \text{...Ecuación 9}$$

2.2.7.2. Sabtan (2005)

Este método fue desarrollado basándose principalmente en suelos cohesivos expansivos de Arabia Saudita (ciudad de Tabuk), los climas áridos y la presencia de agua de las variaciones del clima, lo que contribuye con los factores necesarios para observar el fenómeno de expansión de suelos. El estudio utilizó los resultados de las propiedades geotécnicas y las pruebas de consolidación de muestras inalteradas con la misma geología y condiciones ambientales para determinar la posible expansión de los suelos en Tabuk.

En el presente estudio, se implementó un método lineal empírico para predecir con mayor precisión el hinchamiento libre (S%) y la presión de hinchamiento (Ps). (Sabtan, 2005). Esto se logró mediante un análisis de regresión lineal múltiple de los datos de las 30 muestras inalteradas, que arrojó las siguientes ecuaciones simples:

$$Ps = 135 + 2(C + Ip - W_o) \quad \text{...Ecuación 10}$$

2.2.7.3. Komornik y David (1969)

Komornik y David asumieron que el límite líquido es una medida indirecta de propiedades potenciales de expansión, como el tipo de arcilla, concentración de iones y superficie de contacto entre partículas, para estimar la presión de expansión; el contenido de agua es una medida de la tensión capilar del agua adsorbida; y la densidad seca es una medida del espaciado entre partículas. Para arcillas compactadas, su correlación sugiere que la presión de hinchamiento sería una función no solo de las propiedades potenciales, sino también de las condiciones iniciales de colocación. El coeficiente de correlación frente a los resultados de los ensayos fue de 0.60, lo que pudo deberse a la recopilación de datos de diferentes laboratorios en distintas zonas de Israel. (Komornik & David, 1969).

Esta fórmula fue desarrollada en base a un análisis estadístico de 200 muestras de arcilla extraída de manera inalterada para correlacionar la presión de expansión con parámetros característicos del suelo. Presentándose a continuación:

$$\log Ps = -2.132 + 0.0208\, W_L + 0.000665\, \gamma_d - 0.0269\, W_o \quad \text{...Ecuación 11}$$

2.2.7.4. Vijayvergiya y Ghazzaly (1973)

Vijayvergiya y Ghazzaly analizaron 273 datos de prueba con el edómetro en arcillas naturales inalteradas para obtener una ecuación que relacione la presión de expansión con las características físicas y de clasificación de suelos. (Rodríguez Saavedra, 2007) Fue presentada en la Third International Conference on Expansive Soils en Haifa, Israel. Esta correlación fue desarrollada basada en ensayos de expansión bajo una carga de 0.1 t/pie².

Fórmula para determinar la presión de expansión:

$$\log Ps = \frac{1}{12} * (0.4W_L - W_0 - 0.4) \quad \text{...Ecuación 12}$$

2.2.7.5. Jiménez Salas (1980).

Esta correlación se ajustó con ensayos en arcillas de muestras inalteradas en Andalucía, España, con índices de plasticidad entre 10 y 20, obteniendo la siguiente expresión: (Jiménez Salas J. A., 1980).

$$\log \mathrm{Ps} = \frac{4}{5} * \left(\frac{\mathrm{W_L} - 10}{5 + \log \mathrm{M}}\right)^{0.7} - 5.66 \qquad \text{...Ecuación 13}$$

Donde:

$$\mathrm{M} = \frac{\gamma_\mathrm{d} - \gamma_\mathrm{o}}{\gamma_\mathrm{d}} \qquad \text{...Ecuación 14}$$

De acuerdo a estos métodos indirectos o fórmulas empíricas de correlación para el cálculo del potencial de expansión revisadas en la bibliografía técnica se elabora la siguiente tabla resumen:

Tabla 5.

Fórmulas de correlación para el cálculo de la presión de expansión.

AUTOR	ECUACIÓN	NOMENCLATURA
Método Nayak y Christensen (1971)	$\mathrm{Ps} = 0.035817 * \mathrm{Ip}^{1.12} * \frac{\mathrm{C}^2}{{}_{\mathrm{o}}^{2}} + 3.7912$	Ps: Presión de expansión (PSI) Ip: Índice de Plasticidad C: Contenido de partículas menor a 2 µm (%) Wo: Contenido de humedad inicial (%)
Sabtan (2005)	$\mathrm{Ps} = 135 + 2(\mathrm{C} + \mathrm{Ip} - {}_{\mathrm{o}})$	Ps: Presión de expansión (KPa) Ip: Índice de Plasticidad C: Contenido de partículas menor a 2 µm (%) Wo: Contenido de humedad inicial (%)
Komornik y David (1969)	$\log \mathrm{Ps} = -2.132 + 0.0208\,\mathrm{W_L} + 0.000665\,\gamma_\mathrm{d} - 0.0269\,\mathrm{W_o}$	Ps: Presión de expansión (Kg/cm2) W_L: Límite Líquido γ_d: Densidad Seca (g/cm3) Wo: Contenido de humedad natural (%)
Vijayvergiya y Ghazzaly (1973)	$\mathrm{Ps} = \frac{-225}{6.4}\mathrm{SI} + \frac{290}{6.4}(\mathrm{W_L} - \mathrm{W_{100}}) + \frac{1.2}{6.4}\frac{\mathrm{SI}}{\mathrm{S_o}}$ $\log \mathrm{Ps} = \frac{1}{12} * (0.4W_L - \mathrm{W_0} - 0.4)$	Ps: Presión de expansión (Kg/cm2) W_L: Límite Líquido Wo: Contenido de humedad natural (%)
Jiménez Salas (1980).	$\log \mathrm{Ps} = \frac{4}{5} * \left(\frac{\mathrm{W_L} - 10}{5 + \log \mathrm{M}}\right)^{0.7} - 5.66 \qquad \mathrm{M} = \frac{\gamma_\mathrm{d} - \gamma_\mathrm{o}}{\gamma_\mathrm{d}}$	Ps: Presión de expansión (Kgf/cm2) W_L: Límite Líquido γ_d: Densidad Seca del suelo γ_o: Densidad natural M: Coeficiente adimensional

Nota. Modelos matemáticos extraídos de literatura de ingeniería geotécnica e investigaciones para la estimación de la presión de expansión de suelos.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General.

La presión de expansión calculada a través de las ecuaciones empíricas tiene un bajo grado de relación frente al valor de la presión calculada mediante el ensayo de expansión controlada para tres tipos de suelos cohesivos muestreados en el Cusco.

2.3.2. Hipótesis Específicas

- La presión de expansión, en presencia de agua en la estructura del suelo, es moderada por ser suelos cohesivos de alta plasticidad de Cusco.
- El valor de la presión de expansión calculada a través de ecuaciones empíricas es muy disperso, por ser fórmulas calculadas para suelos con condiciones geológicas diferentes.
- La presión de expansión calculada a través de ecuaciones empíricas puede incrementar su capacidad predictiva a través de ecuaciones de ajuste local planteadas.

2.4. Identificación de variables e indicadores

2.4.1. Variable Independiente

- Presión de expansión medida a través del ensayo de expansión controlada

2.4.2. Variable Dependiente

- Presión de Expansión calculada mediante ecuaciones empíricas

2.4.3. Operacionalización de variables

Tabla 6.

Operacionalización de variables.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
VARIABLE	**SUBFACTOR**	**DEFINICIÓN CONCEPTUAL**	**DEFINICIÓN OPERACIONAL**	**DIMENSIONES**	**INDICADORES**
VARIABLE INDEPENDIENTE "X"					
X1: Presión de Expansión por el método directo	**X1.1:** Presión de Expansión medida a través del ensayo de expansión controlada	La presión de expansión es la respuesta del suelo a la restricción de su hinchamiento natural por saturación. Los métodos directos se basan en ensayos en laboratorio, donde se reproduce el comportamiento del suelo y se mide la presión generada.	La presión de expansión se entiende como la fuerza por unidad de área necesaria para restringir el hinchamiento del suelo cuando se satura con agua	Presión de expansión calculado mediante ensayos de hinchamiento unidimensional en laboratorio (Método de expansión controlada)	$Pe = \frac{F}{A}$ (kg/cm²) (Kpa) Pe: Presión de expansión (kPa). F: Fuerza aplicada verticalmente para mantener el volumen constante después de la saturación (kg). A: Área transversal de la muestra de suelo (cm²)
VARIABLE DEPENDIENTE "Y"					
Y1: Método indirecto de estimación de la presión de expansión	**Y1.1:** Presión de Expansión calculada mediante ecuaciones empíricas **Y1.2:** Presión de Expansión calculada mediante ecuaciones empíricas ajustada localmente	Fórmulas para la estimación de la presión que un suelo expansivo ejerce al hincharse debido a la absorción de agua, utilizando correlaciones empíricas basada en propiedades del suelo.	Se fundamentan en estudios experimentales previos que establecen relaciones entre la presión de expansión (Pe) y propiedades del suelo	Presión de expansión mediante metodos indirectos en base a fórmulas de diferentes autores	Pe (kPa) Pe: Presión de expansión (kPa).

Nota. Fuente propia.

2.5. Definición de Términos Básicos

Agrietamiento

Es la generación de discontinuidades o fracturas en la masa del suelo (fisuras), principalmente en arcillas, debido al proceso de secado, contracción, consolidación o cambios de temperatura, generando tensiones internas que superan la resistencia del material.

Calibración

Es el proceso de comparación de un instrumento de medición (por ejemplo, un pie de rey o un dinamómetro) con un patrón de referencia de valor conocido para determinar si el instrumento proporciona lecturas precisas.

Colapso

Pérdida repentina de resistencia y estabilidad de la estructura del suelo, principalmente debido a aumentos del contenido de agua o de la carga aplicada.

Compactación

La compactación implica utilizar energía para eliminar huecos del suelo suelto o del pavimento, aumentando así su densidad y, en consecuencia, su estabilidad y su capacidad de carga, entre otras cualidades.

Compresión

Reducción del volumen de un suelo por la aplicación de una carga o presión, implicando disminución de la porosidad y expulsión de agua y aire de los vacíos del suelo.

Contracción

Reducción del volumen de un suelo por el cambio en sus condiciones de humedad debido a variaciones de temperatura y/o carga. Algunos suelos, como las arcillas, se contraen significativamente al secarse, lo que puede provocar asentamientos y agrietamientos en las estructuras.

Deformación

Magnitud que define la elongación o contracción de un suelo (cambio de forma, tamaño o posición) debido a la aplicación de fuerzas internas o externas.

Densidad

Relación entre masa y volumen de un suelo o roca y se expresa en unidades de masa por unidades de volumen (g/cm^3)

Depósito Lacustre

Acumulación de sedimentos que se forman en el lecho de un lago. Está compuesto principalmente de partículas finas como arcilla, limo y materia orgánica.

Edómetro

Dispositivo de laboratorio utilizado para la evaluación de la compresibilidad de un suelo bajo condiciones de confinamiento y bajo acción de cargas verticales. Permite determinar cómo se deforma un suelo bajo una carga debido a la variación de su presión de poros.

Estabilización

Técnicas y métodos utilizados para mejorar las propiedades de un suelo, con el objeto de aumentar su resistencia, reduciendo la posibilidad de movimientos o fallas, garantizando su estabilidad a largo plazo.

Expansión libre

Capacidad de los suelos arcillosos de aumentar su volumen debido a la absorción del agua sin restricciones externas que impidan su crecimiento

Expansión Controlada

Condición en la que un suelo arcilloso absorbe agua mientras se restringe su cambio de volumen, desarrollando una presión de expansión como respuesta a dicha restricción.

Grado de ajuste estadístico

También llamado “bondad de ajuste o correlación” se refiere a lo bien que un modelo se adapta o ajusta a los datos observados. Se utiliza para determinar si un modelo es adecuado para describir la relación entre variables o si se puede confiar en sus predicciones.

Hidrómetro

Instrumento utilizado para determinar la distribución del tamaño de partículas finas menores de 0.002 mm (2 μm) de un suelo.

Índice de expansión

Es un indicador directo que permite calcular el potencial que tiene un suelo de expandirse. Expresa el valor probable de expansión en función de la altura de la capa del material arcilloso.

Muestra inalterada

Una muestra inalterada es aquella que se extrae del suelo de manera que se conserva su estructura original y propiedades (densidad y contenido de agua). Son utilizadas para ensayos de laboratorio que requieren una representación precisa del suelo en su estado natural.

Muestra remoldeada

Una muestra remoldeada es aquella que ha sido alterada de su estado natural durante el proceso de muestreo y transporte, y ha sido reconstruida para poder realizar ensayos específicos, lo que cambia sus propiedades originales.

Norma estandarizada

Es un conjunto de reglas y procedimientos técnicos que especifican cómo realizar pruebas, análisis o cálculos, asegurando uniformidad y calidad; son establecidas por organizaciones de normalización como la ISO o entes gubernamentales.

Peso específico

Se define como el peso por unidad de volumen de un suelo, se expresa en unidades de fuerza por unidad de volumen (N/m^3)

Potencial de expansión

Es una medida que expresa la capacidad que tiene un suelo para aumentar de volumen cuando absorbe agua, o de contraerse cuando la pierde; en especial los suelos arcillosos.

Presión de hinchamiento

Es el valor de la presión que ejerce un suelo arcilloso al incrementar su volumen por fenómenos de hinchamiento que se producen al absorber agua.

Capítulo III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito geográfico

La presente investigación se desarrolló íntegramente en la zona delimitada por el departamento de Cusco, analizando muestras extraídas de zonas delimitadas por la Formación San Sebastián y el Depósito Lacustre de edad cuaternaria en Huacarpay.

Los laboratorios en los que se llevaron a cabo los ensayos se encuentran en la ciudad del Cusco: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil ubicado en la Ciudad Universitaria de Perayoc Av. de la Cultura N° 733 y en el Laboratorio de Mecánica de Suelos J&T Ingeotecnia ubicado en la calle Las Palmeras A-1 SN Kary Grande – San Sebastián – Cusco.

Los resultados de esta investigación son aplicables a lugares que presenten suelos similares y formación geológica parecida.

3.2. Nivel de Estudio de la investigación

El nivel de estudio o tipo de investigación de acuerdo al nivel de profundidad se consideró de nivel correlacional, el cual tiene como objeto conocer el grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables de una muestra o característica en particular. Para evaluar el grado de relación entre dos o más variables, en estudios de tipo correlacional, primero se mide independientemente cada una de ellas, después se cuantifican, analizan y se establecen las vinculaciones. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

Esta investigación se centró en encontrar la relación entre dos conjuntos de datos, encajando directamente con un nivel correlacional. No se manipularon las variables, ni se buscaron causas específicas para la comprobación de las hipótesis, reforzándose con el uso de parámetros estadísticos como el coeficiente de correlación (r) y el coeficiente de determinación (R^2).

3.3. Tipo y Enfoque de investigación

El tipo de investigación de acuerdo a la forma de la inferencia que se tomó fue inductivo, partiendo de la recopilación y análisis de las propiedades de los suelos y qué métodos indirectos de cálculo de la presión de expansión de suelos tienen cierto grado de correlación con los métodos directos.

El enfoque metodológico de la investigación fue cuantitativo, midiendo en laboratorio los resultados numéricos de los parámetros de forma directa y objetiva, y usando cálculos matemáticos y estadísticos y ecuaciones cuantificables.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue no experimental porque, aunque estuvo basado en ensayos de laboratorio, se realizó el análisis de la relación entre datos analíticos medidos y estimados tal como se muestran en la realidad, sin manipular ninguna de las variables.

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), los estudios experimentales o de intervención generan una situación para tratar de explicar cómo afecta la manipulación de tratamientos, estímulos o intervenciones en las variables independientes sobre otras variables en una situación de control. En este caso, la investigación combinó datos de campo recolectados directamente de las muestras y ensayos y datos documentales de métodos indirectos de literatura, con un enfoque experimental limitado solo a la medición, pero no a la manipulación de variables.

3.5. Unidad de análisis

La unidad de análisis fueron muestras de suelo inalteradas, extraídas de los bloques cúbicos, para luego ser moldeadas y ensayadas en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, las cuales fueron evaluadas en lo correspondiente a sus propiedades índice y la presión de expansión mediante ensayos directos.

3.6. Universo y Población de estudio

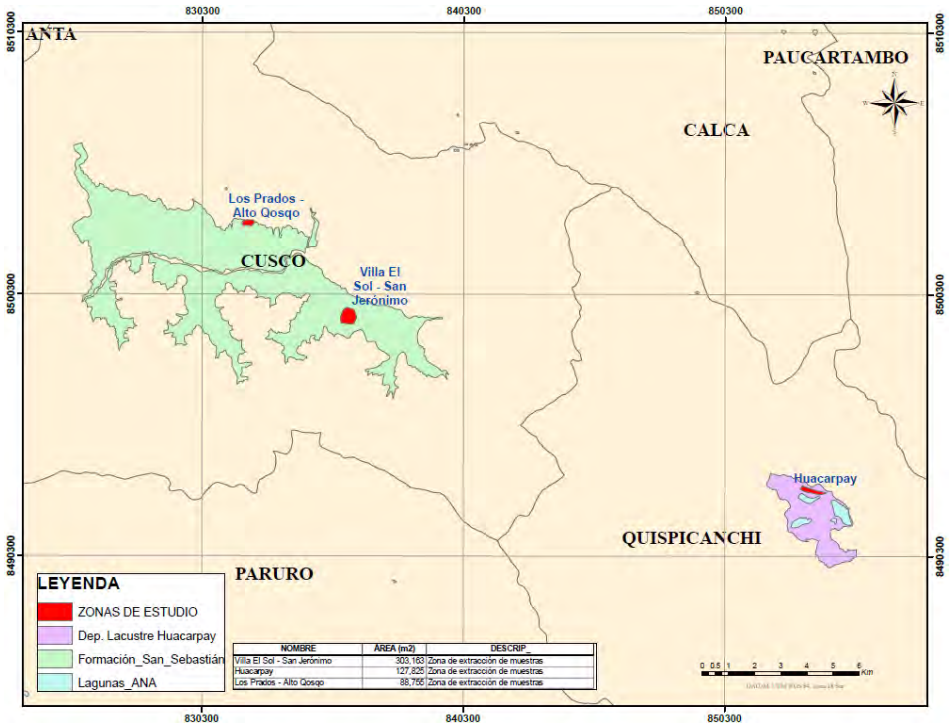
Para el desarrollo de esta investigación, se define como universo o superpoblación de estudio a los suelos delimitados por la Formación San Sebastián y el Depósito Lacustre de edad cuaternaria en Huacarpay (Lucre).

La población de estudio se establece mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, con base en el tipo de suelo requerido para el análisis de esta investigación (suelos cohesivos de alta plasticidad), limitando así la población de estudio a las zonas (Mapa en Anexo 02):

- APV Los Prados – Alto Qosqo (Formación San Sebastián)
- APV Villa el Sol – San Jerónimo (Formación San Sebastián)
- Centro Poblado de Huacarpay – (Depósito Lacustre Huacarpay)

Figura 19.

Ubicación de las zonas de estudio (Población de estudio)



Nota. Fuente (INGEMMET, 2010)

3.7. Muestra

Las unidades de análisis representativas fueron muestras de suelos cohesivos extraídas de calicatas a cielo abierto de forma inalterada en bolsa, para conservar sus propiedades y humedad natural. Se utilizaron muestras para la determinación de las propiedades índice de cada tipo de suelo extraído y muestras moldeadas de 6 cm de diámetro por 2 centímetros de altura para el ensayo de expansión controlada en el edómetro NTP 339.170 (ASTM D4546).

3.7.1. Tipo de muestreo

Para la obtención de la muestra, en el presente trabajo de investigación se realiza un muestreo no probabilístico circunstancial, puesto que según (Sánchez Carlessi & Reyes Meza, 2021), el muestro no probabilístico circunstancial o por conveniencia selecciona una muestra que atiende razones de circunstancias que en este caso serían suelos con potencial de hinchamiento considerable (arcillas altamente plásticas).

3.7.2. Tamaño de muestra

De acuerdo con lo planteado en la investigación, para el cálculo del tamaño de la muestra se consideró realizar el cálculo mediante la fórmula estadística de proporción de muestra para poblaciones finitas:

$$n = \frac{Z_a{}^2 * p * q * N}{d^2 * (N - 1) + Z_a{}^2 * p * q} \quad \text{...Ecuación 15}$$

Donde:

N: Tamaño de la población

Z_a: Valor crítico de la distribución normal estándar, basado en el nivel de confianza

p: proporción esperada

q: Proporción complementaria (1-p)

d: Precisión (error máximo admisible)

Para lo cual se tienen los siguientes valores:

N = 52 hectáreas

Z_a: basado en el nivel de confianza de acuerdo a la tabla estadística

Tabla 7.

Valores de Z_a en base al nivel de confianza.

Nivel de Confianza	Calificación Z_a
0.9	1.645
0.95	1.960
0.98	2.330
0.99	2.575

Nota. Fuente (Walpole & Myers, 2012)

Considerando un nivel de confianza de 0.99 se tiene el valor de Za=2.575

p: proporción esperada del 98% (**p=0.98**)

q = 0.02

d: Precisión = 0.04

Dando como resultado:

$$n = \frac{2.575^2 * 0.98 * 0.02 * 52}{0.04^2 * (52 - 1) + 2.757^2 * 0.98 * 0.02}$$

$$\boldsymbol{n = 31.9 = 32}$$

En la fase de investigación in situ se programó realizar un muestreo cada cierta área analizada. El método de muestreo seleccionado consistió en excavar pozos de sondeo a cielo abierto y recoger muestras a profundidades de 1.5 y 2.5 metros utilizando el método de bloques sin alterar, con muestras cúbicas de 30 x 30 x 30 cm, obteniendo un total de 32 muestras distribuidas en 17 calicatas de sondeo. Las muestras de suelo extraídas de forma inalterada fueron distribuidas de la siguiente forma:

ZONA DE ESTUDIO	ÁREA (m2)	Hectáreas	# Muestras	# Calicatas
Los Prados - Alto Qosqo	88,755	8.9	5	3
Villa el Sol - San Jerónimo	303,163	30.3	19	10
Huacarpay - Lucre	127,825	12.8	8	4
TOTAL		52.0	32	17

3.8. Técnicas de Recolección de Datos e Información

Se emplearon diferentes técnicas basadas en:

3.8.1. Técnicas

Los datos y la información que se requirieron para la investigación de investigación se recolectaron inicialmente mediante observaciones de campo para la ubicación y definición de las zonas y puntos de muestreo y posteriormente en laboratorios de Mecánica de Suelos y Materiales. Se tomó el registro de los ensayos mecánicos y expansivos a los especímenes de diferentes calicatas. Con ello se determinaron las propiedades índice de los suelos y la presión de expansión del suelo estudiado. En este estudio se utilizaron los siguientes métodos de recopilación de datos e información:

- Bibliografía técnica.
- Fuentes de Internet.
- Normas nacionales e internacionales vigentes.
- Ensayos de Laboratorio.
- Ficha de recolección y procesamiento de datos.

Se presentan las fichas de procesamiento de datos en los Anexos N° 03, 04, 05 y 06 y los certificados de calibración de los equipos y los certificados de uso del laboratorio en los Anexos N° 11 y 12, respectivamente.

3.8.2. Análisis documental.

Se examinaron libros, tesis, artículos, revistas y otros recursos relacionados con el tema de investigación con el fin de recopilar información teórica y documental sobre la formulación

del problema y la pregunta de investigación. También se buscaron datos geológicos (mapas geológicos y artículos del INGEMMET). Los ensayos se llevaron a cabo utilizando normas nacionales e internacionales vigentes, como las normas NTP emitidas por el INACAL y la ASTM.

3.8.3. Instrumento.

Los instrumentos que se usaron para la recolección de datos para los fines de esta investigación fueron fichas de recolección de datos para todos los ensayos realizados.

3.9. Técnicas de análisis e interpretación de la información

3.9.1. Técnicas de procesamiento.

Con los datos obtenidos de los ensayos, se procedió a la evaluación y caracterización de los suelos estudiados. A partir de estos se hizo una interpretación para llegar a un conocimiento de acuerdo a los objetivos del proyecto de investigación.

- Se realizó la descripción y clasificación del tipo de suelo para cada muestra evaluada y se obtuvieron las propiedades índice de estos mediante ensayos de laboratorio.
- Se procedió a la realización de los ensayos para la determinación de la presión de expansión de los suelos por los métodos directos e indirectos de acuerdo a la normativa y bibliografía disponible.
- Se realizó un análisis de los datos y resultados obtenidos y se elaboraron correlaciones y gráficos para determinar la relación entre los valores calculados por ambos métodos.

3.9.2. Análisis de datos.

El procesamiento de datos, las tablas, los gráficos, las ecuaciones y el análisis estadístico se realizaron en Microsoft Excel debido a que cuenta con los módulos necesarios para esta tarea. La interpretación de los resultados se realizó con base en las siguientes normas y reglamentos: EG – 2013, NTE E.050, Normas NTP 339 de suelos, Normas internacionales ASTM para ensayos de suelos, SUCS, para enmarcar la discusión de los resultados y conclusiones finales.

La redacción de la investigación se realizó según el formato de la American Psychological Association (APA), 7.ª edición.

Los indicadores estadísticos que se utilizaron para el desarrollo de la investigación fueron los siguientes:

3.9.2.1. Índice de concordancia de Willmott (d)

Este es un índice de desempeño para análisis estadístico de un modelo desarrollado para evaluar el grado de concordancia entre valores observados y valores estimados por un modelo; es la relación entre el error cuadrático medio y el error potencial. Este índice adimensional es utilizado principalmente para evaluar el desempeño global de modelos predictivos, considerando la proximidad entre valores medidos y valores estimados, yendo más allá del solo grado de asociación. Tiene un rango de 0 a 1; los valores más altos indican mejor concordancia (concordancia perfecta si es igual a 1) entre lo estimado por el modelo y las observaciones, y si el resultado es 0, indica una ausencia total de concordancia. Se calcula mediante la siguiente expresión matemática: (Willmott, 1982)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_{est,i} - P_{exp,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|P_{est,i} - Pm_{exp}\right| + \left|P_{exp,i} - Pm_{exp}\right|\right)^2} \qquad \text{...Ecuación 16}$$

Donde:

$P_{est,i}$: Valor estimado

$P_{exp,i}$: Valor experimental

Pm_{exp}: Valor promedio experimental

n: Número de observaciones

3.9.2.2. Error relativo y error relativo porcentual

El error relativo es un valor adimensional que indica la diferencia entre el valor estimado y el valor obtenido experimentalmente en relación con el valor experimental. Este valor permite evaluar la magnitud y el sentido del error que se presenta por el uso del modelo. El error relativo porcentual es una forma del error relativo expresada en términos porcentuales. Se calculan mediante las siguientes fórmulas matemáticas: (Montgomery, 2020)

$$ER_i = \frac{P_{est,i} - P_{exp,i}}{P_{exp,i}} \qquad \text{...Ecuación 17}$$

$$ER\%_i = \left(\frac{P_{est,i} - P_{exp,i}}{P_{exp,i}}\right) * 100\% \qquad \text{...Ecuación 18}$$

Donde:

ER_i: Error relativo

$ER_i\%$: Error relativo porcentual

$P_{est,i}$: Valor estimado

$P_{exp,i}$: Valor experimental

Los valores cercanos a 0 indican una alta precisión, los valores negativos indican una subestimación del valor real y valores del error relativo mayores de cero indican una sobreestimación.

3.9.2.3. Error absoluto medio (MAE)

El error absoluto medio (Mean Absolute Error) representa el promedio de los valores absolutos de los errores individuales, lo cual proporciona una medida directa de la magnitud del promedio del error generado por el modelo, sin considerar el signo. Valores bajos del MAE indican una mayor exactitud del modelo. Se calcula mediante la siguiente expresión: (Willmott, 1982).

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{\mathrm{n}} * \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \left|\mathrm{P_{est,i}} - \mathrm{P_{exp,i}}\right| \qquad \text{...Ecuación 19}$$

Donde:

$P_{est,i}$: Valor estimado

$P_{exp,i}$: Valor experimental

n: número de observaciones

3.9.2.4. Error relativo medio

El error relativo medio (ERM) es el promedio de los valores de error relativo individuales y permite evaluar el sesgo general del modelo, es decir, si el modelo tiende a subestimar o sobreestimar con respecto a los valores experimentales. Se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$ERM = \frac{1}{n}\sum_{i=n}^{n}\left(\frac{P_{est,i} - P_{exp,i}}{P_{exp,i}}\right) \qquad \text{...Ecuación 20}$$

Donde:

$P_{est,i}$: Valor estimado

$P_{exp,i}$: Valor experimental

Pm_{exp}: Valor promedio experimental

n: número de observaciones

3.9.2.5. Coeficiente de correlación de Pearson (r)

Es un dato estadístico adimensional que indica la posible relación existente entre dos variables cuantitativas o dos grupos de datos, denotando la fuerza y el sentido de la relación

lineal entre ellas. La fuerza indica qué tan cerca están los puntos de formar una línea recta en un gráfico de dispersión, y la dirección, si la línea es ascendente (positiva) o descendente (negativa) (Sánchez Carlessi & Reyes Meza, Metodología y Diseños en la Investigación Científica, 2015). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$r = \frac{\sum((X_i - \ddot{X})\,(Y_i - \ddot{Y}))}{\sqrt{\sum(X_i - \ddot{X})^2 * \sum(Y_i - \ddot{Y})^2}} \qquad \text{...Ecuación 21}$$

Donde:

X_i : Valor de la variable X

Y_i : Valor de la variable Y

$\ddot{X}$: Valor promedio de los valores obtenidos para la variable X

$\ddot{Y}$: Valor promedio de los valores obtenidos para la variable Y

3.9.2.6. Coeficiente de determinación (R^2)

En un modelo de regresión, el coeficiente de determinación es una medida estadística que expresa en qué medida las variables independientes explican la variabilidad de la variable dependiente. Su valor se encuentra entre 0 y 1, donde un valor igual a 1 significa un ajuste perfecto donde el modelo explica toda la variabilidad, mientras que un valor cercano a 0 indica que el modelo no refleja o explica bien la variabilidad de los datos. (Palomino, Villatoro, & Alvarado, 2021). Se calcula a través de la siguiente expresión matemática:

$$R^2 = r^2 \qquad \text{...Ecuación 22}$$

Donde:

r : Coeficiente de correlación de Pearson

3.10. Descripción de ensayos realizados.

3.10.1. Extracción de bloques de suelo inalterados - NTP 339.151

Objetivo

Establecer el procedimiento para preservar las condiciones naturales de las muestras inmediatamente después de obtenidas del terreno, considerando así su transporte y manejo.

Procedimiento

- Las muestras inalteradas se deben envolver en empaques que eviten la pérdida de humedad tales como plásticos, papel aluminio o baños de cera.
- Se deben preservar y sellar en envases para protección contra choques, vibraciones y cambios de temperatura.

- Las muestras que son transportadas por el personal de laboratorio en la tolva de un vehículo automotor, deberán ser colocadas en cajas de madera para asegurar el amortiguamiento y aislamiento, evitando golpes, volcamientos y caídas.
- Se deberán rotular las muestras, indicando el código de muestra, zona de extracción, profundidad e indicando la posición superior de la muestra.

Aplicación e importancia

Métodos desarrollados para muestras de suelo extraídas de manera inalterada, que serán ensayadas en laboratorio para obtener sus propiedades de ingeniería.

Es responsabilidad del profesional consultar, establecer y asegurar medidas de seguridad para la protección de la muestra de acuerdo a los requerimientos que se necesitan.

3.10.2. Granulometría del Suelo - NTP 339.128

3.10.2.1. Granulometría por Tamizado (MTC E107)

Objetivo

Obtener la curva granulométrica de las partículas que componen el suelo, calculando, de acuerdo con los requisitos técnicos, la proporción de material que pasa a través de cada tamiz o que queda retenido en él.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se selecciona una cantidad representativa del suelo y se separan las partículas del suelo menores al tamiz N° 200 mediante lavado.

Se seca en el horno el sobrante de las partículas después del lavado y el resultante es la muestra que se somete a tamizado.

- Tamizado:

De acuerdo con la normativa técnica vigente, se utiliza un juego de tamices normalizados.

La muestra se tamiza a mano o con una tamizadora.

- Pesado y cálculo:

Se toma registro del peso retenido en cada tamiz.

Se calcula el porcentaje de material retenido, acumulado retenido y porcentaje que pasa para cada tamiz.

Resultados

Curva granulométrica del suelo: Gráfico que muestra la distribución de tamaños de partículas mayores a 0.075 mm

Aplicación e importancia

Mediante este modo operativo de gradación del tamaño de partículas, se puede determinar la curva granulométrica de partículas del suelo, utilizando los porcentajes de masa que pasan por cada tamiz, hasta el tamiz de 0.075 mm (N° 200).

Con estos datos, se establece un criterio de clasificación de suelos a través del tamaño de sus partículas.

3.10.2.2. Granulometría por Sedimentación (MTC E109)

Objetivo

Se usa para determinar la distribución de tamaño de partículas de suelos menores a 0.075 mm, aunque es aplicable para partículas de suelos de tamaño máximo de hasta 2 mm.

Para este ensayo se utiliza el hidrómetro, el cual mide el porcentaje de partículas dispersadas que permanecen en suspensión en un determinado tiempo, y mediante la ley de Stokes se usa la velocidad de sedimentación para calcular los porcentajes del suelo de determinado tamaño.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Se selecciona una cantidad representativa del suelo y se sumerge en mezcla de agua destilada con hexametafosfato de sodio como agente defloculante $(NaPO_3)_6$ para separar las uniones de las partículas del suelo.

Al día siguiente, se coloca en una probeta para comenzar el proceso de sedimentación.

- Medición:

Se realiza la medición de las partículas suspendidas con el hidrómetro.

Se realizan correcciones por temperatura, defloculante y el menisco formado en la mezcla.

- Cálculo:

Se utiliza la fórmula de Stokes para el cálculo del diámetro de las partículas suspendidas en determinado tiempo, con lo que se puede calcular, por diferencia, la cantidad de partículas sedimentadas correspondientes a cada tamaño.

También se puede utilizar la siguiente fórmula para determinar el diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento en que se obtiene cada lectura del hidrómetro:

$$D(mm) = K * \sqrt{\frac{L}{t}} \qquad \text{...Ecuación 23}$$

Donde:

L = Profundidad efectiva en cm (medido en el hidrómetro)

T = Tiempo transcurrido en min.

$$K = \sqrt{\frac{30 * \mu}{(ts - tw) * g}} \qquad \text{...Ecuación 24}$$

Donde:

g = Aceleración de la gravedad

μ = Coeficiente de viscosidad del agua

ts = Peso unitario de sólidos del suelo

tw = Peso unitario del agua destilada

Aplicación e importancia

Se usa para determinar la gradación de las partículas más finas de determinados suelos (limos y arcillas). Con este ensayo se calcula el porcentaje de limos y porcentaje de arcillas presentes en el suelo.

3.10.3. Límites de consistencia - NTP 339.129

3.10.3.1. Límite Líquido - MTC E110

Objetivo

Calcular el porcentaje de humedad al que el suelo se encuentra entre los estados líquido y plástico. Para ello se utiliza la copa de Casagrande; una ranura creada por un ranurador en la parte inferior de la muestra se cierra a una distancia de 13 mm al golpear la copa mientras cae. El límite líquido es el contenido de humedad del suelo al cerrar el surco a 25 golpes de la cuchara de Casagrande.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

  Para este ensayo se utiliza una muestra de suelo que pasa la malla N° 40

- Ejecución

Se coloca la muestra de suelo húmeda sobre la cuchara de Casagrande, presionándola y esparciéndola de forma pareja, alcanzando su punto más profundo a una profundidad de 10 mm, formando una superficie horizontal y teniendo cuidado de no dejar burbujas interiores.

Con la ayuda del ranurador estandarizado para este ensayo, dividimos la muestra, formando un surco al medio.

Verificar que no haya ninguna muestra de tierra debajo de la copa. Sujetándola por el manubrio, subir y bajar la copa a un ritmo de dos movimientos por segundo hasta que las dos mitades de la tierra entren en contacto en la base de la ranura a lo largo de 13 mm.

- Medición:

Registrar el número de golpes necesario para cerrar la ranura. Tomar una tajada de la muestra, justo en la zona del cierre, y determinar su contenido de humedad.

El límite líquido será el contenido de humedad del suelo donde se produjo un cierre a 25 golpes. Se puede calcular por el método de multipunto, interpolando este valor con tres valores antes medidos o mediante el método monopunto, con la siguiente fórmula:

$$LL = w * \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \qquad \text{...Ecuación 25}$$

Donde:

N = Número de golpes requeridos para cerrar la ranura para el respectivo contenido de humedad.

w = Contenido de humedad

LL = Límite líquido

Aplicación e importancia

Este valor del límite líquido es utilizado como parte integral en varios sistemas de clasificación de suelos para ingeniería como AASHTO y SUCS. Este valor puede ser correlacionado con algunos comportamientos ingenieriles, tales como compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad y expansividad.

3.10.3.2. Límite Plástico - MTC E111

Objetivo

Calcular el porcentaje de humedad al que el suelo se encuentra entre los estados semisólido y plástico. Para ello, se forman cilindros o rollos delgados de suelo de unos 3.2 mm de diámetro y se hace rodar la muestra entre la palma de la mano y una placa de vidrio esmerilado sin que los cilindros se desmoronen.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

  Para este ensayo se utiliza una muestra de suelo que pasa la malla N° 40

- Ejecución

Tras dar forma de elipsoide a una muestra de suelo humedecida, se hace rodar con los dedos sobre el cristal esmerilado, ejerciendo presión suficiente para crear cilindros.

Si el cilindro formado no se ha desmoronado antes de llegar a un diámetro de 3.2 mm, se vuelve a juntar el elipsoide y se procede nuevamente hasta conseguir el desmoronamiento con dicho diámetro.

Con la porción así obtenida se procede al cálculo de su humedad, reuniendo dos grupos de seis gramos de muestras en forma de cilindros.

- Cálculo:

  Se calcula el promedio de las humedades, el resultado es el límite plástico.

Aplicación e importancia

Este valor del límite plástico es usado como punto fundamental en varios sistemas de clasificación de suelos para ingeniería como AASHTO y SUCS. Este valor puede ser correlacionado con algunos comportamientos ingenieriles, tales como compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, entre otros.

Cálculos de índice de Plasticidad

A la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo se le denomina índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP \qquad \text{...Ecuación 26}$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad

LL = Límite Líquido

LP = Límite Plástico

En casos que alguno de estos valores no pueda determinarse, se reportará el índice de plasticidad como NP (no plástico).

3.10.3.3. Límite de Contracción - MTC E112

Objetivo

Procedimiento para el cálculo de parámetros de contracción por pérdida de humedad en suelos. Consiste en la elaboración de galletas con una humedad conocida superior al límite

líquido para luego someterlas a pérdida de humedad reduciendo así su volumen, proporcionando los datos para el cálculo del límite de contracción, que se define como la humedad a la cual el suelo deja de reducir su volumen al perder agua.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

  Para este ensayo se utiliza una muestra de suelo que pasa la malla N° 40

- Ejecución

Se elabora una pastilla de suelo húmedo en un molde de volumen y masa conocidos y se seca completamente en horno.

Una vez seca y contraída la pastilla de suelo, se calcula su volumen mediante el método del recubrimiento con cera. Se mide el volumen de agua desplazado, sumergiendo la muestra y aplicando el principio de Arquímedes.

Medición:

Se registran los datos de masa y volumen del molde y la pastilla.

Se toma el dato de la masa de la pastilla más el molde antes y después del secado en el horno, así como el cálculo de la variación del volumen por pérdida de humedad.

El nivel de humedad por debajo del cual una arcilla deja de perder volumen a medida que pierde humedad se conoce como "límite de contracción". El contenido de humedad del suelo, expresado como porcentaje de la masa seca del suelo, se utiliza para calcular el límite de contracción, mediante la siguiente fórmula:

$$LC = w - \frac{(V - Vo) * \rho w}{Mo} * 100 \qquad \text{...Ecuación 27}$$

Donde:

w = humedad inicial de la pastilla

V = Volumen inicial de la pastilla

Vo = Volumen de la pastilla seca

Pw = Densidad del agua

Mo = Masa del suelo

LC = Límite de contracción

Aplicación e importancia

Este valor del límite de contracción permite estimar cuánto puede disminuir el volumen del suelo cuando pierde humedad; se puede utilizar para determinar suelos de alto contenido arcilloso, control de humedades en ejecución de obras y análisis de expansión de suelos.

3.10.4. Humedad Natural - NTP 339.127

Objetivo

Ensayo que sirve para obtener el contenido de agua presente en la muestra de suelo.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Para este ensayo se utiliza una muestra representativa del suelo, la cual deberá ser protegida de variaciones de temperatura y humedad del propio ambiente, para evitar resultados distorsionados.

- Ejecución

Se coloca la muestra de suelo en un horno a 110 °C por 16 horas, tomando registro de su masa antes y después del secado.

Medición:

Se registran los datos de masa del recipiente contenedor de la muestra y con los datos de masa húmeda y seca, mediante la fórmula siguiente se puede calcular el contenido de agua de una muestra de suelo:

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100\% \qquad \text{...Ecuación 28}$$

Donde:

W: humedad del suelo

W_w: peso del agua en la muestra

W_s: peso seco de los sólidos

Aplicación e importancia

Este valor nos indica el contenido de agua existente en la muestra de suelo ocupando los poros de este. Se utiliza en diseños de ingeniería, y es muy importante para realizar cálculos de las propiedades secas del suelo y húmedas, o viceversa.

3.10.5. Gravedad Específica de Partículas Sólidas - NTP 339.131

Objetivo

Procedimiento para el cálculo de la gravedad específica de sólidos de un suelo, es decir, partículas minerales del suelo formadas naturalmente que no son solubles rápidamente en agua. En este ensayo se utiliza un picnómetro de agua

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Para este ensayo se utiliza muestra del suelo pasante la malla N° 10.

Se debe contar con un picnómetro graduado con masa de agua hasta el nivel de su marca conocida.

- Ejecución

Se coloca una parte de la muestra de suelo secada al horno, con masa conocida, en un picnómetro.

Se procede a incorporar agua en el picnómetro hasta el nivel marcado de este.

Se somete a extracción del aire contenido en el picnómetro con la ayuda de una bomba de vacío. Una vez que ya no se observan burbujas de aire en la mezcla, se puede dejar reposar por un día o más para asegurarse de que todo el aire sea extraído, se procede a tomar la masa completando con agua hasta la altura exacta de la marca del picnómetro, considerando la corrección del menisco.

Medición:

Se registran los datos de masa y temperatura de ensayo del picnómetro y la mezcla colocada.

La gravedad específica de los sólidos del suelo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} \qquad \text{...Ecuación 29}$$

Donde:

Gs = gravedad específica de los sólidos

ρ_s = densidad de los sólidos

ρ_w = densidad del agua

Y la densidad de los sólidos calculada mediante la siguiente expresión, con los datos recabados durante el ensayo.

$$\rho_s = \frac{M_s}{M_s + M_{P,w} - M_{P,w,s}} \quad \text{...Ecuación 30}$$

Donde:

ρ_s = densidad de los sólidos

M_s = masa de los sólidos

$M_{P,w}$ = masa del picnómetro con agua (considerando la temperatura de ensayo)

$M_{P,w,s}$ = masa del picnómetro más el suelo y agua (corregido por temperatura)

Aplicación e importancia

El valor de la gravedad específica de los sólidos del suelo es utilizado en los cálculos de las relaciones de fase y volumétricas del suelo, tales como la relación de vacíos y grado de saturación. Es un indicador de las características del mineral que conforma la fase sólida del suelo.

3.10.6. Peso Unitario Natural - NTP 339.139

Objetivo

Determinar el peso unitario natural del suelo, entendiendo este como el peso del suelo en su estado natural por unidad de volumen, incluyendo sólidos, agua contenida y el aire presente en sus vacíos. Este parámetro es fundamental para la evaluación del estado del suelo in situ y para realizar cálculos de esfuerzo, capacidad portante y estabilidad.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Para este ensayo se utiliza una muestra representativa del suelo, extraída sin alterar en campo.

- Ejecución

Dependiendo del suelo, el método utilizado para el cálculo del volumen de la muestra fue el de la parafina y desplazamiento de agua por el principio de Arquímedes.

Se registra el peso de la muestra en su estado natural y después de ser parafinado.

Medición:

Con los datos, el peso unitario natural del suelo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \text{...Ecuación 31}$$

Donde:

γ: Peso unitario del suelo

W: Peso total de la muestra

V: volumen de la muestra

A partir del peso unitario natural, junto con los datos de humedad, relación de vacíos y gravedad específica de partículas sólidas del suelo, mediante las siguientes relaciones se puede calcular el peso unitario seco, saturado y sumergido:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \mathrm{w}} \qquad \text{...Ecuación 32}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) * \gamma_w}{1 + \mathrm{e}} \qquad \text{...Ecuación 33}$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \qquad \text{...Ecuación 34}$$

Donde:

γ: Peso unitario natural del suelo

γ_d: Peso unitario seco

γ_{sat}: Peso unitario saturado

γ': Peso unitario sumergido

γ_w: Peso unitario del agua

G_s: Gravedad específica de partículas sólidas

e: relación de vacíos del suelo

Aplicación e importancia

El valor del peso unitario natural del suelo es importante para cálculos de capacidad portante, esfuerzos, empujes y asentamiento. Conocer este valor es importante, ya que permite entender las condiciones iniciales del suelo y las respuestas después de la aplicación de cargas o variaciones de humedad.

3.10.7. Presión de Expansión por expansión controlada NTP 339.170

Objetivo

Determinar la presión de expansión generada por un suelo expansivo al incrementar su humedad. Este ensayo se realiza en el edómetro o consolidómetro, el cual impide las deformaciones horizontales y mide las deformaciones verticales limitadas con un dial de desplazamientos, todo esto generado por un incremento en la cantidad de agua de la muestra.

Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Para este ensayo se utiliza una muestra de suelo recortada cuidadosamente para caber exactamente en el anillo del edómetro.

Se toman los datos del diámetro y la altura de la muestra, así como su masa, para el cálculo del área y su deformación.

Se instala en el equipo junto con las piedras porosas y el papel filtro.

- Ejecución

Se coloca el sistema de medición de la deformación en cero.

Se coloca la carga inicial del ensayo y se toma nota de la deformación inicial.

Una vez estabilizado el sistema, se inicia la saturación bajo condiciones de deformación cero. El sistema del ensayo comienza con deformación producida por el hinchamiento de la muestra, que genera una presión vertical que tiene que ser compensada con la adición gradual de pesas para mantener la deformación igual a cero.

El proceso continúa hasta que el sistema se encuentre en un estado de equilibrio, donde la muestra ya no ejerce incremento adicional de presión; la presión de expansión corresponde al valor final de la sumatoria de todas las cargas colocadas para contrarrestar el hinchamiento.

Aplicación e importancia

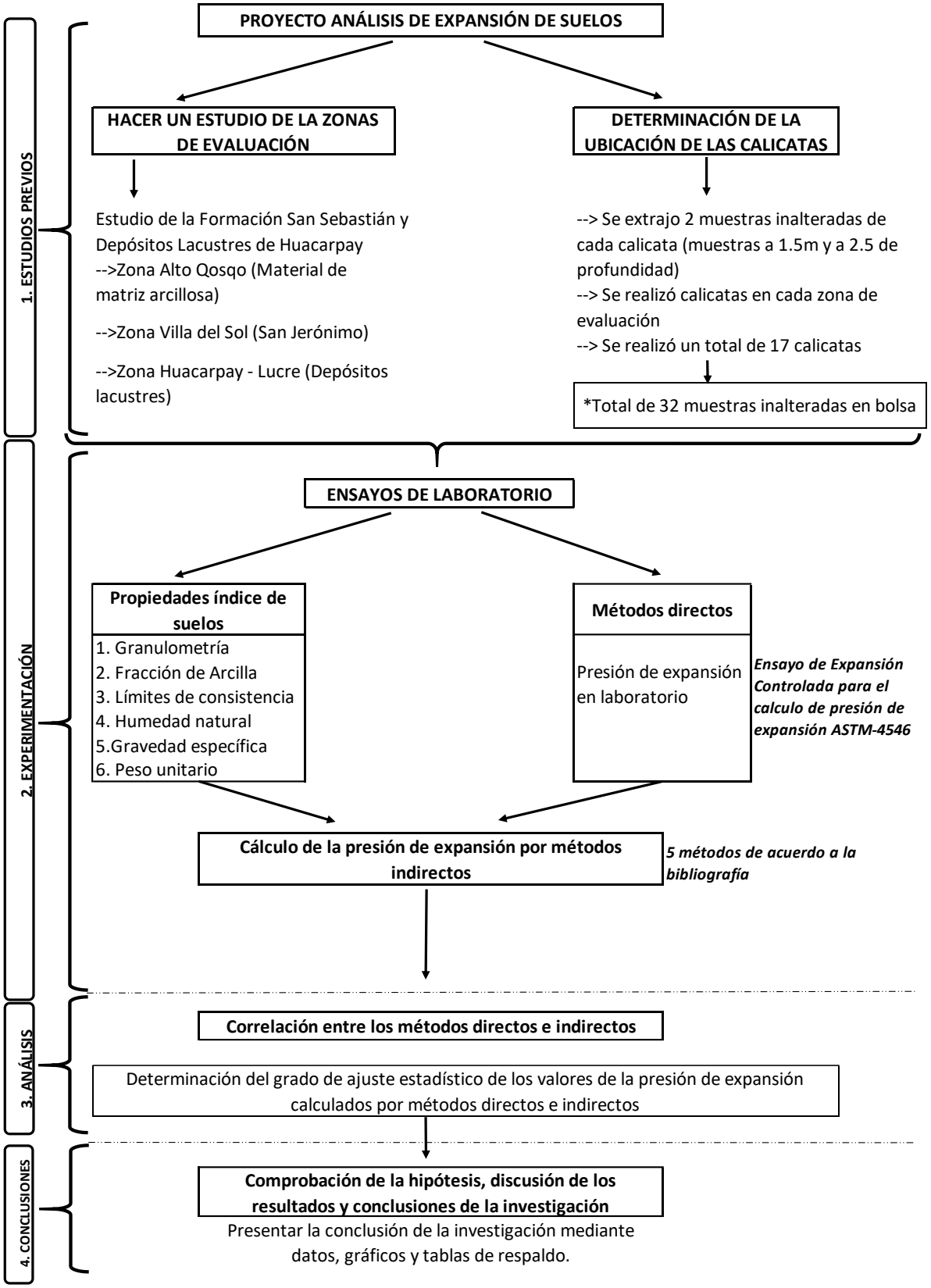
El valor de la presión de expansión es utilizado para diseños geotécnicos en zonas con presencia de suelos expansivos. Sirve para determinar si alguna estructura necesita ser apoyada junto con la aplicación de precargas, zanjas de alivio o mejoramiento de suelos para predecir levantamientos potenciales o asentamientos diferenciales.

3.11. Diagrama de flujo del proceso de investigación

Figura 20.

Diagrama de flujo del proceso de investigación.

En la siguiente página.


PROYECTO ANÁLISIS DE EXPANSIÓN DE SUELOS
1. ESTUDIOS PREVIOS
HACER UN ESTUDIO DE LA ZONAS DE EVALUACIÓN
DETERMINACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LAS CALICATAS
Estudio de la Formación San Sebastián y Depósitos Lacustres de Huacarpay
-->Zona Alto Qosqo (Material de matriz arcillosa)
-->Zona Villa del Sol (San Jerónimo)
-->Zona Huacarpay - Lucre (Depósitos lacustres)
--> Se extrajo 2 muestras inalteradas de cada calicata (muestras a 1.5m y a 2.5 de profundidad)
--> Se realizó calicatas en cada zona de evaluación
--> Se realizó un total de 17 calicatas
*Total de 32 muestras inalteradas en bolsa
2. EXPERIMENTACIÓN
ENSAYOS DE LABORATORIO
Propiedades índice de suelos
1. Granulometría
2. Fracción de Arcilla
3. Límites de consistencia
4. Humedad natural
5.Gravedad específica
6. Peso unitario
Métodos directos
Presión de expansión en laboratorio
Ensayo de Expansión Controlada para el calculo de presión de expansión ASTM-4546
Cálculo de la presión de expansión por métodos indirectos
5 métodos de acuerdo a la bibliografía
3. ANÁLISIS
Correlación entre los métodos directos e indirectos
Determinación del grado de ajuste estadístico de los valores de la presión de expansión calculados por métodos directos e indirectos
4. CONCLUSIONES
Comprobación de la hipótesis, discusión de los resultados y conclusiones de la investigación
Presentar la conclusión de la investigación mediante datos, gráficos y tablas de respaldo.

Capítulo IV: RECOLECCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

4.1. Recolección de datos

Se realizaron los ensayos de laboratorio en las 32 muestras de suelo que se extrajeron en bloques en estado inalterado (envueltas en papel metálico y film plástico, y colocadas en cajones de madera) de 17 calicatas a cielo abierto, distribuidas en las zonas planteadas.

4.1.1. Identificación de las zonas a estudiar

4.1.1.1. Villa el Sol – San Jerónimo

La A.P.V. Villa el Sol se encuentra en el distrito de San Jerónimo de la provincia del Cusco, departamento del Cusco. La zona estudiada se encuentra dentro de la Formación San Sebastián. El acceso a esta zona es pavimentado hasta cierto tramo (2.5 km desde la plaza de San Jerónimo) y continúa con un tramo de afirmado de 0.5 km. Esta es una zona de extracción de arcilla como materia prima para la elaboración de ladrillos, existiendo industria artesanal e industrializada. La disponibilidad de extracción de muestras de esta zona depende enteramente de los permisos solicitados a propietarios.

En la siguiente figura se muestra un mapa para ubicar la zona de extracción de muestras.

Figura 21.

Ubicación del APV Villa el Sol – San Jerónimo



Nota. Fuente (Google Earth).

4.1.1.2. Huacarpay – Lucre

El Centro Poblado de Huacarpay está ubicado al sureste de la ciudad del Cusco, a la derecha de la vía PE-3S Carretera Longitudinal de la Sierra Sur en el km 900. Pertenece al distrito de Lucre en la provincia de Quispicanchis del departamento de Cusco. Se encuentra dentro del depósito lacustre Huacarpay. Es una zona con presencia de arcillas de depósitos lacustres de la laguna de Huacarpay. La disponibilidad de extracción de muestras de esta zona es restringida, ya que son terrenos ocupados por viviendas, pero con disposición de trámites de permisos con la municipalidad distrital y propietarios de la zona.

En la siguiente figura se muestra un mapa referencial para ubicar la zona de extracción de muestras.

Figura 22.

Ubicación del C.P. Huacarpay - Lucre



Nota. Fuente (Google Earth).

4.1.1.3. Los Prados – Alto Qosqo

El A.P.V Los Prados de Alto Qosqo, se ubica en el distrito de San Sebastián en el Cusco, a 4 km desde la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ubicada dentro de la Formación San Sebastián. Cuenta con un acceso pavimentado. La disponibilidad de esta zona para la extracción de muestras es limitada, ya que depende del permiso de los propietarios.

De la misma forma, en la siguiente figura de muestra un mapa referencial para ubicar la zona de extracción de muestras.

Figura 23.

Ubicación del APV Los Prados – Alto Qosqo



Nota. Fuente (Google Earth).

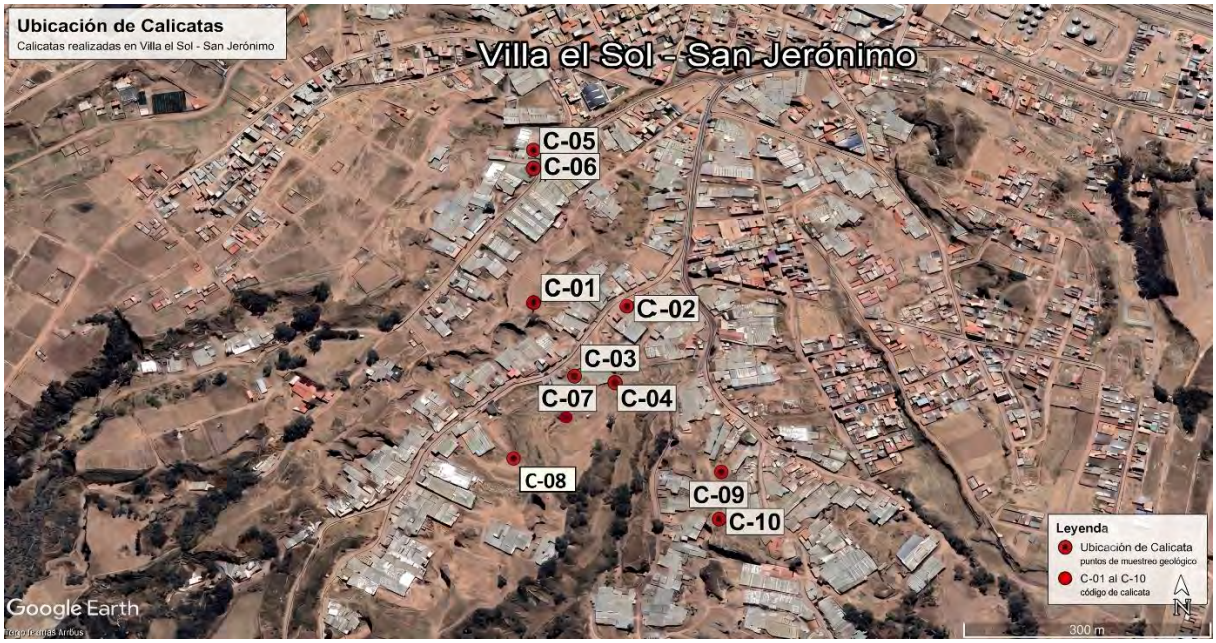
4.1.2. Selección y recolección de muestras

4.1.2.1. Villa el Sol – San Jerónimo

Se realizaron 10 calicatas en esta zona, en las que no se encontró presencia de nivel freático, de donde se extrajeron 19 muestras de suelo en forma de bloques inalterados que se distribuyeron de la siguiente manera:

Figura 24.

Ubicación de calicatas en el APV Villa el Sol – San Jerónimo



En la siguiente tabla se detallan las coordenadas geográficas de las calicatas realizadas.

Tabla 8.

Coordenadas de la calicata en el APV Villa el Sol – San Jerónimo

Calicata	Codificación de Calicata	Coordenadas		# Muestra	Codificación de Muestra	Profundidad
		Norte	Este			
1	CT-1	8499655.00	186347.00	1	VS-MI-01	1.50
				2	VS-MI-02	2.50
2	CT-2	8499631.00	186346.00	3	VS-MI-03	1.50
				4	VS-MI-04	2.50
3	CT-3	8499619.00	186348.00	5	VS-MI-05	1.50
				6	VS-MI-06	2.5
4	CT-4	8499613.00	186334.00	7	VS-MI-07	1.50
				8	VS-MI-08	2.5
5	CT-5	8499769.00	186251.00	9	VS-MI-09	1.50
				10	VS-MI-10	2.5
6	CT-6	8499745.00	186241.00	11	VS-MI-11	1.50
				12	VS-MI-12	2.5
7	CT-7	8499523.00	186222.00	13	VS-MI-13	1.50
				14	VS-MI-14	2.5
8	CT-8	8499500.00	186224.00	15	VS-MI-15	1.50
				16	VS-MI-16	2.5
9	CT-9	8499456.00	186479.00	17	VS-MI-17	1.50
				18	VS-MI-18	2.5
10	CT-10	8499442.00	186474.00	19	VS-MI-19	1.50
				-	-	-

4.1.2.2. Huacarpay – Lucre

Se realizaron 4 calicatas en esta zona, de donde se extrajeron 8 muestras de suelo en forma de bloques inalterados que se distribuyeron de la siguiente manera:

Figura 25.

Ubicación de calicatas en el C.P. Huacarpay - Lucre



Nota. Fuente propia

En la siguiente tabla se detallan las coordenadas geográficas de las calicatas realizadas.

Tabla 9.

Coordenadas de la calicata en el C.P. Huacarpay - Lucre

Calicata	Codificación de Calicata	Coordenadas		# Muestra	Codificación de Muestra	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
		Norte	Este				
1	CT-11	8493433.0	204758.0	1	HU-MI-20	1.50	1.800
				2	HU-MI-21	2.50	1.800
2	CT-12	8493415.0	204769.0	3	HU-MI-22	1.50	1.500
				4	HU-MI-23	2.50	1.500
3	CT-13	8493411.0	204745.0	5	HU-MI-24	1.50	1.800
				6	HU-MI-25	2.50	1.800
4	CT-14	8493437.0	204418.0	7	HU-MI-26	1.50	1.800
				8	HU-MI-27	2.50	1.800

4.1.2.3. Los Prados – Alto Qosqo

Se realizaron 3 calicatas en esta zona, de donde se extrajeron 5 muestras de suelo en forma de bloques inalterados (forrados y encajonados). Cabe señalar que no se encontró nivel freático. La ubicación de las calicatas se distribuyó de la siguiente manera:

Figura 26.

Ubicación de calicatas en el APV Los Prados – Alto Qosqo



Nota. Fuente propia

En la siguiente tabla se detallan las coordenadas geográficas de las calicatas realizadas.

Tabla 10.

Coordenadas de la calicata en el APV Los Prados – Alto Qosqo

Calicata	Codificación de Calicata	Coordenadas		# Muestra	Codificación de Muestra	Profundidad
		Norte	Este			
1	CT-15	8503263.00	182640.00	1	AT-MI-28	1.80
				2	AT-MI-29	2.80
2	CT-16	8503263.00	182655.00	3	AT-MI-30	2.80
				4	AT-MI-31	1.80
3	CT-17	8503280.00	182493.00	5	AT-MI-32	2.80
				-	-	-

4.2. Resultados de ensayos de laboratorio

4.2.1. Resultados de caracterización, propiedades índice y sedimentación

Los ensayos de laboratorio realizados en las muestras extraídas de manera inalterada están divididos en tres grupos: ensayos para la caracterización de los suelos, como ensayos de límites de consistencia y granulometría por tamizado, para determinar el porcentaje de

partículas menores a la malla #200, los cuales son básicos para la clasificación de los suelos en base a sistemas como el SUCS y AASHTO (Los resultados detallados se presentan en el Anexo 3). También están los ensayos para determinar las propiedades índice de los suelos, que determinan los parámetros físicos y volumétricos del suelo en un determinado momento y el ensayo de granulometría por sedimentación. (Las hojas de cálculo se muestran en los Anexos 4 y 5, respectivamente).

En la siguiente tabla se muestra un compilado de los resultados de los ensayos de propiedades intrínsecas de los suelos muestreados de manera inalterada. Estos resultados comprenden los ensayos de caracterización para clasificación de suelos, ensayos para determinación de propiedades índice y ensayo de granulometría por sedimentación.

Tabla 11.

Compilado de resultados de ensayos de caracterización y propiedades índice.

DATOS DE LA MUESTRA							CARACTERIZACIÓN					CLASIFICACIÓN		PROPIEDADES ÍNDICE				ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN		
ZONA	Calicata	Coordenadas		Muestra (Codificación)	Profundidad	Nivel Freático	Humedad Natural	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	% Finos	SUCSC	AASHTO	Límite de Contracción	Gravedad Específica	Peso Unitario Húmedo	Peso Unitario Seco	Porcentaje de Limos	Contenido de Arcillas (< 0,002 mm)	Actividad
		Norte	Este		(m)	(m)	%	%	%		%			%		(kN/m³)	(kN/m³)	%		
Villa el Sol - San Jerónimo	CT-1	8499655.00	186347.00	VS-MI-01	1.50	NO	17.86	55	22	33	99.49	CH	A-7-6(38)	8.10	2.63	19.15	16.24	44.27	55.21%	0.61
				VS-MI-02	2.50	NO	30.69	51	22	29	99.79	CH	A-7-6(32)	10.55	2.66	18.43	14.10	57.20	42.59%	0.67
	CT-2	8499631.00	186346.00	VS-MI-03	1.50	NO	32.65	52	25	27	99.86	CH	A-7-6(31)	10.50	2.65	19.17	14.45	48.93	50.92%	0.53
				VS-MI-04	2.50	NO	26.48	55	27	28	99.45	CH	A-7-6(33)	13.47	2.62	19.18	15.16	41.17	58.29%	0.48
	CT-3	8499619.00	186348.00	VS-MI-05	1.50	NO	31.96	53	23	29	99.83	CH	A-7-6(33)	9.46	2.65	19.07	14.45	47.26	52.57%	0.56
				VS-MI-06	2.50	NO	33.03	52	21	30	99.91	CH	A-7-6(34)	9.03	2.62	19.27	14.49	57.99	41.92%	0.72
	CT-4	8499613.00	186334.00	VS-MI-07	1.50	NO	33.40	52	23	29	99.88	CH	A-7-6(33)	10.11	2.62	19.02	14.26	47.42	52.46%	0.55
				VS-MI-08	2.50	NO	33.80	52	22	30	99.91	CH	A-7-6(34)	12.27	2.63	19.71	14.73	47.91	52.00%	0.58
	CT-5	8499769.00	186251.00	VS-MI-09	1.50	NO	29.81	53	22	31	99.75	CH	A-7-6(35)	11.86	2.63	19.13	14.74	41.61	58.15%	0.53
				VS-MI-10	2.50	NO	24.82	51	21	30	99.94	CH	A-7-6(34)	9.24	2.67	19.57	15.68	67.62	32.32%	0.93
	CT-6	8499745.00	186241.00	VS-MI-11	1.50	NO	30.14	53	23	31	99.77	CH	A-7-6(35)	10.33	2.64	19.36	14.87	41.00	58.77%	0.52
				VS-MI-12	2.50	NO	32.17	52	23	29	99.86	CH	A-7-6(33)	10.48	2.65	19.11	14.46	49.74	50.12%	0.57
	CT-7	8499523.00	186222.00	VS-MI-13	1.50	NO	25.66	55	25	30	99.61	CH	A-7-6(35)	12.61	2.67	19.38	15.42	44.57	55.04%	0.55
				VS-MI-14	2.50	NO	31.72	56	24	32	99.67	CH	A-7-6(36)	11.60	2.66	19.22	14.59	48.64	51.03%	0.62
	CT-8	8499500.00	186224.00	VS-MI-15	1.50	NO	24.53	52	22	30	99.67	CH	A-7-6(34)	11.88	2.67	18.77	15.07	43.34	56.33%	0.54
				VS-MI-16	2.50	NO	33.17	56	25	31	99.59	CH	A-7-6(35)	12.81	2.65	19.46	14.61	48.00	51.60%	0.59
	CT-9	8499456.00	186479.00	VS-MI-17	1.50	NO	21.18	52	21	31	99.93	CH	A-7-6(35)	11.44	2.63	18.13	14.96	54.98	44.95%	0.69
				VS-MI-18	2.50	NO	32.29	53	22	31	99.86	CH	A-7-6(35)	10.47	2.66	18.75	14.17	44.74	55.13%	0.56
	CT-10	8499442.00	186474.00	VS-MI-19	1.50	NO	31.10	53	22	32	99.95	CH	A-7-6(36)	11.22	2.64	19.20	14.65	55.66	44.28%	0.71
Huacarpay - Lucre	CT-11	8493433.00	204758.00	HU-MI-20	1.50	1.80	30.14	57	23	34	99.97	CH	A-7-6(39)	12.04	2.63	18.32	14.08	47.96	52.00%	0.65
				HU-MI-21	2.50	1.80	53.12	56	27	29	98.74	CH	A-7-6(34)	13.12	2.61	17.07	11.15	57.11	41.63%	0.70
	CT-12	8493415.00	204769.00	HU-MI-22	1.50	1.50	33.25	55	23	31	99.93	CH	A-7-6(36)	13.69	2.62	18.37	13.79	58.11	41.82%	0.75
				HU-MI-23	2.50	1.50	30.29	52	23	29	99.91	CH	A-7-6(33)	14.45	2.64	18.44	14.16	38.59	61.31%	0.47
	CT-13	8493411.00	204745.00	HU-MI-24	1.50	1.80	31.62	56	23	33	99.87	CH	A-7-6(38)	11.22	2.65	18.79	14.28	52.47	47.40%	0.70
				HU-MI-25	2.50	1.80	49.77	52	25	27	98.88	CH	A-7-6(31)	12.99	2.62	17.19	11.48	41.94	56.94%	0.47
	CT-14	8493437.00	204418.00	HU-MI-26	1.50	1.80	32.77	55	23	32	99.72	CH	A-7-6(37)	11.41	2.65	18.67	14.06	57.94	41.78%	0.77
				HU-MI-27	2.50	1.80	30.94	57	23	33	99.95	CH	A-7-6(38)	12.76	2.63	18.73	14.31	50.78	49.17%	0.68
Los Prados - Alto Qosqo	CT-15	8503263.00	182640.00	AT-MI-28	1.80	NO	33.92	53	29	24	99.12	CH	A-7-6(29)	17.41	2.63	17.20	12.84	53.31	45.81%	0.52
				AT-MI-29	2.80	NO	39.68	62	31	32	95.07	CH	A-7-5(36)	16.03	2.64	17.43	12.48	33.78	61.29%	0.52
	CT-16	8503263.00	182655.00	AT-MI-30	2.80	NO	40.11	61	31	30	92.35	CH	A-7-5(33)	13.58	2.66	18.66	13.32	33.98	58.37%	0.52
				AT-MI-31	1.80	NO	34.82	54	28	26	99.19	CH	A-7-6(31)	14.39	2.62	17.23	12.78	53.38	45.81%	0.57
	CT-17	8503280.00	182493.00	AT-MI-32	2.80	NO	38.66	61	31	30	98.06	CH	A-7-5(36)	15.77	2.65	17.13	12.35	33.97	64.10%	0.47

Nota. Fuente propia.

4.2.2. Resultados del ensayo de expansión controlada

El ensayo de expansión controlada para medir la presión de expansión se realizó en muestras talladas desde los bloques inalterados, tomándose registro de las humedades de la muestra justo antes de la colocación en el edómetro y al final del ensayo.

Para complementar con la investigación y tener una visión más amplia, se realizó también el ensayo de expansión libre y se calculó el dato del índice de expansión para todas las muestras, teniendo en general los datos de los ensayos de expansión en las siguientes tablas. De manera similar, se adjuntan las hojas con los datos detallados de estos ensayos en el Anexo 06.

4.2.2.1. Ensayos de expansión de suelos de APV Villa el Sol – San Jerónimo

Tabla 12.

Expansión de suelos de la A.P.V. Villa el sol

DATOS DE LA MUESTRA			ENSAYOS DE EXPANSIÓN			
ZONA	Muestra (Codificación)	Profundidad (m)	%W Inicial	%W Final	Presión de Expansión	Índice de Expansión
			%	%	kPa	%
Villa el Sol	VS-MI-01	1.5	17.86%	31.18%	305.56	13.09%
	VS-MI-02	2.5	30.69%	32.97%	51.41	2.91%
	VS-MI-03	1.5	32.65%	34.00%	76.17	5.24%
	VS-MI-04	2.5	26.48%	31.18%	101.50	5.29%
	VS-MI-05	1.5	31.96%	33.25%	91.11	4.94%
	VS-MI-06	2.5	33.03%	34.14%	33.58	2.48%
	VS-MI-07	1.5	33.40%	36.73%	38.08	5.07%
	VS-MI-08	2.5	33.80%	34.01%	12.91	1.77%
	VS-MI-09	1.5	29.81%	32.30%	96.64	4.81%
	VS-MI-10	2.5	33.06%	34.46%	32.35	2.63%
	VS-MI-11	1.5	30.14%	32.08%	97.33	5.21%
	VS-MI-12	2.5	32.17%	33.75%	70.37	4.44%
	VS-MI-13	1.5	25.66%	27.17%	128.50	5.41%
	VS-MI-14	2.5	34.92%	36.61%	9.21	0.08%
	VS-MI-15	1.5	24.53%	29.73%	165.32	6.45%
	VS-MI-16	2.5	33.25%	34.96%	25.35	0.63%
	VS-MI-17	1.5	21.18%	26.39%	178.02	6.36%
	VS-MI-18	2.5	32.29%	33.39%	73.22	4.38%
	VS-MI-19	1.5	25.85%	31.22%	154.85	6.29%

4.2.2.2. Ensayos de expansión de suelos de C.P. Huacarpay - Lucre

Tabla 13.

Expansión de suelos del C.P. Huacarpay

DATOS DE LA MUESTRA			ENSAYOS DE EXPANSIÓN			
ZONA	Muestra (Codificación)	Profundidad (m)	%W Inicial	%W Final	Presión de Expansión	Índice de Expansión
			%	%	kPa	%
Huacarpay	HU-MI-20	1.5	22.02%	34.75%	182.42	4.20%
	HU-MI-21	2.5	28.82%	42.56%	64.33	2.89%
	HU-MI-22	1.5	28.26%	31.22%	69.22	2.49%
	HU-MI-23	2.5	30.29%	32.26%	1.07	---
	HU-MI-24	1.5	17.31%	31.03%	206.37	5.96%
	HU-MI-25	2.5	26.98%	36.39%	101.50	5.75%
	HU-MI-26	1.5	27.80%	31.02%	76.00	2.62%
	HU-MI-27	2.5	29.28%	31.36%	20.82	0.57%

4.2.2.3. Ensayos de expansión de suelos de APV Los Prados – Alto Qosqo

Tabla 14.

Expansión de suelos de la A.P.V. Los Prados

DATOS DE LA MUESTRA			ENSAYOS DE EXPANSIÓN			
ZONA	Muestra (Codificación)	Profundidad (m)	%W Inicial	%W Final	Presión de Expansión	Índice de Expansión
			%	%	kPa	%
Los Prados	AT-MI-28	1.8	33.92%	42.38%	51.15	2.02%
	AT-MI-29	2.8	39.68%	38.28%	126.95	4.68%
	AT-MI-30	2.8	40.11%	43.73%	75.34	5.14%
	AT-MI-31	1.8	34.82%	46.71%	51.41	2.07%
	AT-MI-32	2.8	38.66%	40.73%	141.87	5.06%

4.3. Resultados de presión de expansión por métodos indirectos

Se presentan los resultados de la presión de expansión por los cinco métodos mostrados anteriormente, los cuales usan parámetros similares en cuanto a propiedades que influyen sustancialmente en la expansión de los suelos, como la plasticidad, actividad o humedad del suelo, y en otros casos, los autores incorporan otros parámetros de acuerdo a las condiciones geotécnicas en las que desarrollaron sus modelos.

- Presión de Expansión por el método Nayak y Christensen (1971)

Para el cálculo de la presión de expansión por este método, los autores consideran las variables de índice de plasticidad, humedad y contenido de arcilla.

- Presión de Expansión por el método Sabtan (2005)

El cálculo de la presión de expansión por este método considera variables como el contenido de arcillas y índice de plasticidad, e incorpora la humedad con una relación inversa.

- Presión de Expansión por el método Komornik y David (1969)

Para este método, los autores consideraron como variables de la fórmula la densidad seca del suelo, el límite líquido y el contenido de agua.

- Presión de Expansión por el método Vijayvergiya y Ghazzaly (1973)

Para el cálculo de la presión de expansión por este método, los autores consideraron como principales variables el límite líquido del suelo y su contenido de agua natural.

- Jiménez Salas (1980)

Jiménez Salas generó una fórmula para el cálculo de la presión de expansión utilizando variables como el límite líquido, densidad seca natural del suelo y densidad desecada, es decir, el peso volumétrico de una muestra de suelo que se ha sometido a secado en el horno para provocar una contracción en la muestra y reducir su volumen; el peso de los sólidos no cambia, pero el volumen disminuye; por lo tanto, esta densidad seca de la muestra desecada es mayor que la densidad seca natural.

En la siguiente tabla se muestra un compilado de los resultados de presión de expansión determinada por el ensayo de expansión controlada en laboratorio y de presión de expansión calculada mediante fórmulas indirectas de diferentes autores.

Tabla 15.

Presión de expansión por los método directos e indirectos.

DATOS		PRESIÓN DE EXPANSIÓN					
		MÉTODOS DIRECTOS	MÉTODOS INDIRECTOS				
ZONA	Muestra (Codificación)	Método de Expansión Controlada KPa	Método de Nayak y Christensen KPa	Método de Sabtan KPa	Método de Komornik y David Kpa	Método de Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Método de Jiménez Salas Kpa
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	146.53	202.69	126.61	91.553	215.906
	VS-MI-02	51.41	46.55	192.61	73.46	89.039	49.866
	VS-MI-03	76.17	50.27	189.46	82.24	88.789	65.544
	VS-MI-04	101.50	75.54	191.06	103.98	90.018	130.897
	VS-MI-05	91.11	55.49	194.01	84.48	88.944	148.436
	VS-MI-06	33.58	44.26	195.67	80.47	88.686	60.962
	VS-MI-07	38.08	52.71	193.58	77.90	88.627	55.812
	VS-MI-08	12.91	52.80	195.96	84.94	88.577	84.767
	VS-MI-09	96.64	69.87	197.26	89.42	89.326	78.210
	VS-MI-10	32.35	36.83	195.19	93.29	88.627	66.459
	VS-MI-11	97.33	69.30	196.60	92.11	89.282	91.574
	VS-MI-12	70.37	51.99	192.97	81.23	88.851	107.441
	VS-MI-13	128.50	77.87	196.09	110.29	90.185	153.201
	VS-MI-14	9.21	51.44	198.68	99.87	88.650	185.429
	VS-MI-15	165.32	85.70	196.36	92.69	90.208	92.451
	VS-MI-16	25.35	53.59	196.59	100.02	88.929	135.856
	VS-MI-17	178.02	78.18	197.46	91.08	90.787	84.760
	VS-MI-18	73.22	59.85	197.51	83.64	88.936	78.450
	VS-MI-19	154.85	60.78	198.54	90.90	90.049	104.277
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	96.81	202.89	98.10	90.950	191.527
	HU-MI-21	64.33	48.64	193.54	58.34	89.687	90.947
	HU-MI-22	69.22	51.90	198.24	84.39	89.722	133.353
	HU-MI-23	1.07	69.31	192.68	77.33	89.168	78.346
	HU-MI-24	206.37	119.32	201.73	96.37	91.700	163.923
	HU-MI-25	101.50	69.83	189.15	52.11	89.766	45.343
	HU-MI-26	76.00	53.39	199.70	90.02	89.832	140.479
	HU-MI-27	20.82	61.52	202.08	100.87	89.688	222.286
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	41.95	183.21	65.08	88.598	64.131
	AT-MI-29	126.95	54.65	199.32	98.59	88.295	406.383
	AT-MI-30	75.34	49.96	195.87	106.74	88.151	392.488
	AT-MI-31	51.41	42.76	187.76	68.47	88.532	81.113
	AT-MI-32	141.87	57.06	196.02	90.20	88.368	244.578

Nota. Se presenta un comparativo de los resultados de la presión de expansión experimental y estimados para las zonas estudiadas. Fuente propia.

4.4. Relación de las presiones de expansión experimental y estimada

Se presentan los resultados de la comparación de la presión de expansión estimada mediante las fórmulas empíricas (métodos indirectos) frente a los resultados de presión de expansión mediante el ensayo de expansión controlada para cada zona de estudio, los cuales se organizan mediante los siguientes indicadores:

1. Indicadores de Concordancia
2. Indicadores de error asociados a la estimación de la presión de expansión
3. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación

4.4.1. Resultados para Nayak y Christensen

4.4.1.1. Indicadores de concordancia

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del índice de concordancia de Willmott obtenidos para el modelo presentado por Nayak y Christensen para cada zona de estudio.

Tabla 16.

Índice de concordancia Willmott para Nayak y Christensen.

ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA NAYAK Y CHRISTENSEN	
Zona de Estudio	Índice de Concordancia Willmott (d)
Villa el Sol	0.677
Huacarpay	0.638
Los Prados	0.555

4.4.1.2. Indicadores de error y sesgo

En esta sección se muestran los resultados del cálculo de los errores obtenidos de la comparación de la presión de expansión medida en laboratorio y estimada mediante la fórmula de Nayak y Christensen, para cada una de las zonas de estudio.

Los indicadores de error y sesgo permiten cuantificar los valores de las diferencias entre los valores de presión de expansión medidos y estimados, pudiendo observar en sus resultados sesgos y tendencias. En la siguiente tabla de muestran los resultados del error absoluto medio, error relativo medio y error porcentual medio, máximo y mínimo:

Tabla 17.

*Indicadores de error para el modelo de Nayak y Christensen***.**

ÍNDICE DE ERROR Y SESGO PARA NAYAK Y CHRISTENSEN					
Zona de Estudio	Error absoluto medio (kPa)	Error relativo medio	Error relativo porcentual (%)		
			Medio	Máximo	Mínimo
Villa el Sol	42.221	0.262	26.17%	458.53%	-60.75%
Huacarpay	46.109	7.961	796.07%	6372.53%	-46.93%
Los Prados	40.066	-0.370	-37.04%	-16.83%	-59.78%

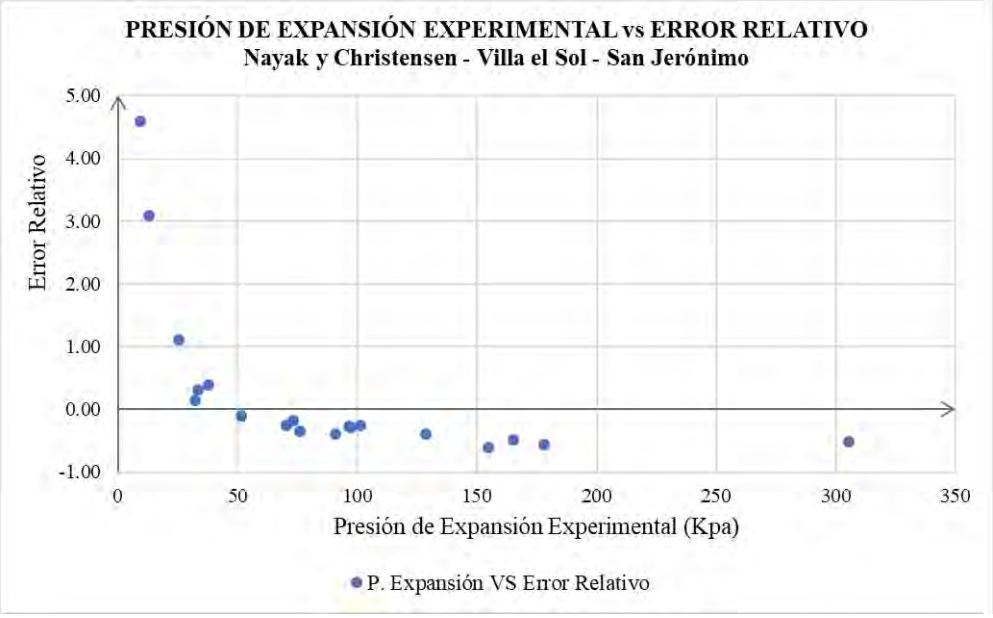
Los valores de error absoluto, error relativo y error relativo porcentual calculados para cada muestra ensayada se presentan en el Anexo 08, donde se detallan resultados para cada muestra y cada zona de estudio, respectivamente.

Con la finalidad de evaluar el comportamiento y evolución de los valores del error relativo individual para cada muestra en función de la presión de expansión experimental y en función de la humedad de la muestra antes de iniciar el ensayo de presión de expansión controlada, se han elaborado gráficos de dispersión que relacionan el error relativo con la presión de expansión y error relativo con la humedad de la muestra, para cada zona de estudio.

Distribución del error relativo en función de la presión de expansión experimental

Figura 27.

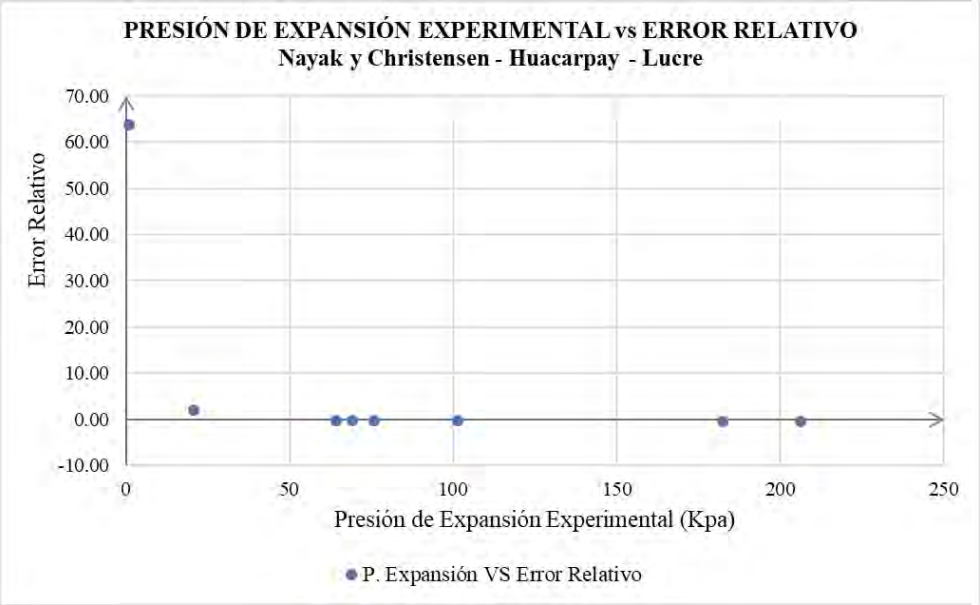
Presión de expansión experimental vs Error relativo Nayak y Christensen – Villa el Sol



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Nayak y Christensen – Villa el Sol

Figura 28.

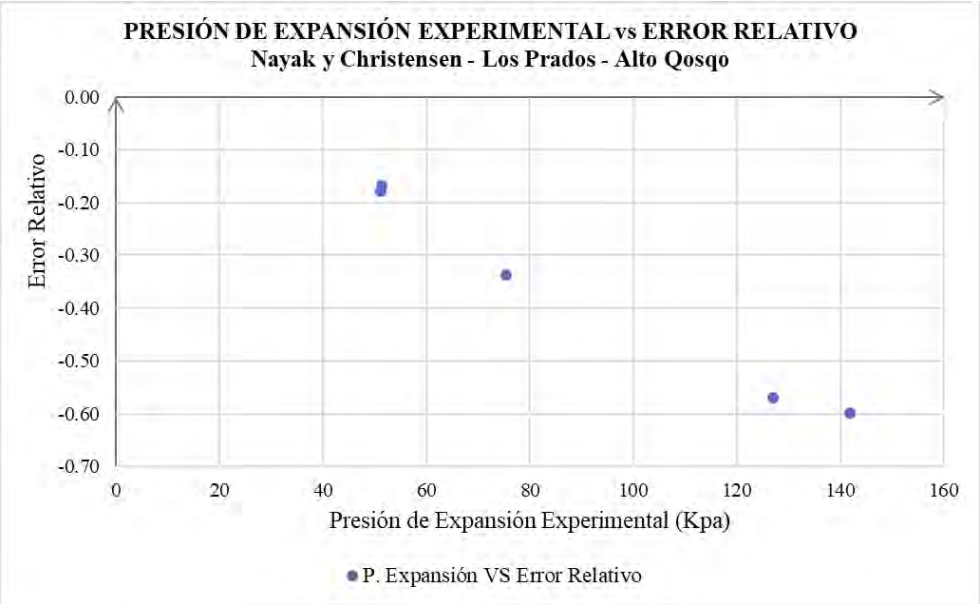
Presión de expansión experimental vs error relativo Nayak y Christensen – Huacarpay



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Nayak y Christensen – Huacarpay

Figura 29.

Presión de expansión experimental vs error relativo Nayak y Christensen – Los Prados

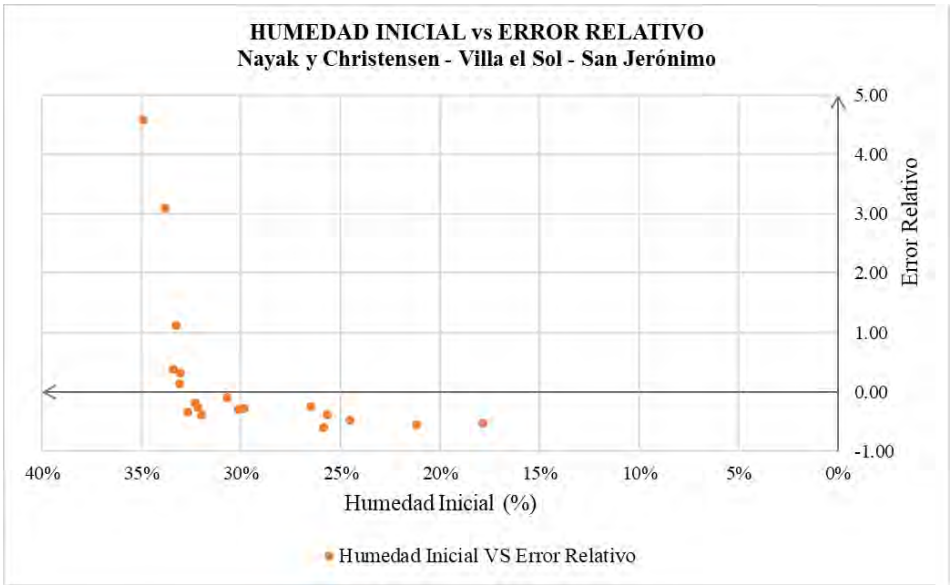


Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Nayak y Christensen – Los Prados

Distribución del error relativo en función de la humedad inicial del ensayo de expansión controlada

Figura 30.

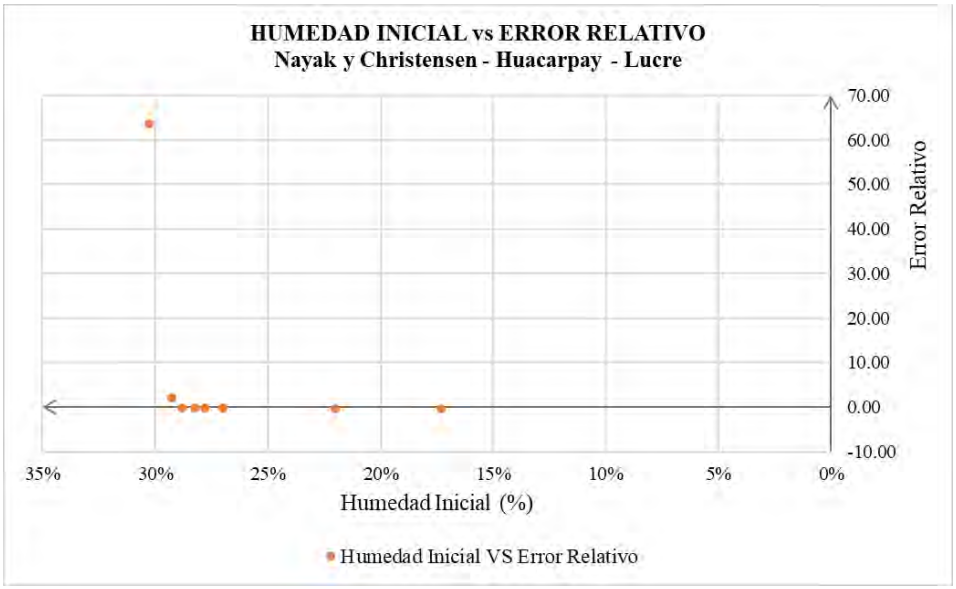
Humedad inicial vs error relativo Nayak y Christensen – Villa el Sol



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Nayak y Christensen – Villa el Sol.

Figura 31.

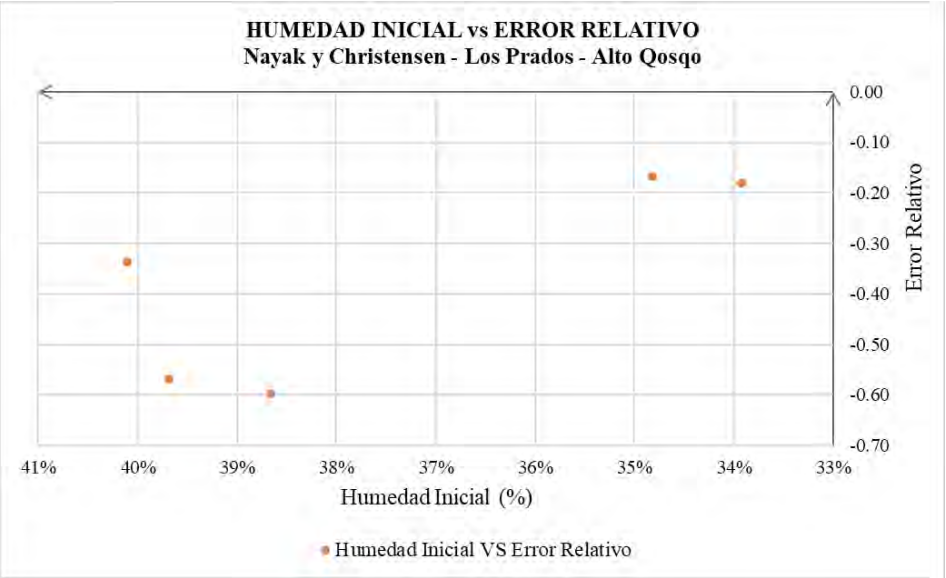
Humedad inicial vs error relativo Nayak y Christensen – Huacarpay



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Nayak y Christensen – Huacarpay.

Figura 32.

Humedad inicial vs error relativo Nayak y Christensen – Los Prados



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Nayak y Christensen – Los Prados.

4.4.1.3. Coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de determinación R^2

En esta sección se muestran los resultados del análisis de correlación de Pearson y coeficiente de determinación para los valores de presión de expansión experimental y los valores de presión de expansión estimados mediante la fórmula empírica de Nayak y Christensen, para cada una de las zonas estudiadas. Estos se muestran en la siguiente tabla:

El coeficiente de determinación (R^2) expresa el porcentaje de variabilidad de la presión de expansión experimental que se explica (estima) mediante el modelo analizado, mientras que el coeficiente de correlación de Pearson indica el grado de linealidad entre las dos variables.

Tabla 18.

Coeficientes de correlación Nayak y Christensen

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PEARSON Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA NAYAK Y CHRISTENSEN		
Zona de Estudio	Coeficiente de correlación Pearson (r)	Coeficiente de determinación (R^2)
Villa el Sol	0.908	0.824
Huacarpay	0.806	0.650
Los Prados	0.970	0.942

Nota. Se presentan los resultados de la correlación de Pearson y el coeficiente de determinación R^2 para el modelo de Nayak y Christensen. Fuente propia.

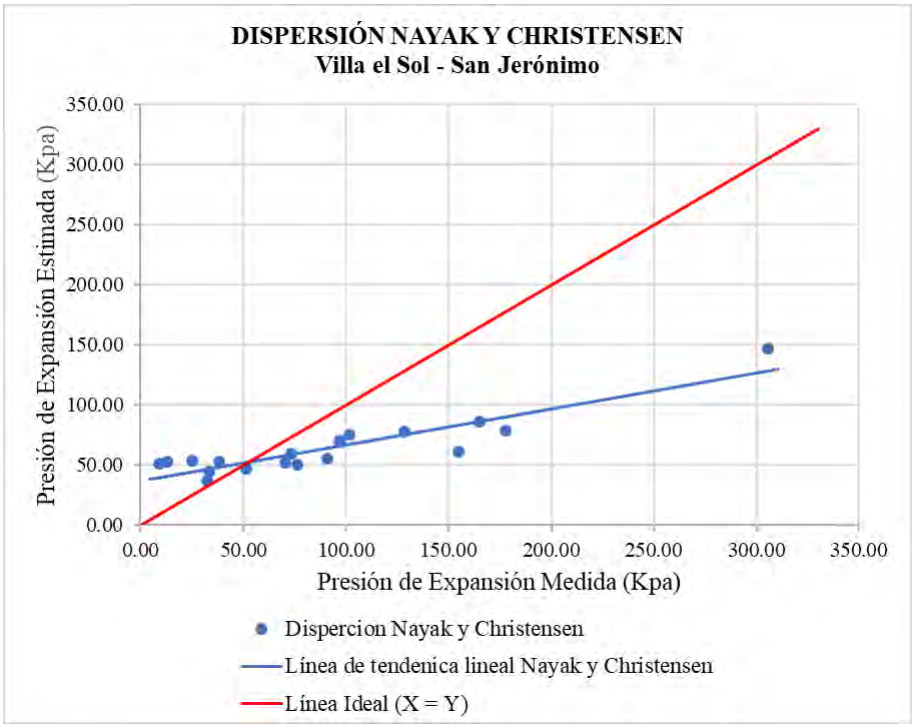
Los valores obtenidos corresponden a la correlación lineal entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Nayak y Christensen, considerando los datos individuales de cada muestra ensayada en las respectivas zonas de estudio. El cálculo de estos valores se presenta detalladamente en el Anexo 09.

Representación gráfica de la correlación

Con el fin de observar la relación de los valores de presión de expansión experimental y estimados, se elaboraron gráficos de dispersión en los que se incluye la línea de tendencia lineal obtenida de la regresión de los datos. También en el gráfico se incluyó una línea de igualdad X=Y, la cual representa la línea de tendencia que debería tener la dispersión de los datos si el modelo representara una estimación perfecta de los valores de presión de expansión frente a los calculados en laboratorio.

Figura 33.

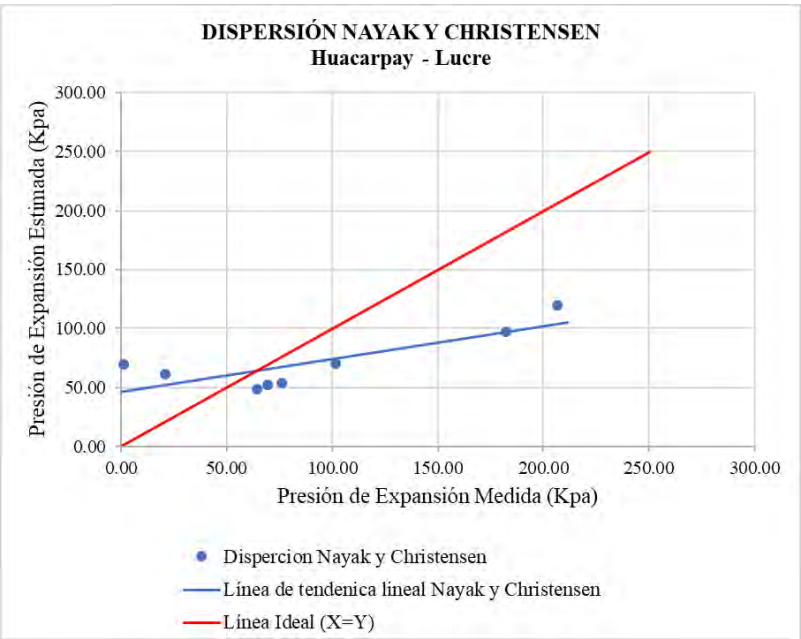
Presión de expansión experimental y estimada mediante Nayak y Christensen – Villa el Sol



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Nayak y Christensen – Villa el Sol.

Figura 34.

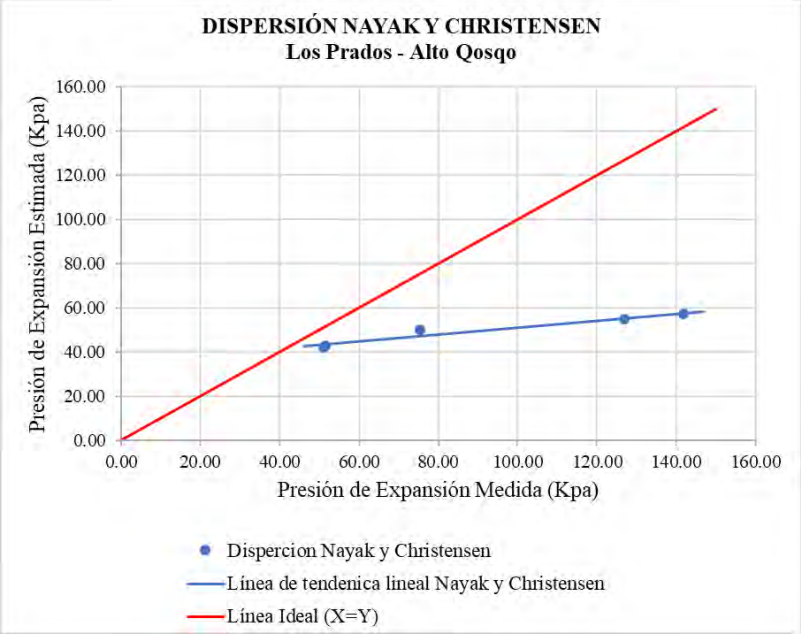
Presión de expansión experimental y estimada mediante Nayak y Christensen – Huacarpay



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Nayak y Christensen – Huacarpay.

Figura 35.

Presión de expansión experimental y estimada mediante Nayak y Christensen – Los Prados



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Nayak y Christensen – Los Prados.

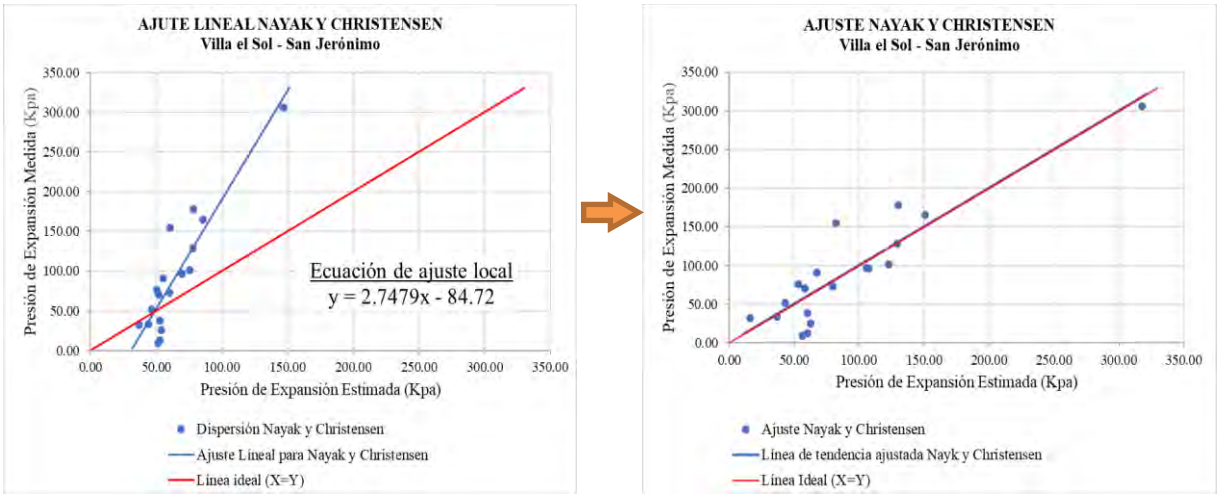
4.4.1.4. Ecuación de ajuste local para Nayak y Christensen

Para la obtención de la ecuación de ajuste local para el modelo de Nayak y Christensen, se realizó un ajuste lineal graficando la presión de expansión experimental (eje de las ordenadas "Y") en función de la presión de expansión estimado mediante la fórmula empírica (eje de las abscisas "X"), con lo cual se obtiene la fórmula de ajuste y posterior gráfica de ajuste para este modelo, para cada zona de estudio:

Ajuste local Nayak y Christensen para Villa el Sol

Figura 36.

Ajuste local Nayak y Christensen para Villa el Sol



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Nayak y Christensen. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Villa el Sol.

Con estos nuevos resultados de presión de expansión estimada y ajustada posteriormente se recalcularon los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación), cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 19:

Indicadores estadísticos de Nayak y Christensen para Villa el Sol

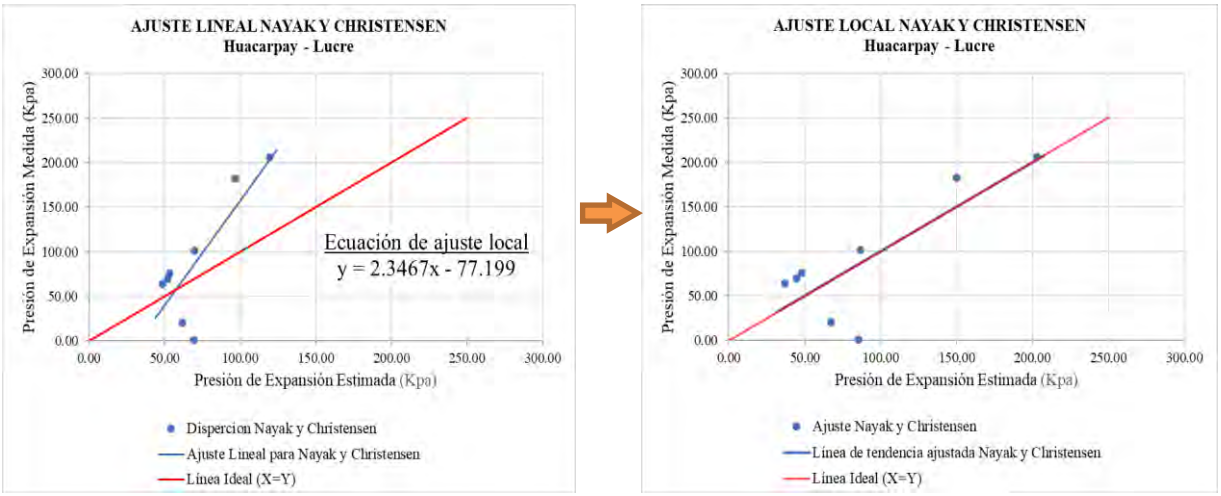
INDICADORES NAYAK Y CHRISTENSEN PARA VILLA EL SOL		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.677	0.950
Error absoluto medio	42.221	22.886
Error relativo medio	0.262	0.490
Error relativo porcentual medio	26.17%	48.97%
Error relativo porcentual máximo	458.53%	514.82%
Error relativo porcentual mínimo	-60.75%	-49.06%
Coeficiente de correlación Pearson	0.908	0.908
Coeficiente de determinación (R^2)	0.824	0.824

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Nayak y Christensen para la zona de Villa el Sol. Fuente propia.

Ajuste local Nayak y Christensen para Huacarpay

Figura 37.

Ajuste local Nayak y Christensen para Huacarpay



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Nayak y Christensen. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Huacarpay.

En la siguiente tabla se presentan los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) recalculados con los datos de presión de expansión estimada y ajustada mediante la fórmula de ajuste local:

Tabla 20.

Indicadores estadísticos de Nayak y Christensen para Huacarpay

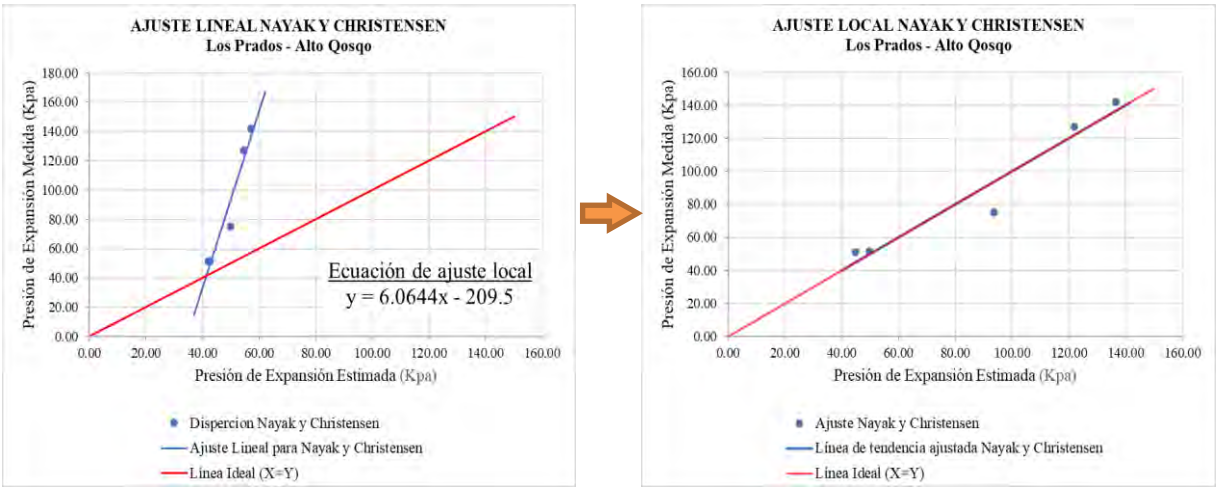
INDICADORES NAYAK Y CHRISTENSEN PARA HUACARPAY		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.638	0.881
Error absoluto medio	46.109	32.681
Error relativo medio	7.961	9.941
Error relativo porcentual medio	796.07%	994.14%
Error relativo porcentual máximo	6372.53%	7879.50%
Error relativo porcentual mínimo	-46.93%	-42.56%
Coeficiente de correlación Pearson	0.806	0.806
Coeficiente de determinación (R^2)	0.650	0.650

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Nayak y Christensen para la zona de Huacarpay. Fuente propia.

Ajuste local Nayak y Christensen para Los Prados

Figura 38.

Ajuste local Nayak y Christensen para Los Prados



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Nayak y Christensen. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Los Prados.

Se presenta también la tabla con los nuevos resultados de los cálculos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) para los valores de presión de expansión estimados con la fórmula original y después de la ecuación de ajuste local:

Tabla 21.

Indicadores estadísticos de Nayak y Christensen para Los Prados

INDICADORES NAYAK Y CHRISTENSEN PARA LOS PRADOS		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.555	0.985
Error absoluto medio	40.066	7.269
Error relativo medio	-0.370	0.002
Error relativo porcentual medio	-37.04%	0.22%
Error relativo porcentual máximo	-16.83%	24.10%
Error relativo porcentual mínimo	-59.78%	-12.17%
Coeficiente de correlación Pearson	0.970	0.970
Coeficiente de determinación (R^2)	0.942	0.942

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Nayak y Christensen para la zona de Los Prados. Fuente propia.

4.4.2. Resultados para Sabtan

4.4.2.1. Indicadores de concordancia

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del índice de concordancia de Willmott obtenidos para el modelo presentado por Sabtan para cada zona de estudio.

Tabla 22.

Índice de concordancia Willmott para Sabtan

ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA SABTAN	
Zona de Estudio	Índice de Concordancia Willmott (d)
Villa el Sol	0.419
Huacarpay	0.436
Los Prados	0.399

4.4.2.2. Indicadores de error y sesgo

En esta sección se muestran los resultados del cálculo de los errores obtenidos de la comparación de la presión de expansión medida en laboratorio y estimada mediante la fórmula de Sabtan, para cada una de las zonas de estudio.

Tabla 23.

Indicadores de error para el modelo de Sabtan

ÍNDICE DE ERROR Y SESGO PARA SABTAN					
Zona de Estudio	Error absoluto medio (kPa)	Error relativo medio	Error relativo porcentual (%)		
			Medio	Máximo	Mínimo
Villa el Sol	114.869	3.577	357.68%	2057.40%	-33.66%
Huacarpay	108.444	24.263	2426.30%	17894.57%	-2.25%
Los Prados	103.094	1.557	155.71%	265.22%	38.17%

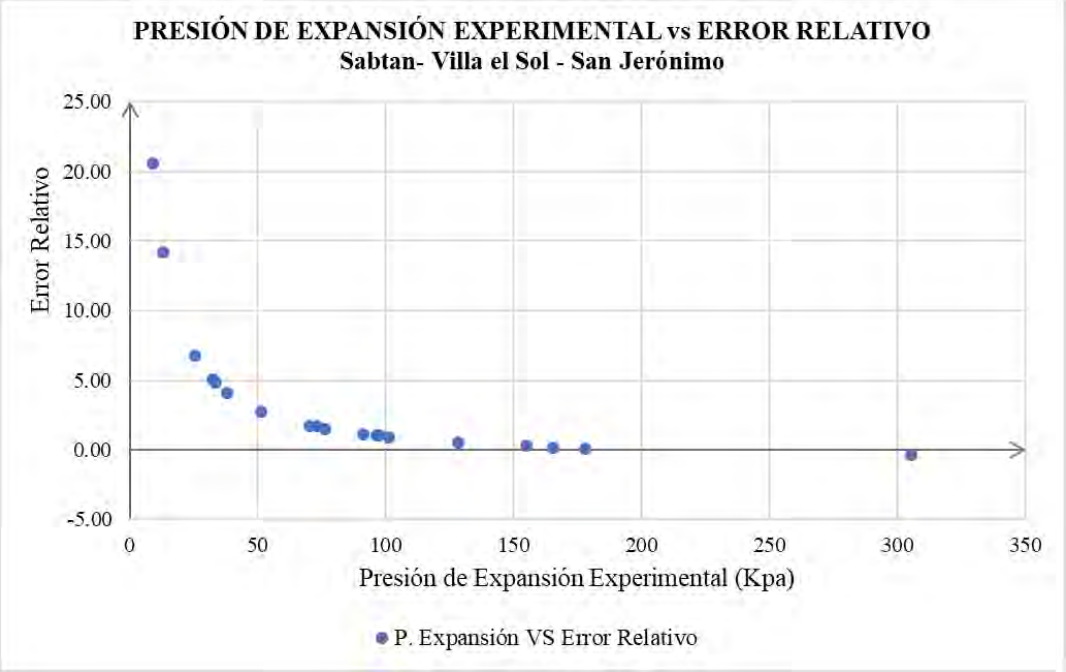
Los valores de error absoluto, error relativo y error relativo porcentual calculados para cada muestra ensayada se presentan en el Anexo 08, donde se detallan resultados para cada muestra y cada zona de estudio, respectivamente.

También se realizaron gráficas de dispersión para observar la evolución del error relativo individual de cada muestra frente a la presión de expansión experimental y la humedad del suelo, que se presentan a continuación para cada zona de estudio.

Distribución del error relativo en función de la presión de expansión experimental

Figura 39.

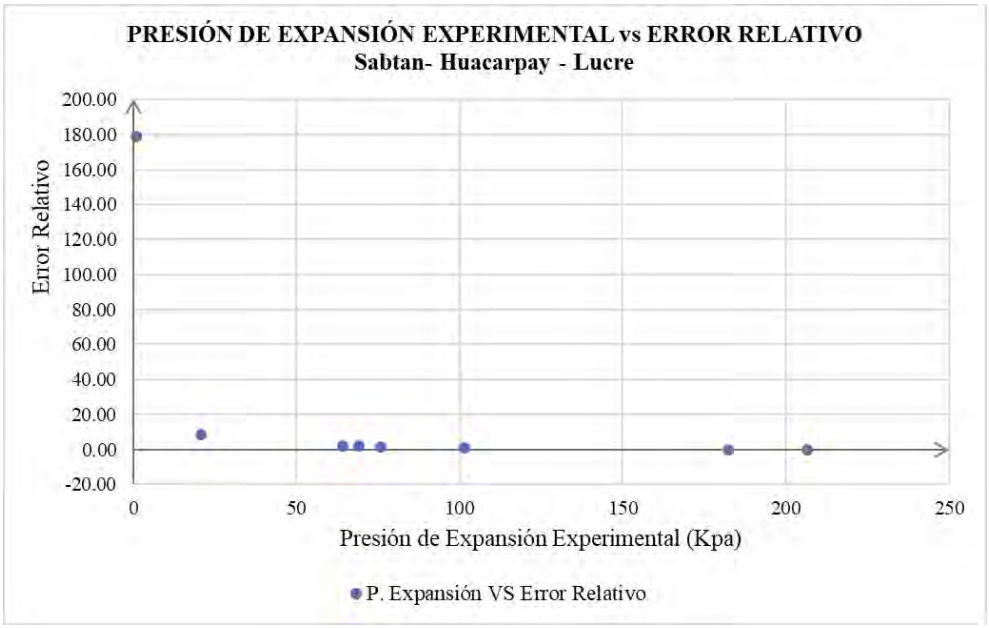
Presión de expansión experimental vs error relativo Sabtan – Villa el Sol



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Sabtan – Villa el Sol.

Figura 40.

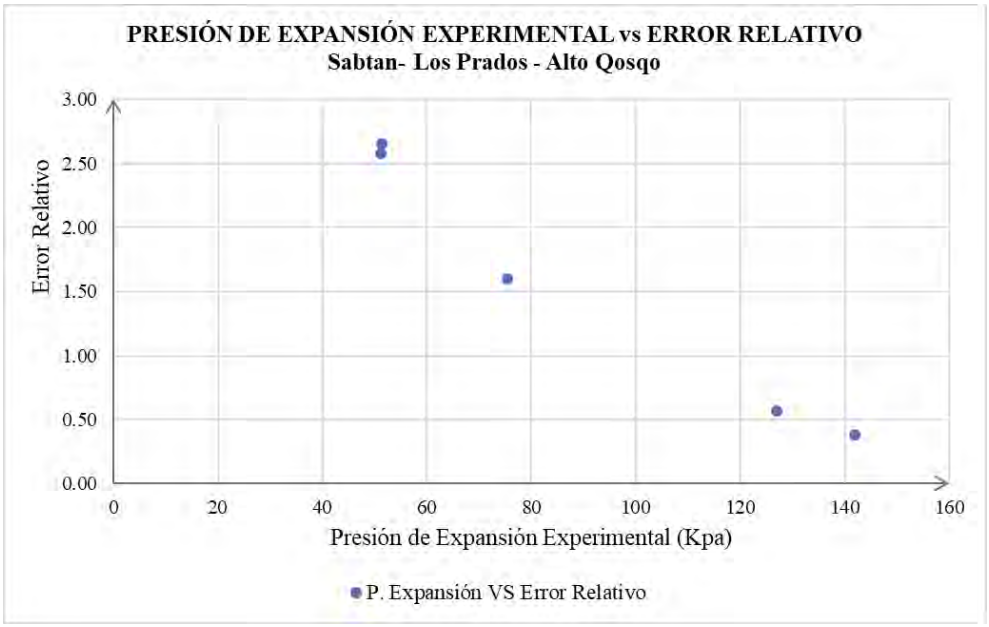
Presión de expansión experimental vs error relativo Sabtan – Huacarpay



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Sabtan – Huacarpay.

Figura 41.

Presión de expansión experimental vs error relativo Sabtan – Los Prados

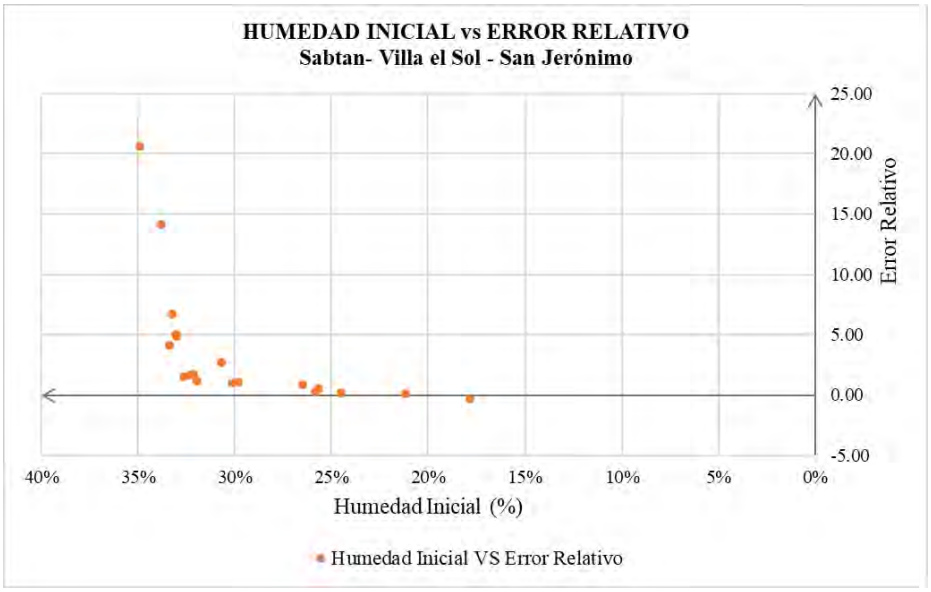


Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Sabtan – Los Prados.

Distribución del error relativo en función de la humedad inicial del ensayo de expansión controlada

Figura 42.

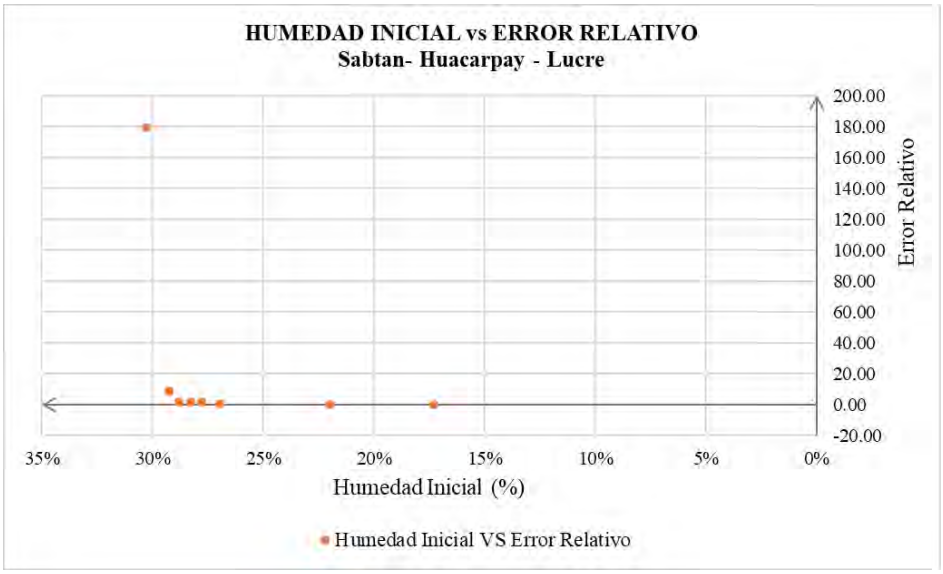
Humedad inicial vs error relativo Sabtan – Villa el Sol



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Sabtan – Villa el Sol.

Figura 43.

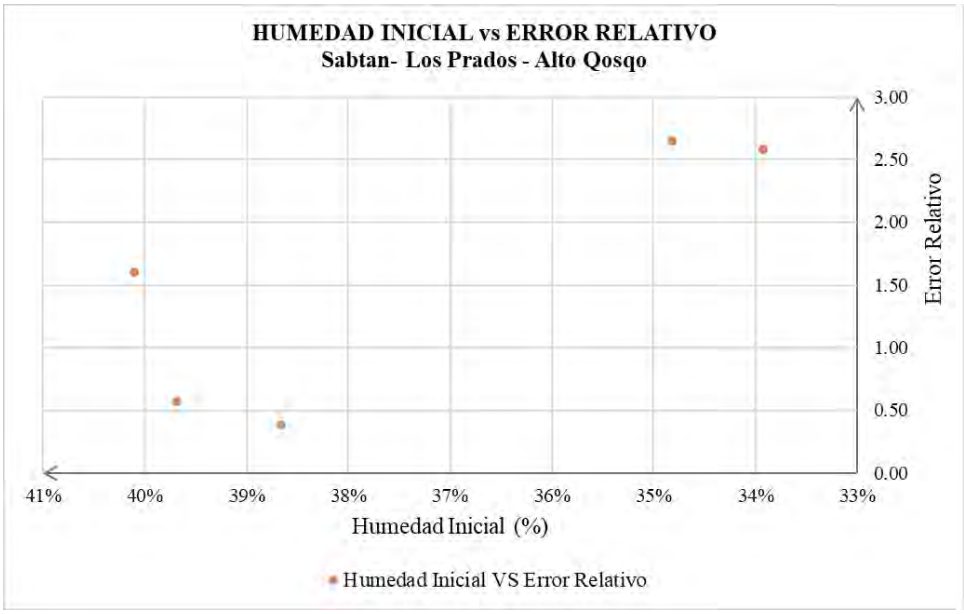
Humedad inicial vs error relativo Sabtan – Huacarpay



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Sabtan – Huacarpay.

Figura 44.

Humedad inicial vs error relativo para Sabtan – Los Prados



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Sabtan – Los Prados.

4.4.2.3. Coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de determinación R^2

En esta sección se muestran los resultados del análisis de correlación de Pearson y coeficiente de determinación para los valores de presión de expansión experimental y los valores de presión de expansión estimados mediante la fórmula empírica de Sabtan, para cada una de las zonas estudiadas. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 24.

Coeficientes de correlación Sabtan

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PEARSON Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA SABTAN		
Zona de Estudio	Coeficiente de correlación Pearson (r)	Coeficiente de determinación (R^2)
Villa el Sol	0.493	0.243
Huacarpay	0.414	0.171
Los Prados	0.814	0.663

Nota. Se presentan los resultados de la correlación de Pearson y el coeficiente de determinación R^2 para el modelo de Sabtan. Fuente propia.

Los valores obtenidos corresponden a la correlación lineal entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Sabtan, considerando

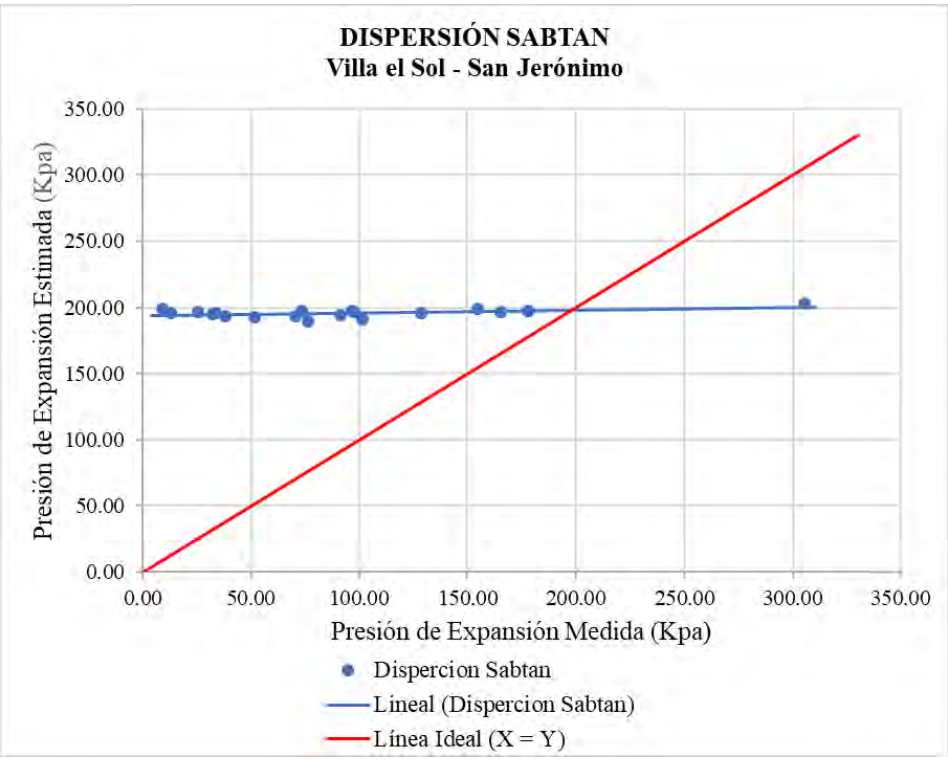
los datos individuales de cada muestra ensayada en las respectivas zonas de estudio. El cálculo de estos valores se presenta detalladamente en el Anexo 09.

Representación gráfica de la correlación

Con el fin de observar la relación de los valores de presión de expansión experimental y estimados, se elaboraron gráficos de dispersión en los que se incluye la línea de tendencia lineal obtenida de la regresión de los datos. También en el gráfico se incluyó una línea de igualdad X=Y, la cual representa la línea de tendencia que debería tener la dispersión de los datos si el modelo representara una estimación perfecta de los valores de presión de expansión frente a los calculados en laboratorio.

Figura 45.

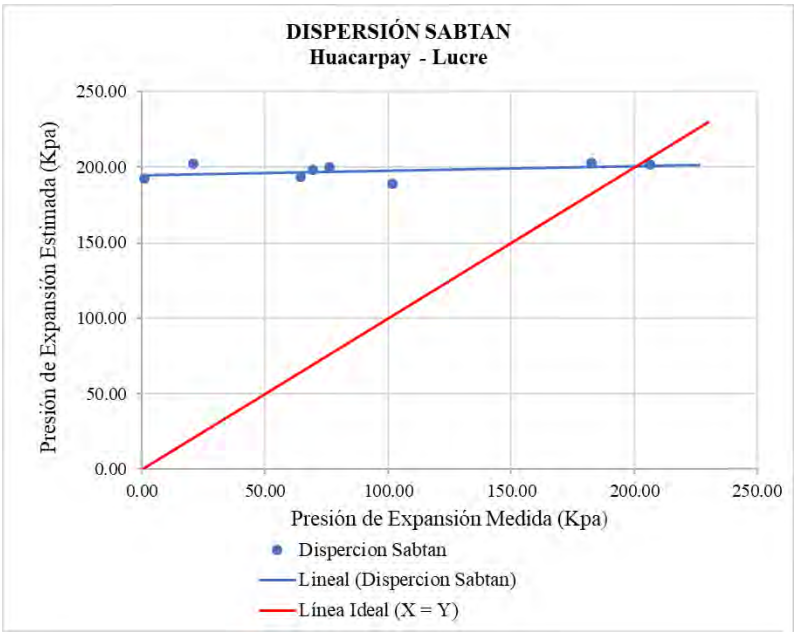
Presión de expansión experimental y estimada mediante Sabtan – Villa el Sol



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Sabtan – Villa el Sol.

Figura 46.

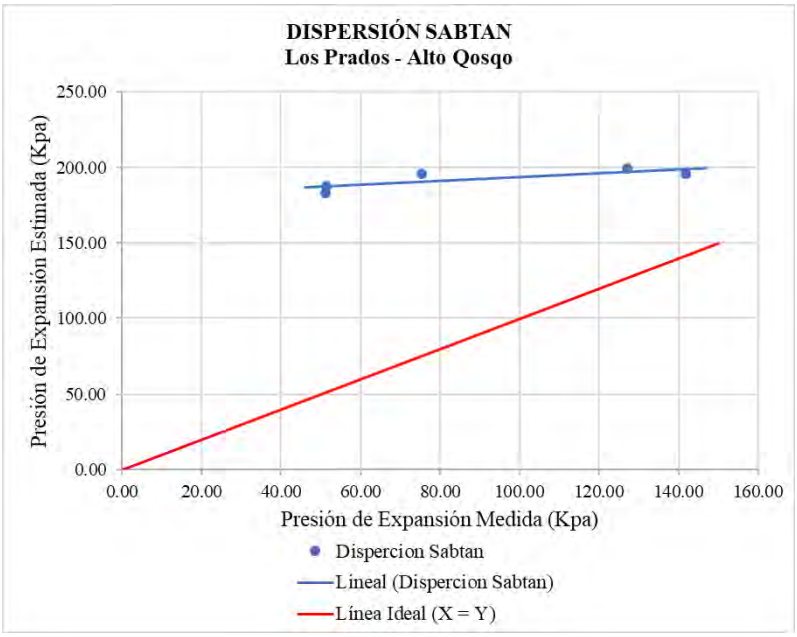
Presión de expansión experimental y estimada mediante Sabtan – Huacarpay



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Sabtan – Huacarpay.

Figura 47.

Presión de expansión experimental y estimada mediante Sabtan – Los Prados



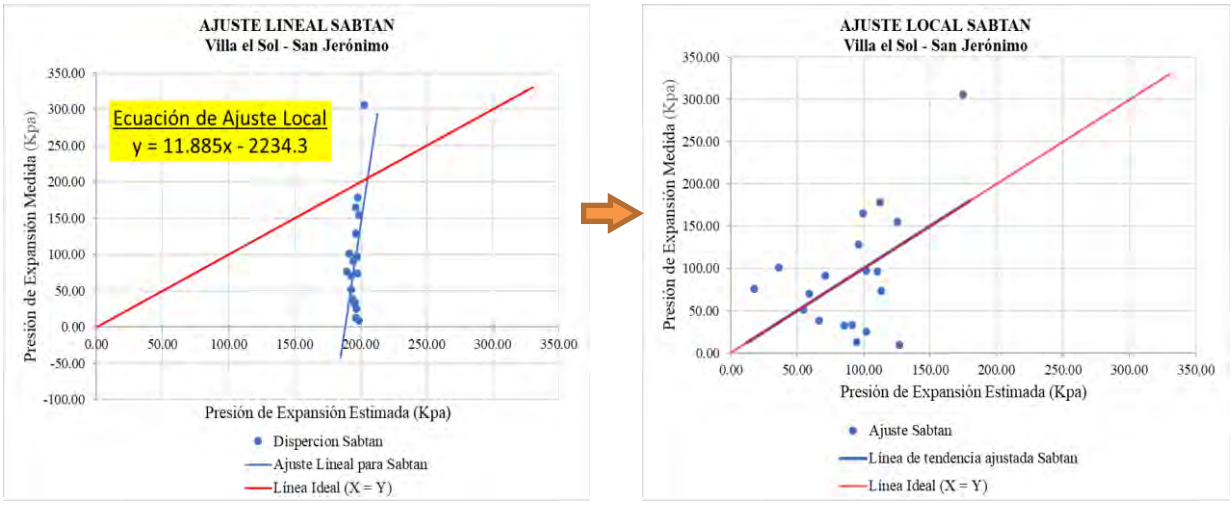
Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Sabtan – Los Prados.

4.4.2.4. Ecuación de ajuste local para Sabtan

Ajuste local Sabtan para Villa el Sol

Figura 48.

Ajuste local Sabtan para Villa el Sol



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Sabtan. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Villa el Sol.

Con estos nuevos resultados de presión de expansión estimada y ajustada posteriormente se recalcularon los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación), cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 25.

Indicadores estadísticos de Sabtan para Villa el Sol

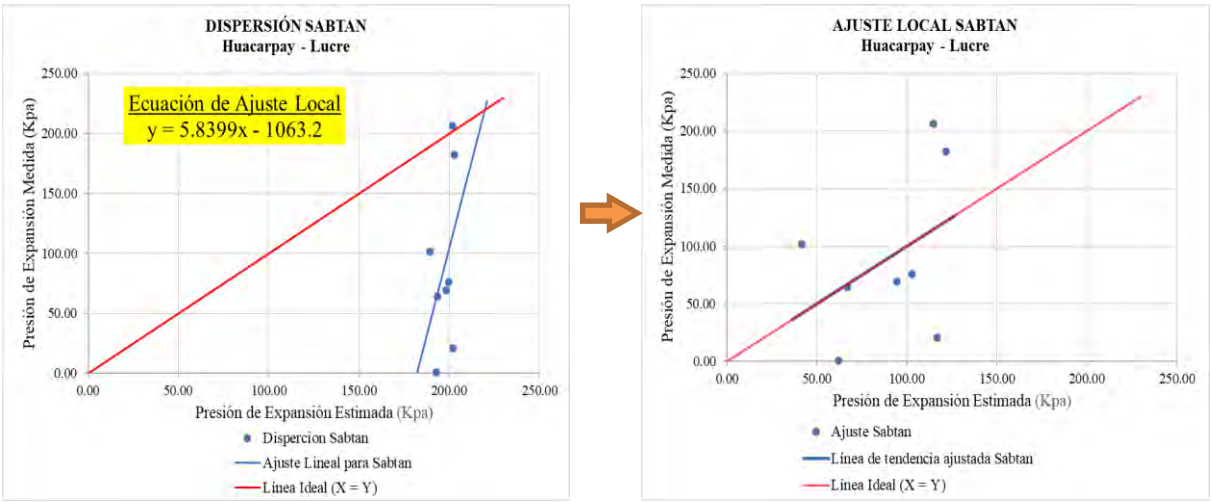
INDICADORES SABTAN PARA VILLA EL SOL		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.419	0.609
Error absoluto medio	114.869	50.321
Error relativo medio	3.577	1.244
Error relativo porcentual medio	357.68%	124.36%
Error relativo porcentual máximo	2057.40%	1278.72%
Error relativo porcentual mínimo	-33.66%	-77.09%
Coeficiente de correlación Pearson	0.493	0.493
Coeficiente de determinación (R^2)	0.243	0.243

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Sabtan para la zona de Villa el Sol. Fuente propia.

Ajuste local Sabtan para Huacarpay

Figura 49.

Ajuste local Sabtan para Huacarpay



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Sabtan. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Huacarpay.

En la siguiente tabla se presentan los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) recalculados con los datos de presión de expansión estimada y ajustada mediante la fórmula de ajuste local:

Tabla 26.

Indicadores estadísticos de Sabtan para Huacarpay

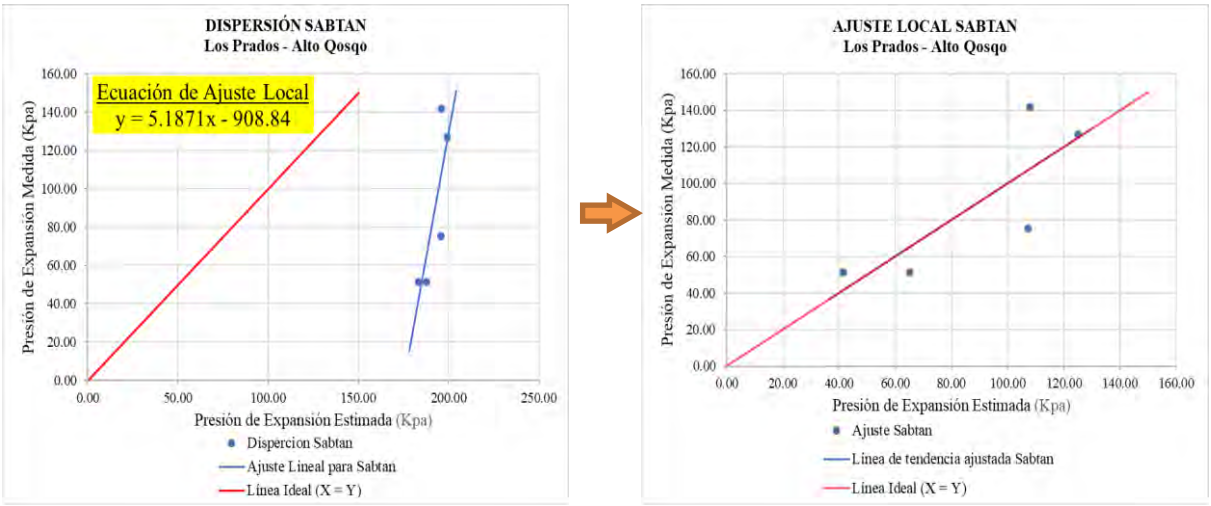
INDICADORES SABTAN PARA HUACARPAY		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.436	0.542
Error absoluto medio	108.444	53.044
Error relativo medio	24.263	7.619
Error relativo porcentual medio	2426.30%	761.95%
Error relativo porcentual máximo	17894.57%	5694.70%
Error relativo porcentual mínimo	-2.25%	-59.17%
Coeficiente de correlación Pearson	0.414	0.414
Coeficiente de determinación (R^2)	0.171	0.171

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Sabtan para la zona de Huacarpay. Fuente propia.

Ajuste local Sabtan para Los Prados

Figura 50.

Ajuste local Sabtan para Los Prados



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Sabtan. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Los Prados.

Se presenta también la tabla con los nuevos resultados de los cálculos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) para los valores de presión de expansión estimados con la fórmula original y después de la ecuación de ajuste local:

Tabla 27.

Indicadores estadísticos de Sabtan para Los Prados

INDICADORES SABTAN PARA LOS PRADOS		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.399	0.892
Error absoluto medio	103.094	18.198
Error relativo medio	1.557	0.049
Error relativo porcentual medio	155.71%	4.91%
Error relativo porcentual máximo	265.22%	42.25%
Error relativo porcentual mínimo	38.17%	-23.91%
Coeficiente de correlación Pearson	0.814	0.814
Coeficiente de determinación (R^2)	0.663	0.663

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Sabtan para la zona de Los Prados. Fuente propia.

4.4.3. Resultados para Komornik y David

4.4.3.1. Indicadores de concordancia

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del índice de concordancia de Willmott obtenidos para el modelo presentado por Komornik y David para cada zona de estudio.

Tabla 28.

Índice de concordancia Willmott para Komornik y David

ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA KOMORNIK Y DAVID	
Zona de Estudio	Índice de Concordancia Willmott (d)
Villa el Sol	0.376
Huacarpay	0.292
Los Prados	0.631

4.4.3.2. Indicadores de error y sesgo

En esta sección se muestran los resultados del cálculo de los errores obtenidos de la comparación de la presión de expansión medida en laboratorio y estimada mediante la fórmula de Komornik y David, para cada una de las zonas de estudio.

Tabla 29.

Indicadores de error para el modelo de Komornik y David

ÍNDICE DE ERROR Y SESGO PARA KOMORNIK Y DAVID					
Zona de Estudio	Error absoluto medio (kPa)	Error relativo medio	Error relativo porcentual (%)		
			Medio	Máximo	Mínimo
Villa el Sol	46.138	1.119	111.85%	984.42%	-58.56%
Huacarpay	54.399	9.237	923.65%	7121.92%	-53.30%
Los Prados	28.483	0.087	8.67%	41.69%	-36.42%

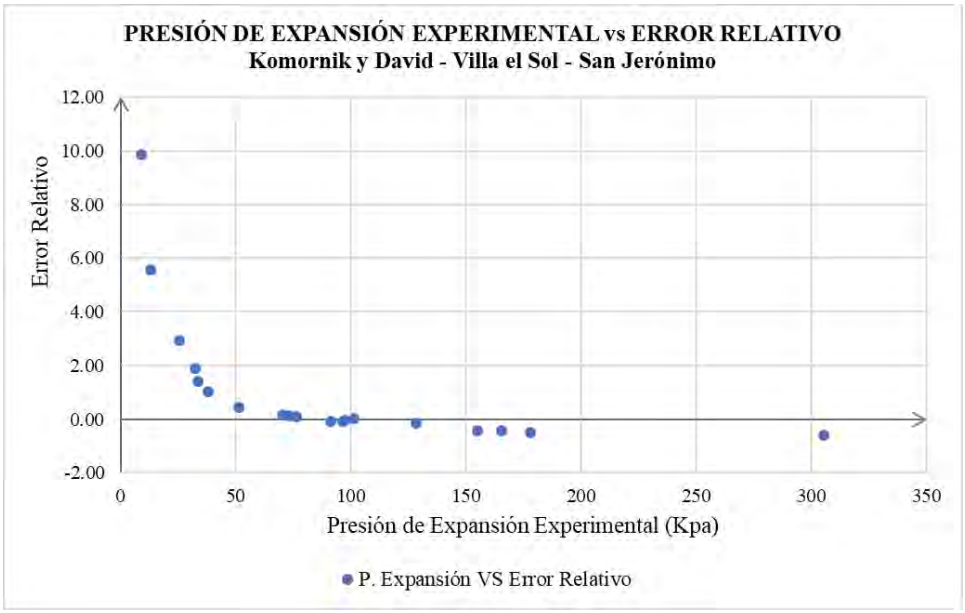
En el Anexo 08 se detallan los cálculos realizados para los resultados de la tabla anteriormente presentada.

También se realizaron gráficas de dispersión para observar la evolución del error relativo individual de cada muestra frente a la presión de expansión experimental y la humedad del suelo, que se presentan a continuación para cada zona de estudio.

Distribución del error relativo en función de la presión de expansión experimental

Figura 51.

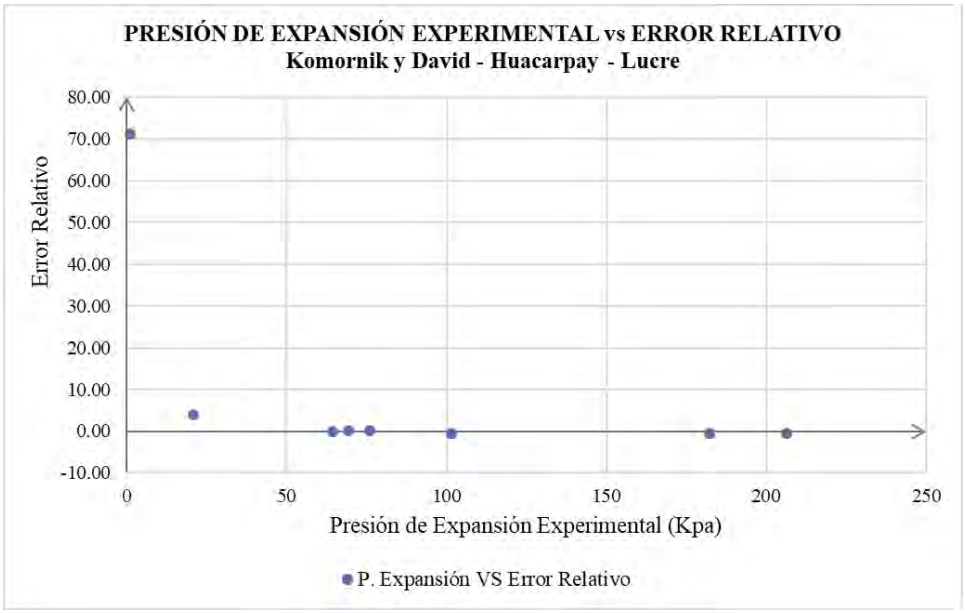
Presión de expansión experimental vs error relativo Komornik y David – Villa el Sol



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Komornik y David – Villa el Sol.

Figura 52.

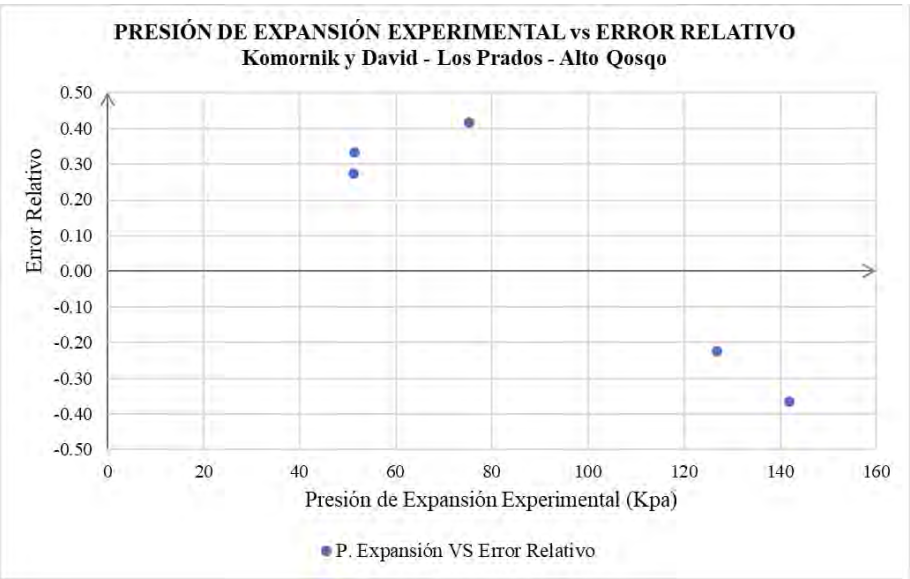
Presión de expansión experimental vs error relativo Komornik y David – Huacarpay



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Komornik y David – Huacarpay.

Figura 53.

Presión de expansión experimental vs error relativo Komornik y David – Los Prados

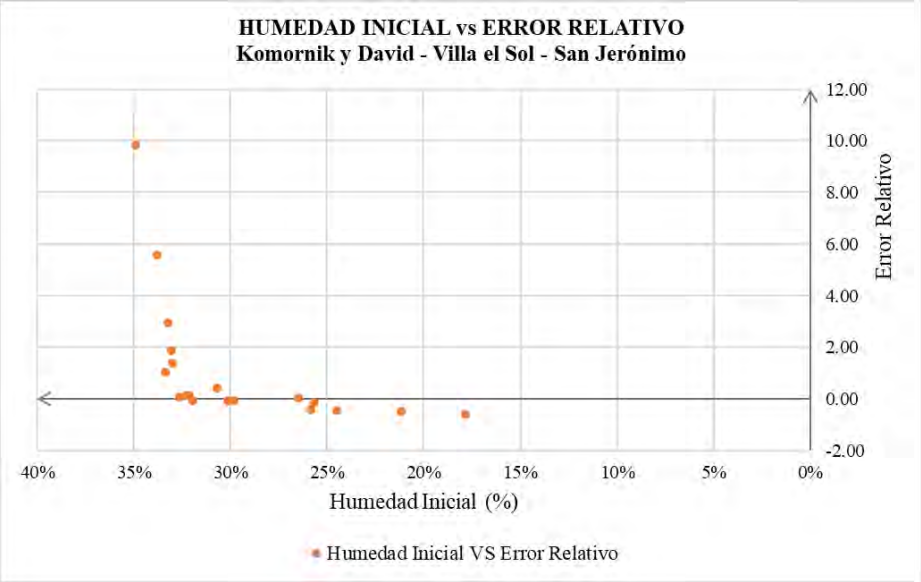


Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Komornik y David – Los Prados.

Distribución del error relativo en función de la humedad inicial del ensayo de expansión controlada

Figura 54.

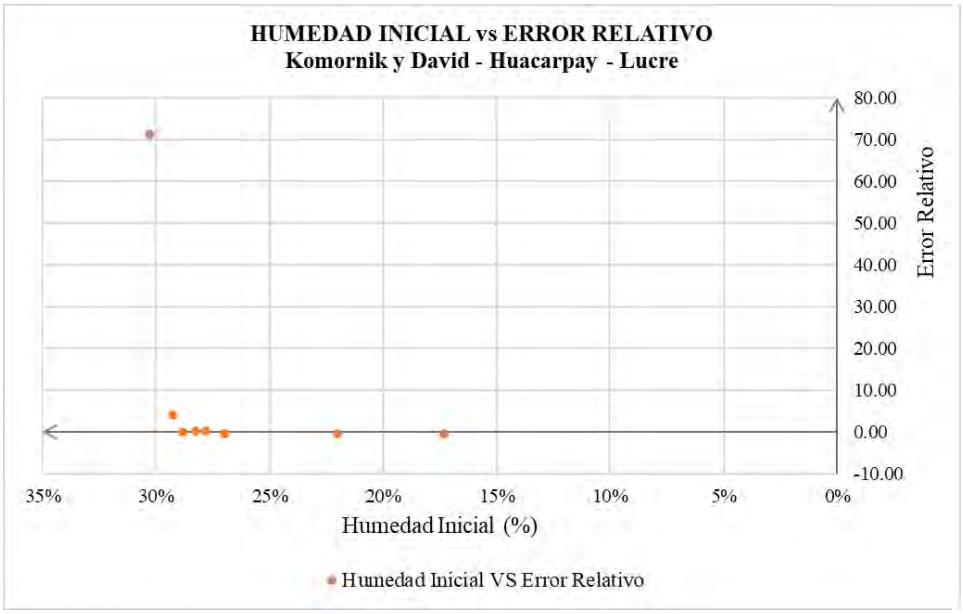
Humedad inicial vs error relativo Komornik y David – Villa el Sol



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Komornik y David – Villa el Sol.

Figura 55.

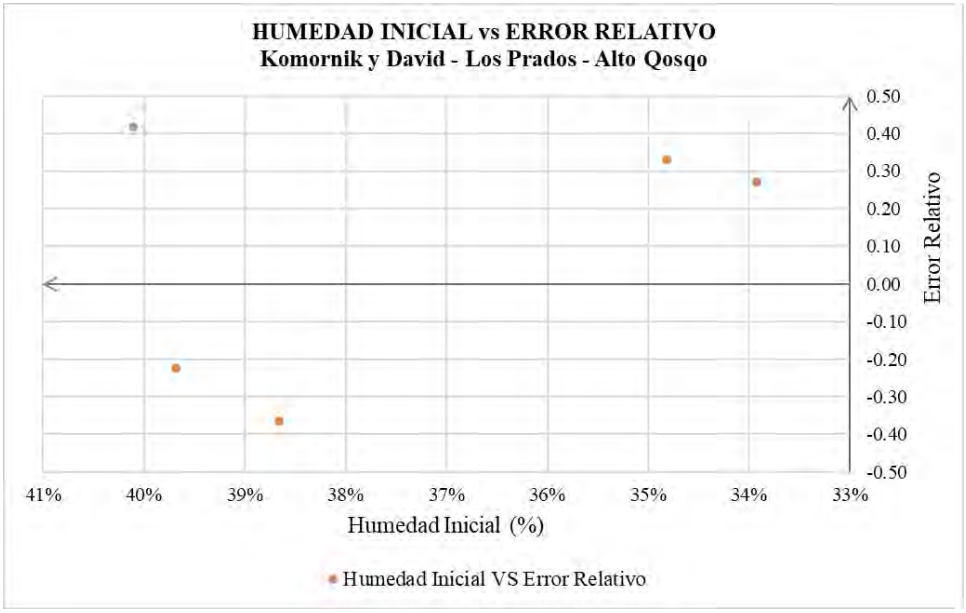
Humedad inicial vs error relativo Komornik y David – Huacarpay



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Komornik y David – Huacarpay.

Figura 56.

Humedad inicial vs error relativo Komornik y David – Los Prados



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Komornik y David – Los Prados.

4.4.3.3. Coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de determinación R^2

En esta sección se muestran los resultados del análisis de correlación de Pearson y coeficiente de determinación para los valores de presión de expansión experimental y los valores de presión de expansión estimados mediante la fórmula empírica de Komornik y David, para cada una de las zonas estudiadas. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 30.

Coeficientes de correlación Komornik y David

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PEARSON Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA KOMORNIK Y DAVID

Zona de Estudio	Coeficiente de correlación Pearson (r)	Coeficiente de determinación (R^2)
Villa el Sol	0.615	0.378
Huacarpay	0.256	0.066
Los Prados	0.596	0.355

Nota. Se presentan los resultados de la correlación de Pearson y el coeficiente de determinación R^2 para el modelo de Komornik y David. Fuente propia.

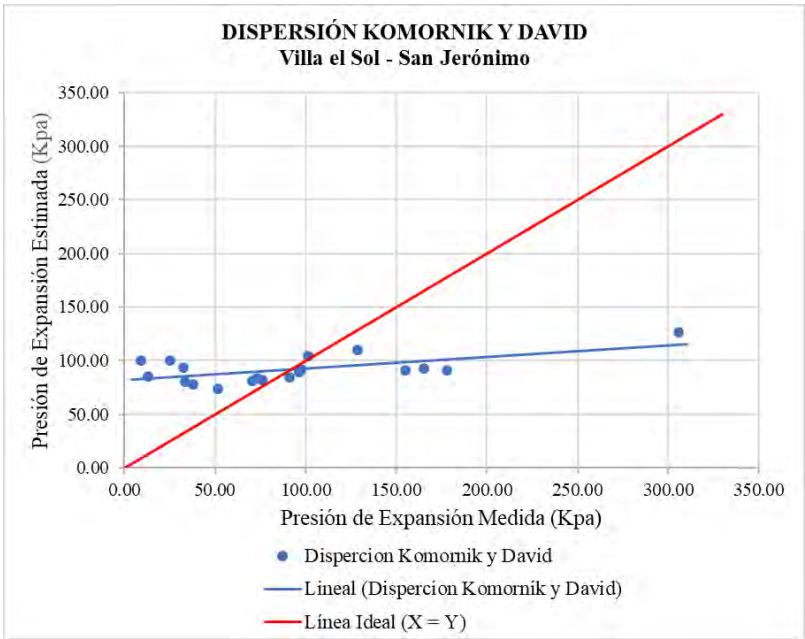
El cálculo de estos valores se presenta detalladamente en el Anexo 09.

Representación gráfica de la correlación

Con el fin de observar la relación de los valores de presión de expansión experimental y estimados, se elaboraron gráficos de dispersión en los que se incluye la línea de tendencia lineal obtenida de la regresión de los datos y una línea de igualdad X=Y, tal línea representaría la línea de tendencia para una estimación perfecta de los valores de presión de expansión frente a los calculados en laboratorio.

Figura 57.

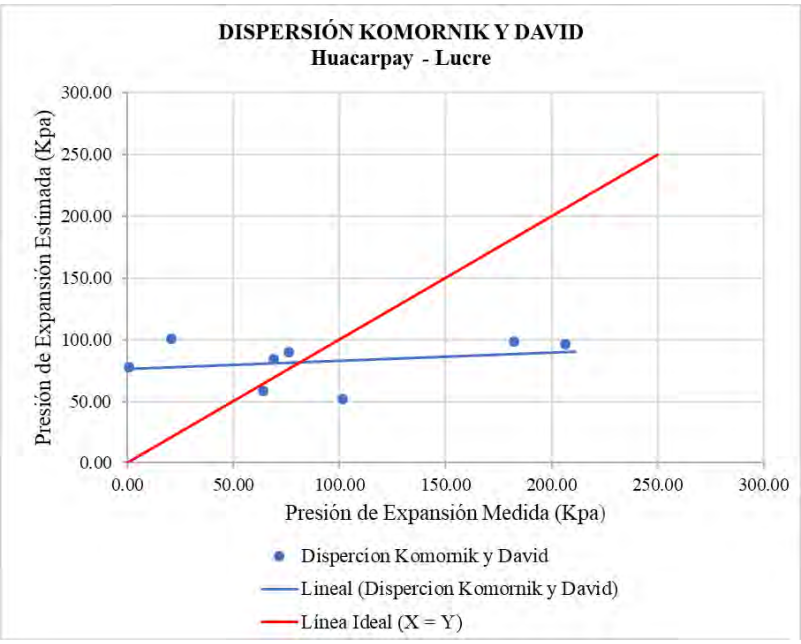
Presión de expansión experimental y estimada mediante Komornik y David – Villa el Sol



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Komornik y David – Villa el Sol.

Figura 58.

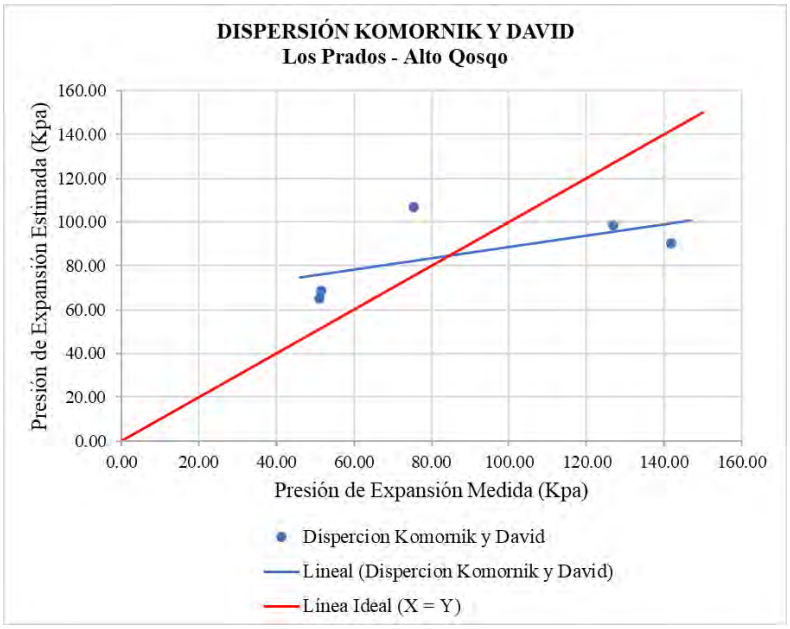
Presión de expansión experimental y estimada mediante Komornik y David – Huacarpay



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Komornik y David – Huacarpay.

Figura 59.

Presión de expansión experimental y estimada mediante Komornik y David – Los Prados



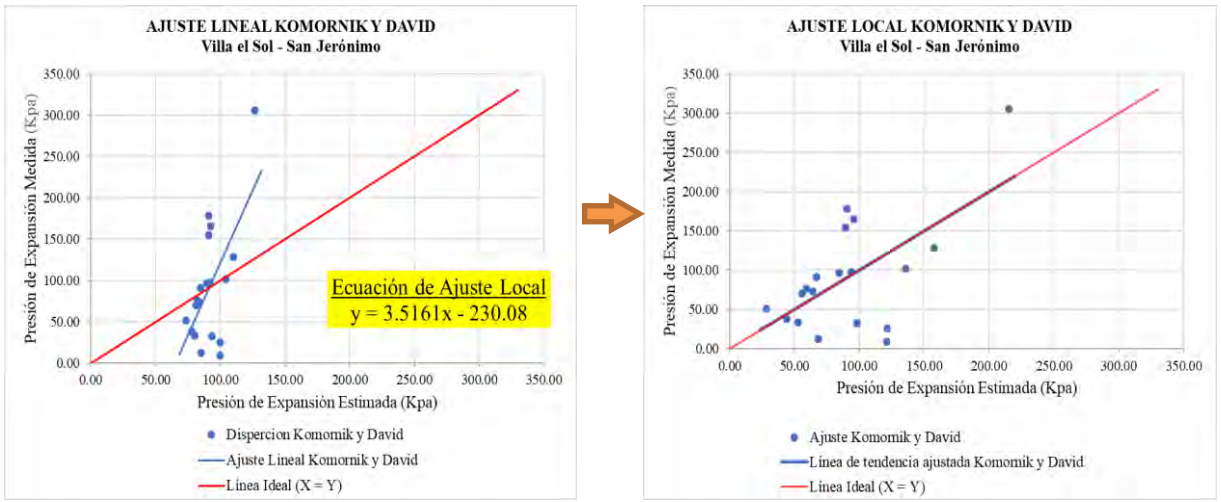
Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Komornik y David – Los Prados.

4.4.3.4. Ecuación de ajuste local para Komornik y David

Ajuste local Komornik y David para Villa el Sol

Figura 60.

Ajuste local Komornik y David para Villa el Sol



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Komornik y David. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Villa el Sol.

Con estos nuevos resultados de presión de expansión estimada y ajustada posteriormente se recalcularon los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación), cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 31.

Indicadores estadísticos de Komornik y David para Villa el Sol.

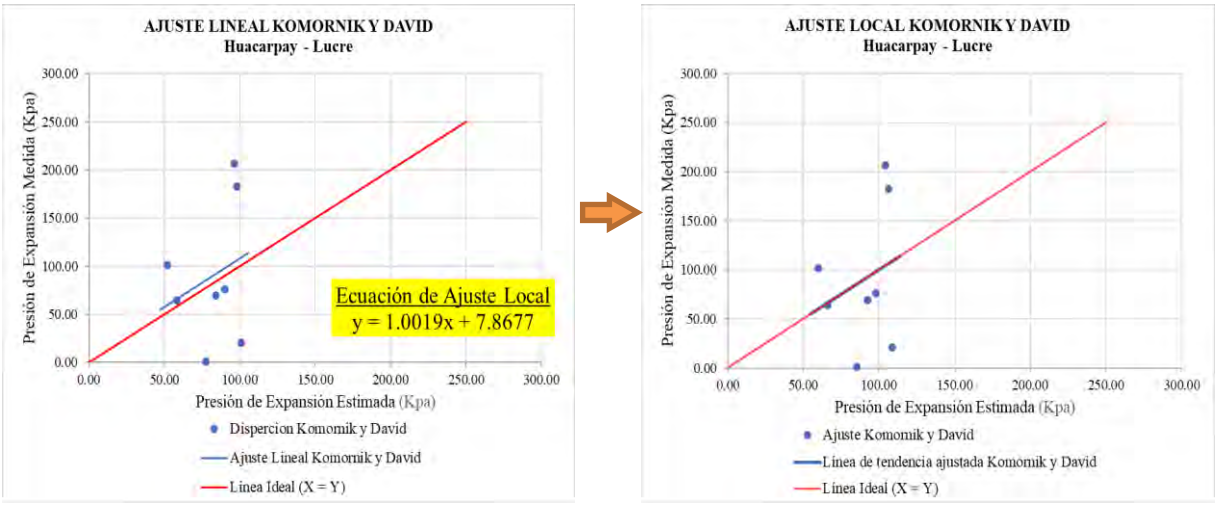
INDICADORES KOMORNIK Y DAVID PARA VILLA EL SOL		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.376	0.735
Error absoluto medio	46.138	43.945
Error relativo medio	1.119	1.079
Error relativo porcentual medio	111.85%	107.85%
Error relativo porcentual máximo	984.42%	1214.53%
Error relativo porcentual mínimo	-58.56%	-49.34%
Coeficiente de correlación Pearson	0.615	0.615
Coeficiente de determinación (R^2)	0.378	0.378

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Komornik y David para la zona de Villa el Sol. Fuente propia.

Ajuste local Komornik y David para Huacarpay

Figura 61.

Ajuste local Komornik y David para Huacarpay



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Komornik y David. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Huacarpay.

En la siguiente tabla se presentan los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) recalculados con los datos de presión de expansión estimada y ajustada mediante la fórmula de ajuste local:

Tabla 32.

Indicadores estadísticos de Komornik y David para Huacarpay.

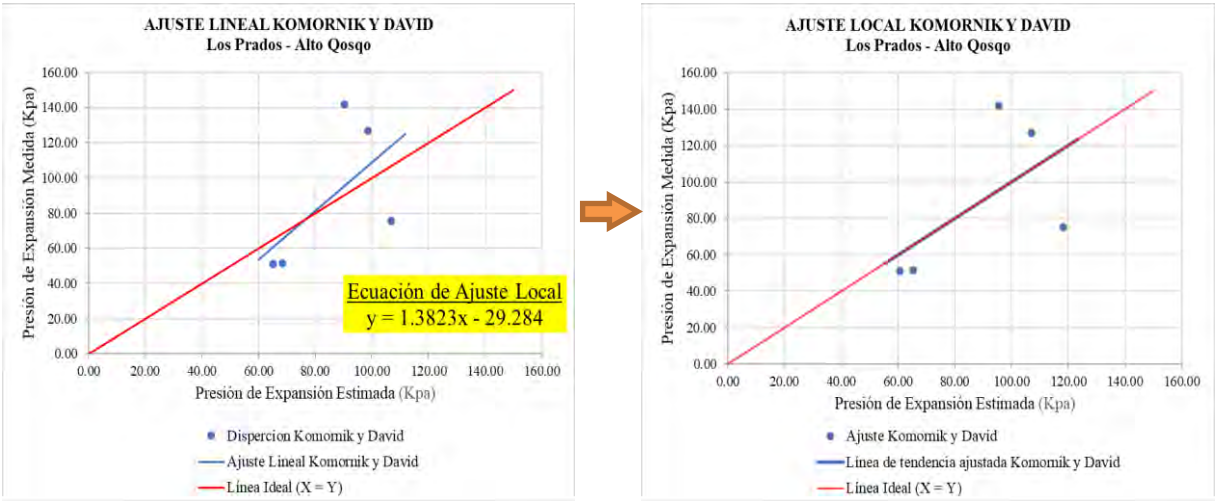
INDICADORES KOMORNIK Y DAVID PARA HUACARPAY		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.292	0.330
Error absoluto medio	54.399	54.909
Error relativo medio	9.237	10.284
Error relativo porcentual medio	923.65%	1028.40%
Error relativo porcentual máximo	7121.92%	7870.41%
Error relativo porcentual mínimo	-53.30%	-49.40%
Coeficiente de correlación Pearson	0.256	0.256
Coeficiente de determinación (R^2)	0.066	0.066

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Komornik y David para la zona de Huacarpay. Fuente propia.

Ajuste local Komornik y David para Los Prados

Figura 62.

Ajuste local Komornik y David para Los Prados



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Komornik y David. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Los Prados.

Se presenta también la tabla con los nuevos resultados de los cálculos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) para los valores de presión de expansión estimados con la fórmula original y después de la ecuación de ajuste local:

Tabla 33.

Indicadores estadísticos de Komornik y David para Los Prados.

INDICADORES KOMORNIK Y DAVID PARA LOS PRADOS		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.631	0.718
Error absoluto medio	28.483	26.564
Error relativo medio	0.087	0.109
Error relativo porcentual medio	8.67%	10.86%
Error relativo porcentual máximo	41.69%	56.98%
Error relativo porcentual mínimo	-36.42%	-32.75%
Coeficiente de correlación Pearson	0.596	0.596
Coeficiente de determinación (R^2)	0.355	0.355

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Komornik y David para la zona de Los Prados. Fuente propia.

4.4.4. Resultados para Vijayvergiya y Ghazzaly

4.4.4.1. Indicadores de concordancia

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del índice de concordancia de Willmott obtenidos para el modelo presentado por Vijayvergiya y Ghazzaly para cada zona de estudio.

Tabla 34.

Índice de concordancia Willmott para Vijayvergiya y Ghazzaly

ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY	
Zona de Estudio	Índice de Concordancia Willmott (d)
Villa el Sol	0.059
Huacarpay	0.043
Los Prados	0.040

4.4.4.2. Indicadores de error y sesgo

En esta sección se muestran los resultados del cálculo de los errores obtenidos de la comparación de la presión de expansión medida en laboratorio y estimada mediante la fórmula de Vijayvergiya y Ghazzaly, para cada una de las zonas de estudio.

Tabla 35.

Indicadores de error para el modelo de Vijayvergiya y Ghazzaly.

ÍNDICE DE ERROR Y SESGO PARA VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY					
Zona de Estudio	Error absoluto medio (kPa)	Error relativo medio	Error relativo porcentual (%)		
			Medio	Máximo	Mínimo
Villa el Sol	51.238	1.075	107.47%	862.64%	-70.04%
Huacarpay	54.316	10.660	1066.00%	8227.34%	-55.56%
Los Prados	35.907	0.189	18.85%	73.20%	-37.71%

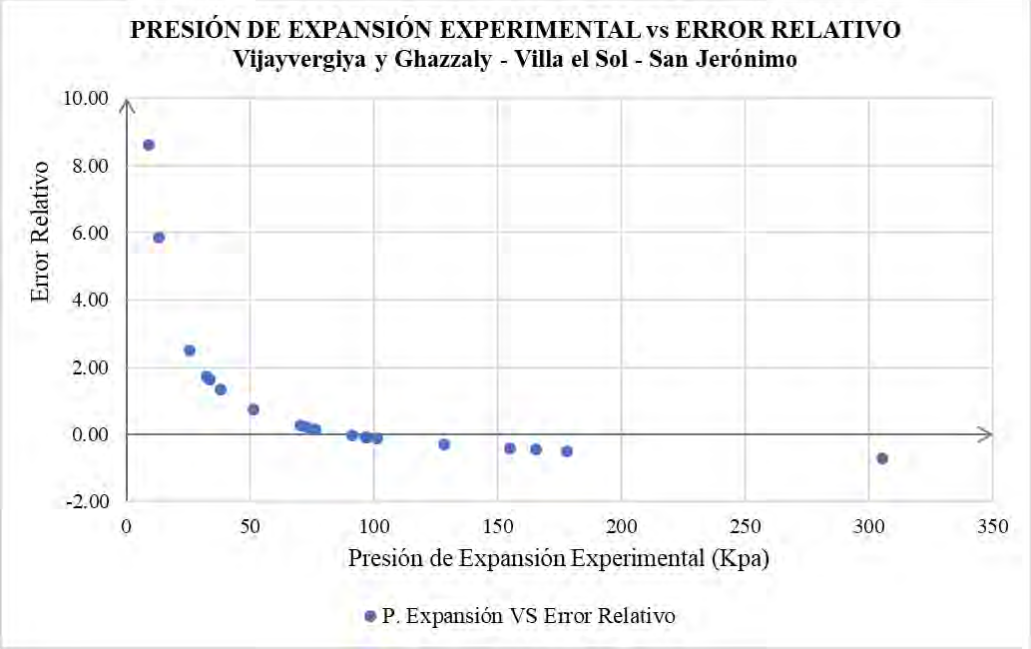
En el Anexo 08 se detallan los cálculos realizados para los resultados de la tabla anteriormente presentada.

También se realizaron gráficas de dispersión para observar la evolución del error relativo individual de cada muestra frente a la presión de expansión experimental y la humedad del suelo, que se presentan a continuación para cada zona de estudio.

Distribución del error relativo en función de la presión de expansión experimental

Figura 63.

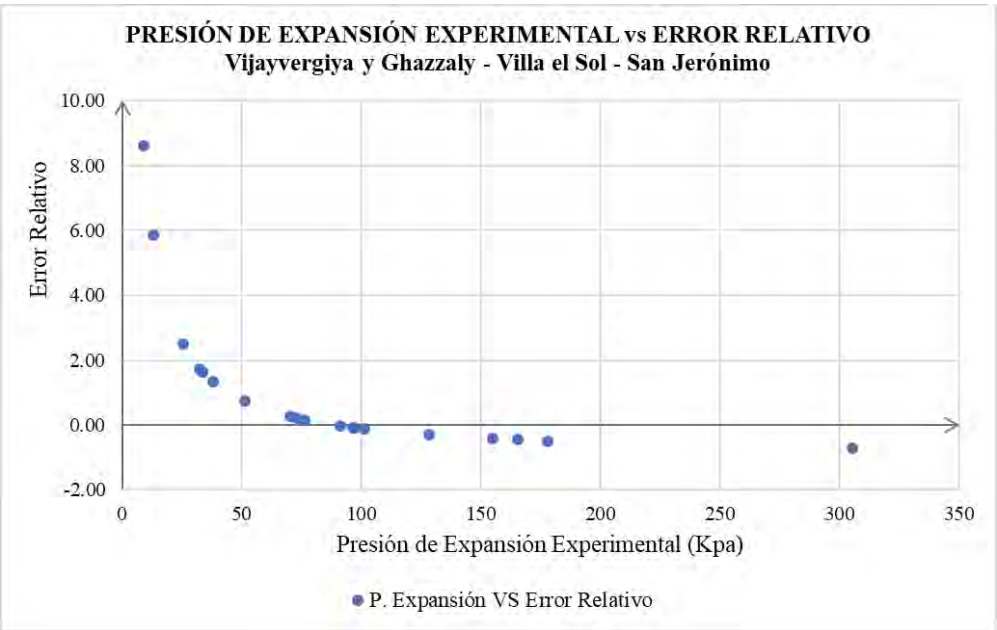
Presión de expansión experimental vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol.

Figura 64.

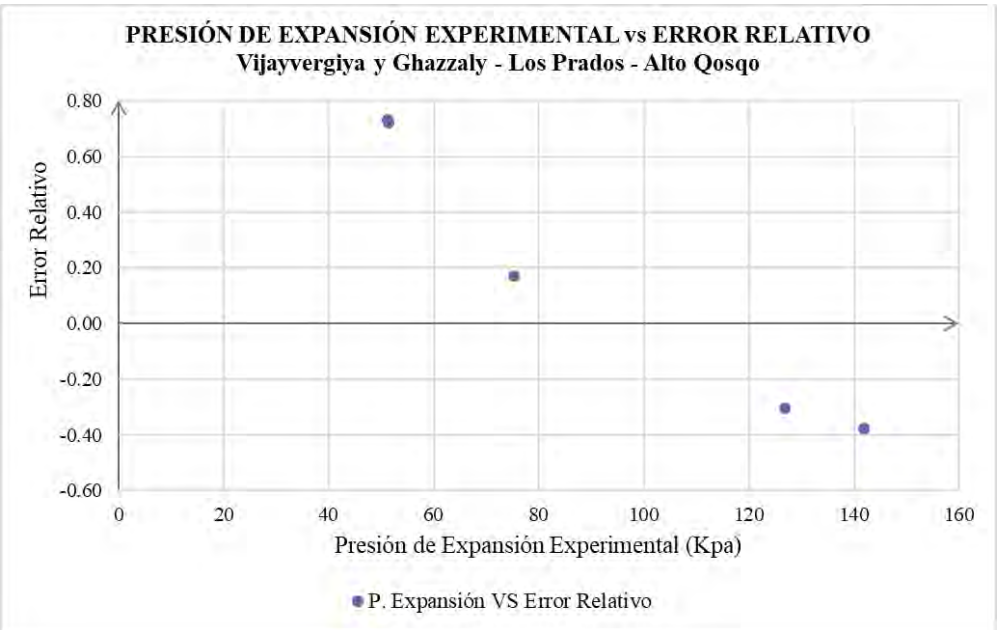
Presión de expansión experimental vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay.

Figura 65.

Presión de expansión experimental vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados

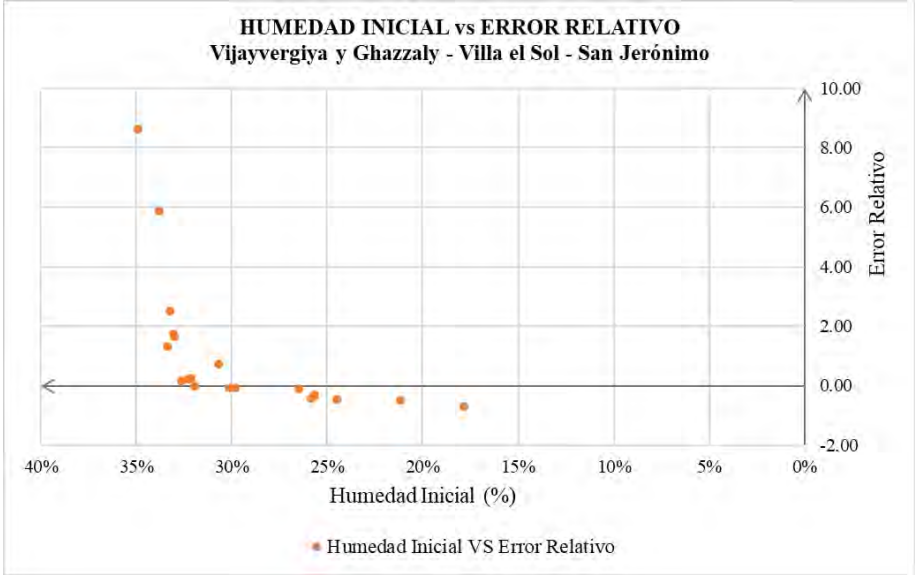


Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados.

Distribución del error relativo en función de la humedad inicial del ensayo de expansión controlada

Figura 66.

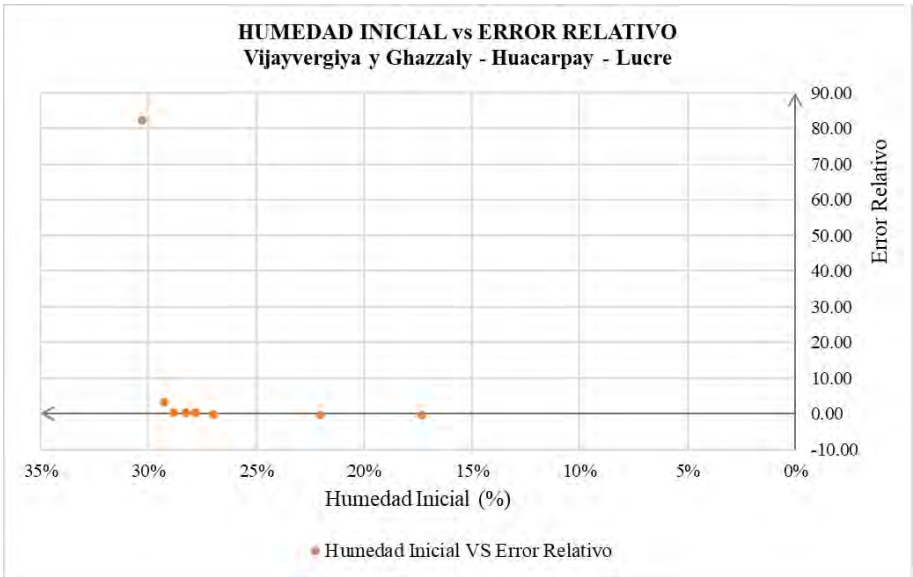
Humedad inicial vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol.

Figura 67.

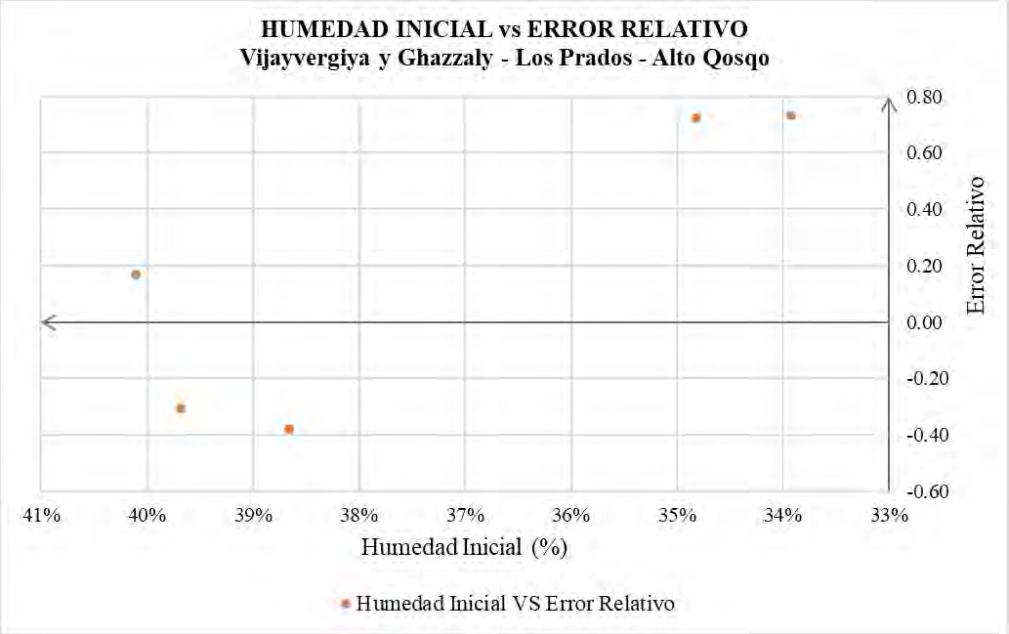
Humedad inicial vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay.

Figura 68.

Humedad inicial vs error relativo Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados.

4.4.4.3. Coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de determinación R^2

En esta sección se muestran los resultados del análisis de correlación de Pearson y coeficiente de determinación para los valores de presión de expansión experimental y los valores de presión de expansión estimados mediante la fórmula empírica de Vijayvergiya y Ghazzaly, para cada una de las zonas estudiadas. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 36.

Coeficiente de correlación Vijayvergiya y Ghazzaly

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PEARSON Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY

Zona de Estudio	Coeficiente de correlación Pearson (r)	Coeficiente de determinación (R^2)
Villa el Sol	0.945	0.893
Huacarpay	0.946	0.895
Los Prados	-0.478	0.228

Nota. Se presentan los resultados de la correlación de Pearson y el coeficiente de determinación R^2 para el modelo de Vijayvergiya y Ghazzaly. Fuente propia.

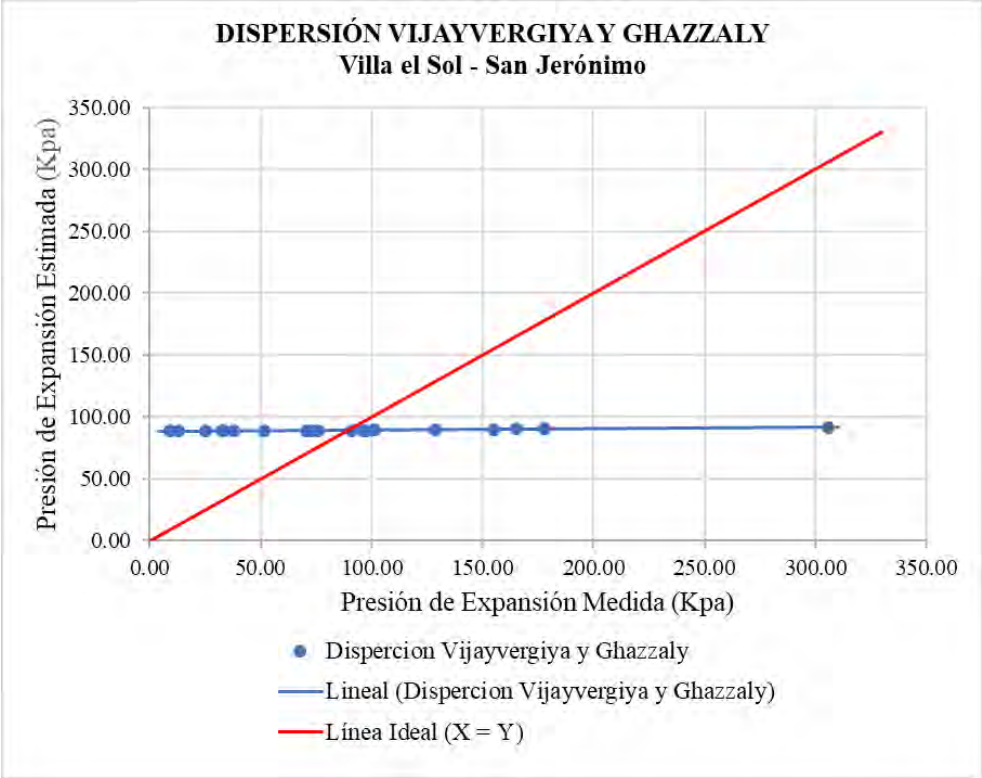
El cálculo de estos valores se presenta detalladamente en el Anexo 09.

Representación gráfica de la correlación

Con el fin de observar la relación de los valores de presión de expansión experimental y estimados, se elaboraron gráficos de dispersión en los que se incluye la línea de tendencia lineal obtenida de la regresión de los datos y una línea de igualdad X=Y, tal línea representaría la línea de tendencia para una estimación perfecta de los valores de presión de expansión frente a los calculados en laboratorio.

Figura 69.

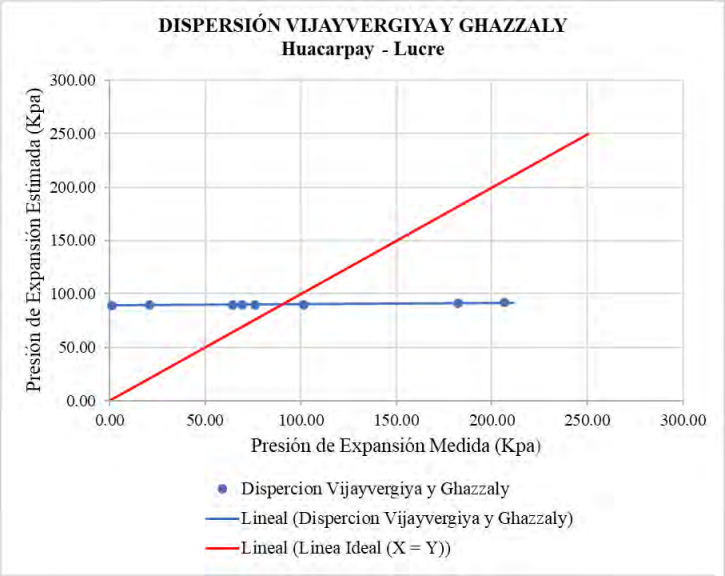
Presión de expansión experimental y estimada mediante Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol.

Figura 70.

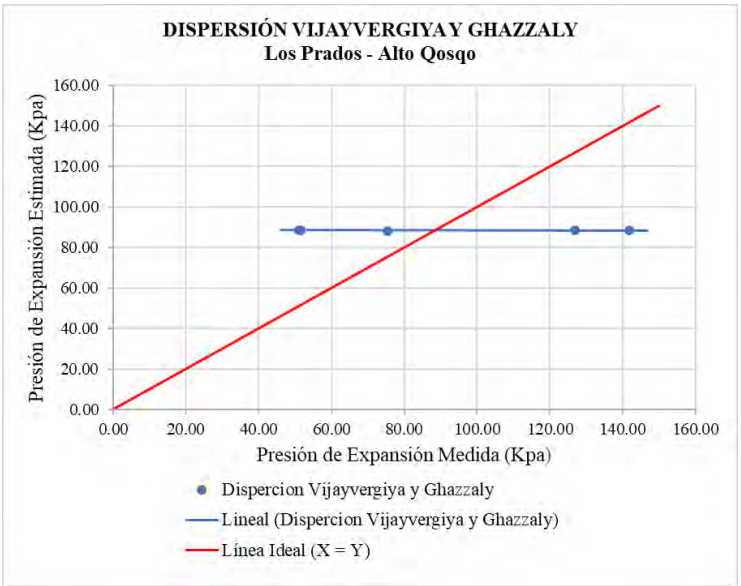
Presión de expansión experimental y estimada mediante Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay.

Figura 71.

Presión de expansión experimental y estimada mediante Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados



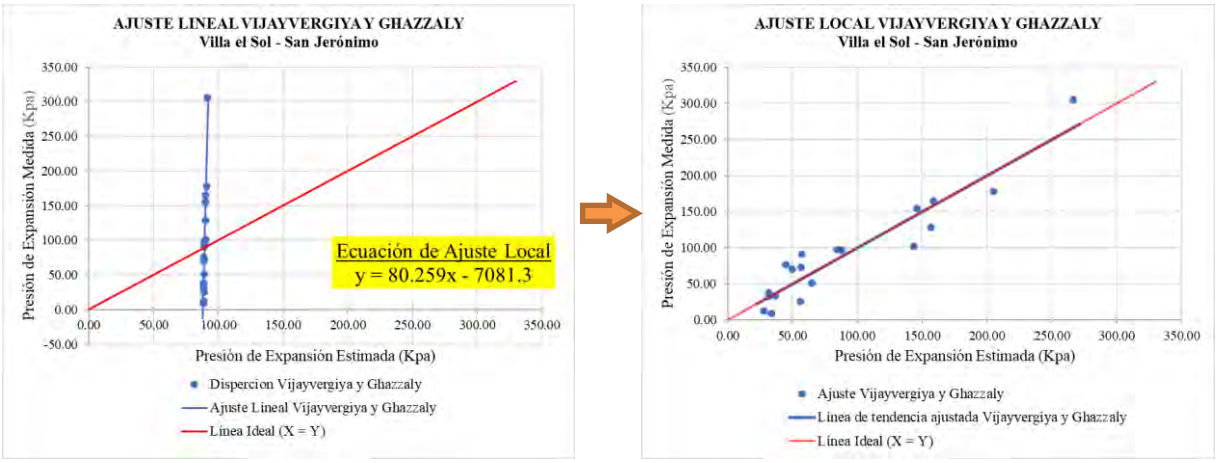
Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados.

4.4.4.4. Ecuación de ajuste local para Vijayvergiya y Ghazzaly

Ajuste local Vijayvergiya y Ghazzaly para Villa el Sol

Figura 72.

Ajuste local Vijayvergiya y Ghazzaly para Villa el Sol



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Vijayvergiya y Ghazzaly. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Villa el Sol.

Con estos nuevos resultados de presión de expansión estimada y ajustada posteriormente se recalcularon los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación), cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 37.

Indicadores estadísticos de Vijayvergiya y Ghazzaly para Villa el Sol

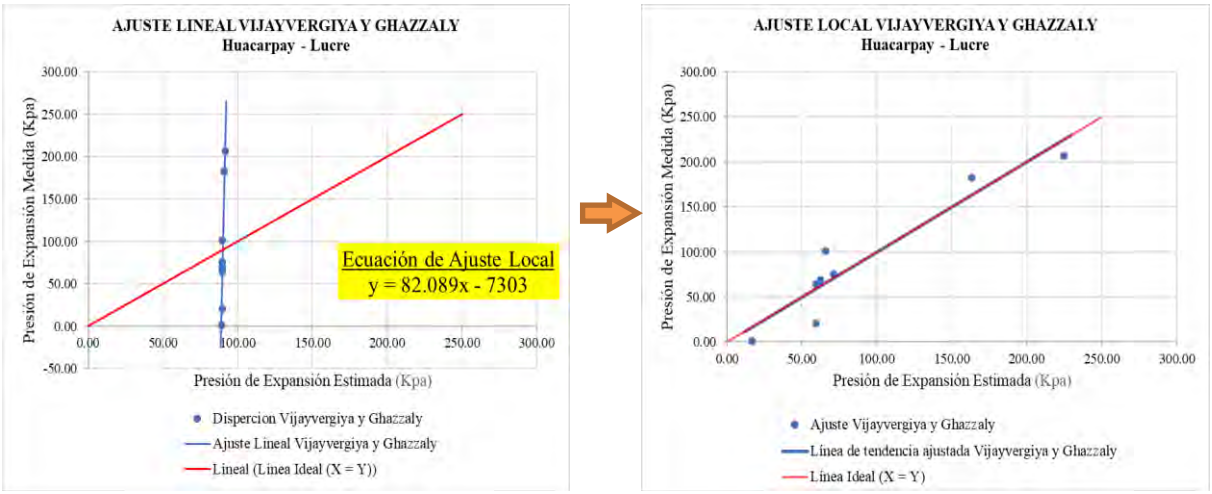
INDICADORES VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY PARA VILLA EL SOL		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.059	0.735
Error absoluto medio	51.238	19.440
Error relativo medio	1.075	0.223
Error relativo porcentual medio	107.47%	22.26%
Error relativo porcentual máximo	862.64%	265.67%
Error relativo porcentual mínimo	-70.04%	-41.19%
Coeficiente de correlación Pearson	0.945	0.945
Coeficiente de determinación (R^2)	0.893	0.893

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Vijayvergiya y Ghazzaly para la zona de Villa el Sol – San Jerónimo. Fuente propia.

Ajuste local Vijayvergiya y Ghazzaly para Huacarpay

Figura 73.

Ajuste local Vijayvergiya y Ghazzaly para Huacarpay



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Vijayvergiya y Ghazzaly. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Huacarpay.

En la siguiente tabla se presentan los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) recalculados con los datos de presión de expansión estimada y ajustada mediante la fórmula de ajuste local:

Tabla 38.

Indicadores estadísticos de Vijayvergiya y Ghazzaly para Huacarpay

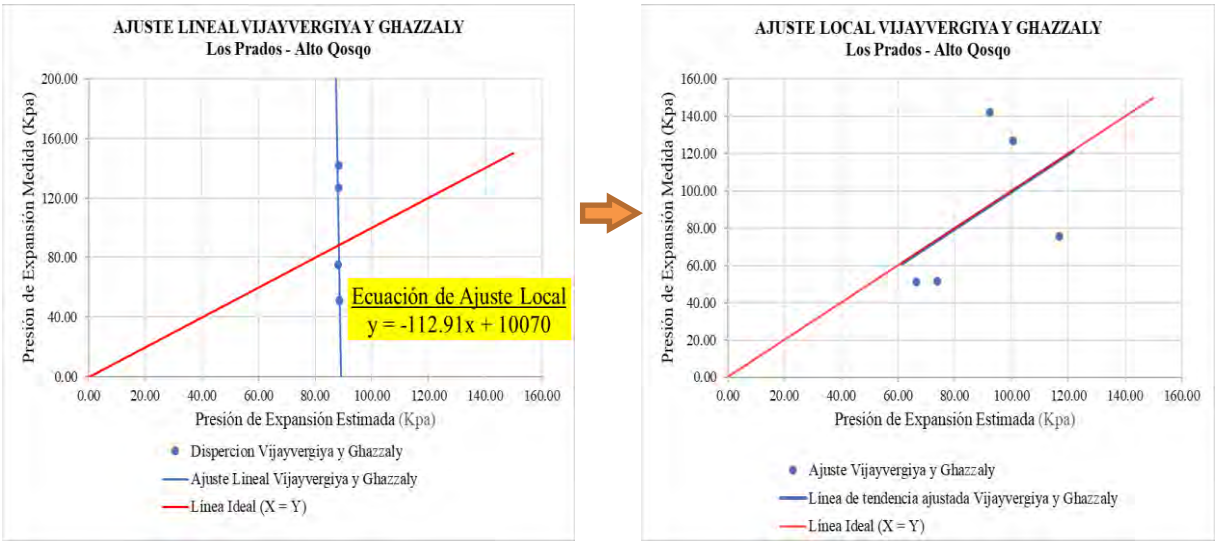
INDICADORES VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY PARA HUACARPAY		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.043	0.972
Error absoluto medio	54.316	18.031
Error relativo medio	10.660	1.978
Error relativo porcentual medio	1066.00%	197.80%
Error relativo porcentual máximo	8227.34%	1458.53%
Error relativo porcentual mínimo	-55.56%	-35.15%
Coeficiente de correlación Pearson	0.946	0.946
Coeficiente de determinación (R^2)	0.895	0.895

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Vijayvergiya y Ghazzaly para la zona de Huacarpay. Fuente propia.

Ajuste local Vijayvergiya y Ghazzaly para Los Prados

Figura 74.

Ajuste local Vijayvergiya y Ghazzaly para Los Prados



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Vijayvergiya y Ghazzaly. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Los Prados.

Se presenta también la tabla con los nuevos resultados de los cálculos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) para los valores de presión de expansión estimados con la fórmula original y después de la ecuación de ajuste local:

Tabla 39.

Indicadores estadísticos de Vijayvergiya y Ghazzaly para Los Prados.

INDICADORES VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY PARA LOS PRADOS		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.040	0.593
Error absoluto medio	35.907	31.027
Error relativo medio	0.189	0.146
Error relativo porcentual medio	18.85%	14.62%
Error relativo porcentual máximo	73.20%	55.20%
Error relativo porcentual mínimo	-37.71%	-34.89%
Coeficiente de correlación Pearson	-0.478	0.478
Coeficiente de determinación (R^2)	0.228	0.228

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Vijayvergiya y Ghazzaly para la zona de Los Prados. Fuente propia.

4.4.5. Resultados para Jiménez Salas

4.4.5.1. Indicadores de concordancia

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del índice de concordancia de Willmott obtenidos para el modelo presentado por Jiménez Salas para cada zona de estudio.

Tabla 40.

Índice de concordancia Willmott para Jiménez Salas.

ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA JIMÉNEZ SALAS	
Zona de Estudio	Índice de Concordancia Willmott (d)
Villa el Sol	0.651
Huacarpay	0.556
Los Prados	0.310

4.4.5.2. Indicadores de error y sesgo

En esta sección se muestran los resultados del cálculo de los errores obtenidos de la comparación de la presión de expansión medida en laboratorio y estimada mediante la fórmula de Jiménez Salas, para cada una de las zonas de estudio.

Tabla 41.

Indicadores de error para el modelo de Jiménez Salas.

ÍNDICE DE ERROR Y SESGO PARA JIMÉNEZ SALAS					
Zona de Estudio	Error absoluto medio (kPa)	Error relativo medio	Error relativo porcentual (%)		
			Medio	Máximo	Mínimo
Villa el Sol	49.170	1.637	163.67%	1913.54%	-52.39%
Huacarpay	67.709	10.415	1041.52%	7216.69%	-55.33%
Los Prados	148.396	1.593	159.33%	420.99%	25.37%

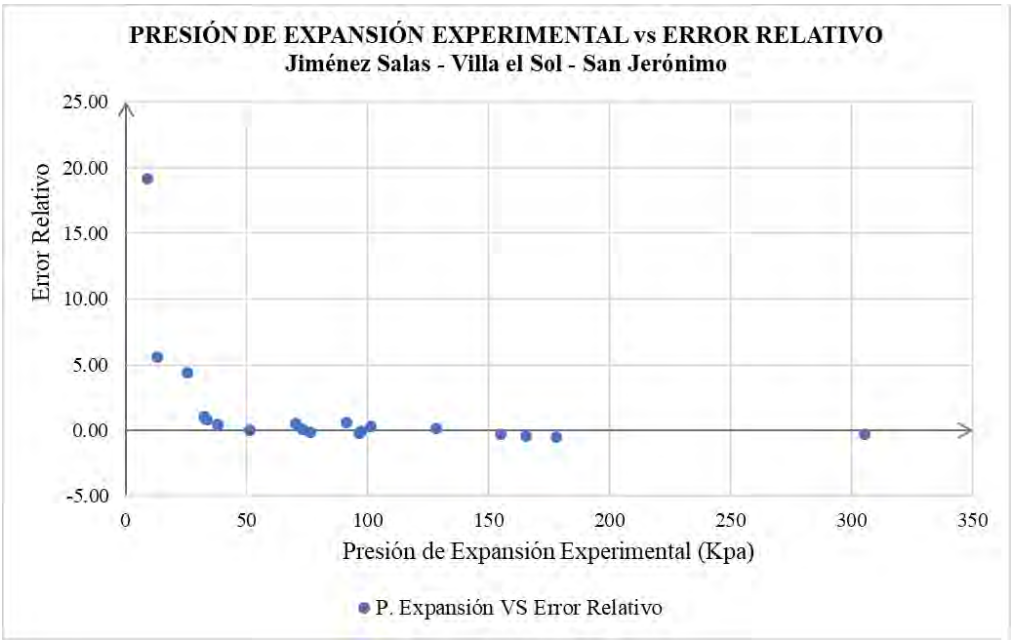
En el Anexo 08 se detallan los cálculos realizados para los resultados de la tabla anteriormente presentada.

También se realizaron gráficas de dispersión para observar la evolución del error relativo individual de cada muestra frente a la presión de expansión experimental y la humedad del suelo, que se presentan a continuación para cada zona de estudio.

Distribución del error relativo en función de la presión de expansión experimental

Figura 75.

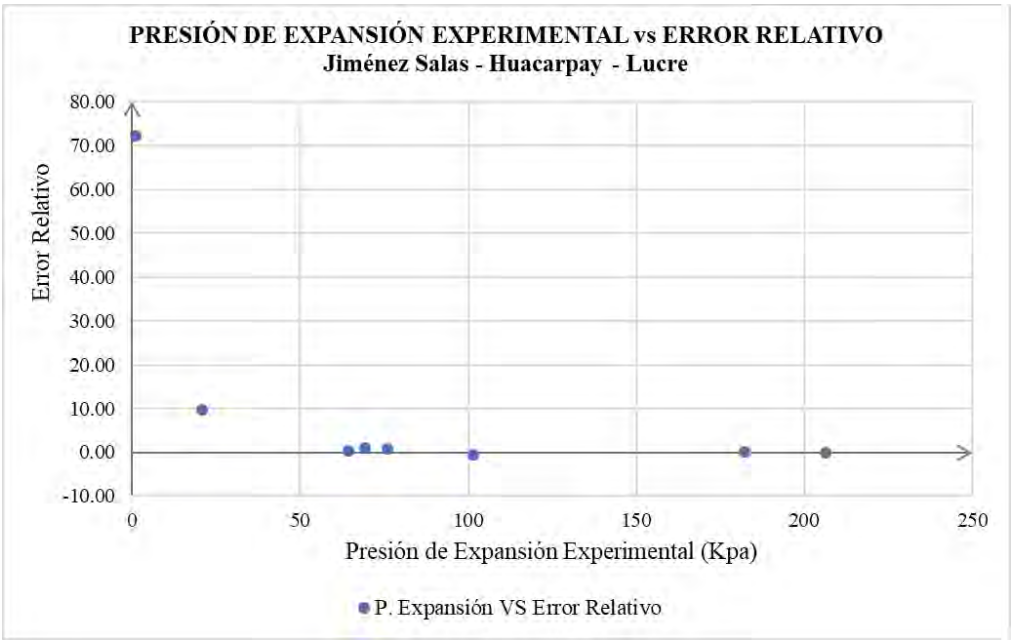
Presión de expansión experimental vs error relativo Jiménez Salas – Villa el Sol



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Jiménez Salas – Villa el Sol.

Figura 76.

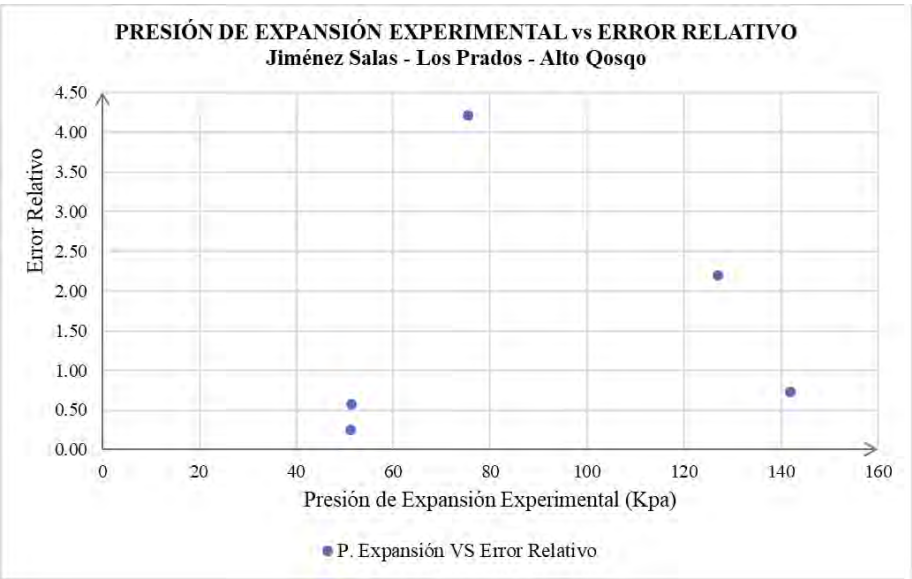
Presión de expansión experimental vs error relativo Jiménez Salas – Huacarpay



Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Jiménez Salas – Huacarpay.

Figura 77.

Presión de expansión experimental vs error relativo Jiménez Salas – Los Prados

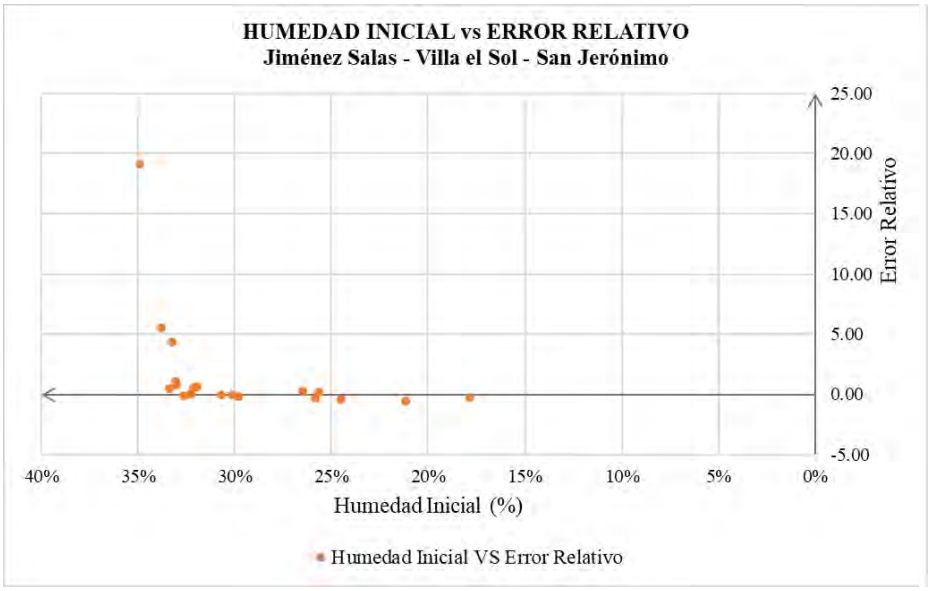


Nota. Relación entre presión de expansión experimental y error relativo para Jiménez Salas – Los Prados.

Distribución del error relativo en función de la humedad inicial del ensayo de expansión controlada

Figura 78.

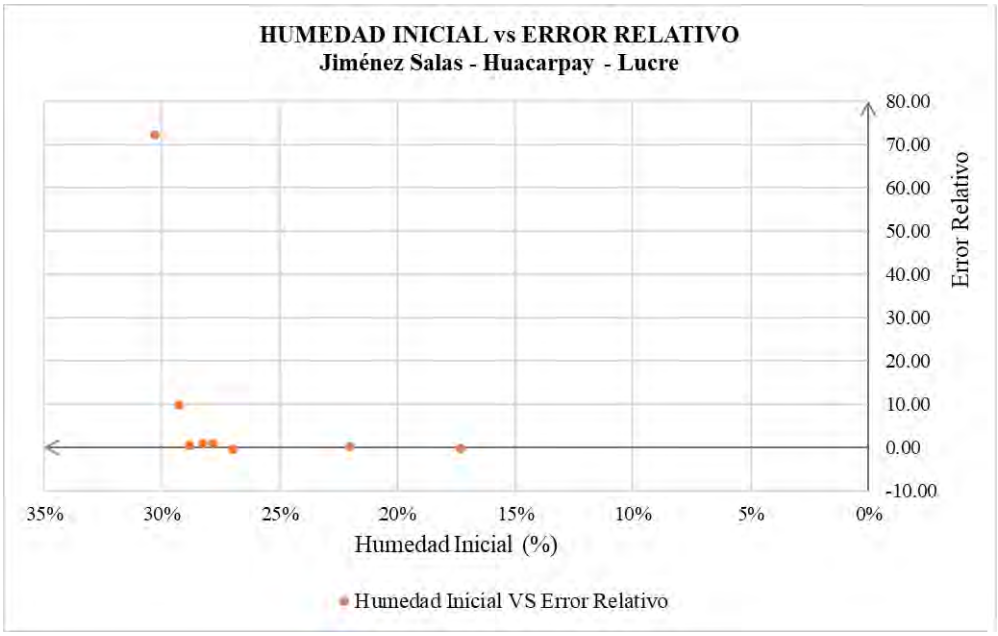
Humedad inicial vs error relativo Jiménez Salas – Villa el Sol



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Jiménez Salas – Villa el Sol.

Figura 79.

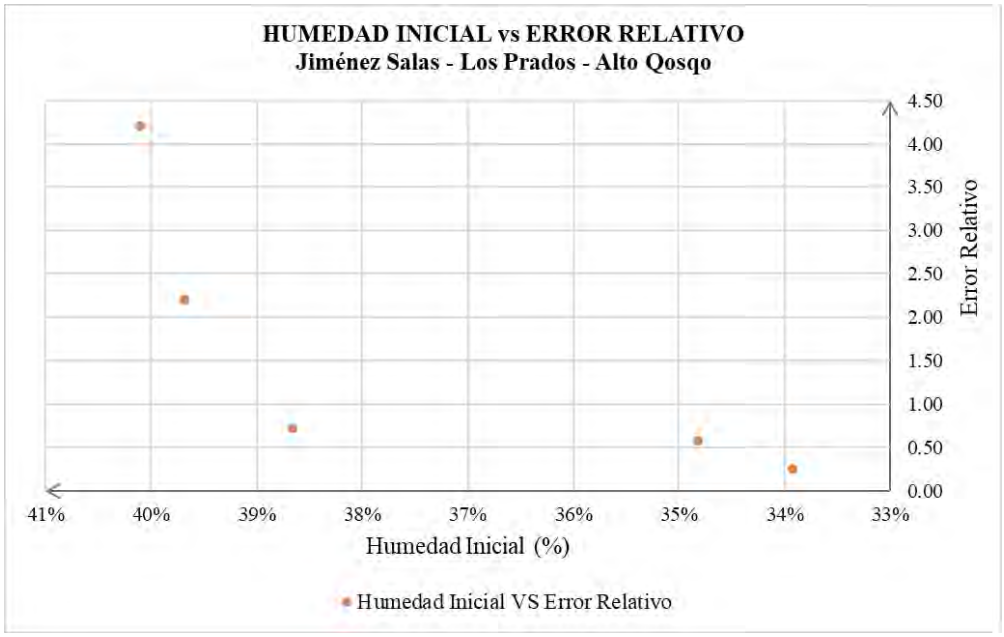
Humedad inicial vs error relativo Jiménez Salas – Huacarpay



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Jiménez Salas – Huacarpay.

Figura 80.

Humedad inicial vs error relativo Jiménez Salas – Los Prados



Nota. Relación entre humedad inicial de ensayo de expansión y error relativo para Jiménez Salas – Los Prados.

4.4.5.3. Coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de determinación R^2

En esta sección se muestran los resultados del análisis de correlación de Pearson y coeficiente de determinación para los valores de presión de expansión experimental y los valores de presión de expansión estimados mediante la fórmula empírica de Jiménez Salas, para cada una de las zonas estudiadas. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 42.

Coeficientes de correlación Jiménez Salas

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PEARSON Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA JIMÉNEZ SALAS

Zona de Estudio	Coeficiente de correlación Pearson (r)	Coeficiente de determinación (R^2)
Villa el Sol	0.445	0.198
Huacarpay	0.255	0.065
Los Prados	0.613	0.376

Nota. Se presentan los resultados de la correlación de Pearson y el coeficiente de determinación R^2 para el modelo de Jiménez Salas. Fuente propia.

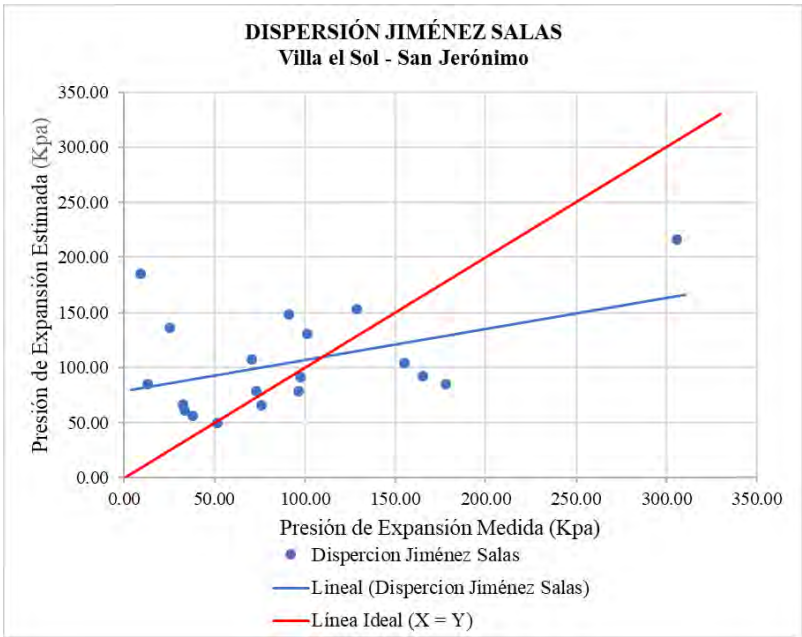
El cálculo de estos valores se presenta detalladamente en el Anexo 09.

Representación gráfica de la correlación

Con el fin de observar la relación de los valores de presión de expansión experimental y estimados, se elaboraron gráficos de dispersión en los que se incluye la línea de tendencia lineal obtenida de la regresión de los datos y una línea de igualdad X=Y, tal línea representaría la línea de tendencia para una estimación perfecta de los valores de presión de expansión frente a los calculados en laboratorio.

Figura 81.

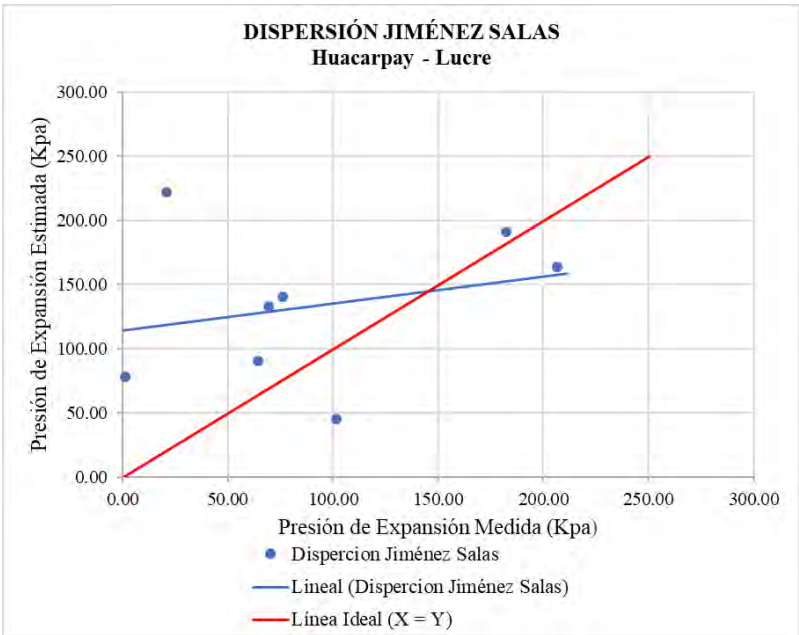
Presión de expansión experimental y estimada mediante Jiménez Salas – Villa el Sol



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Jiménez Salas – Villa el Sol.

Figura 82.

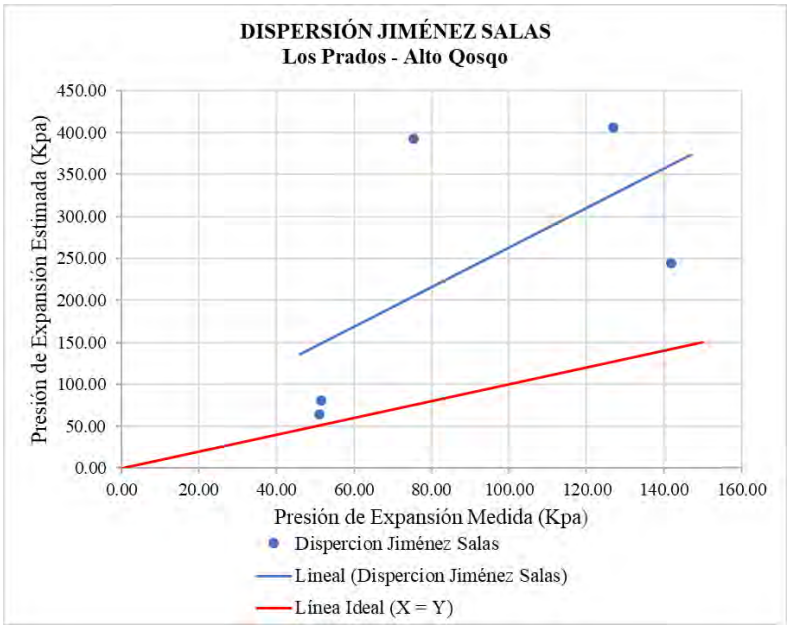
Presión de expansión experimental y estimada mediante Jiménez Salas – Huacarpay



Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Jiménez Salas – Huacarpay.

Figura 83.

Presión de expansión experimental y estimada mediante Jiménez Salas – Los Prados



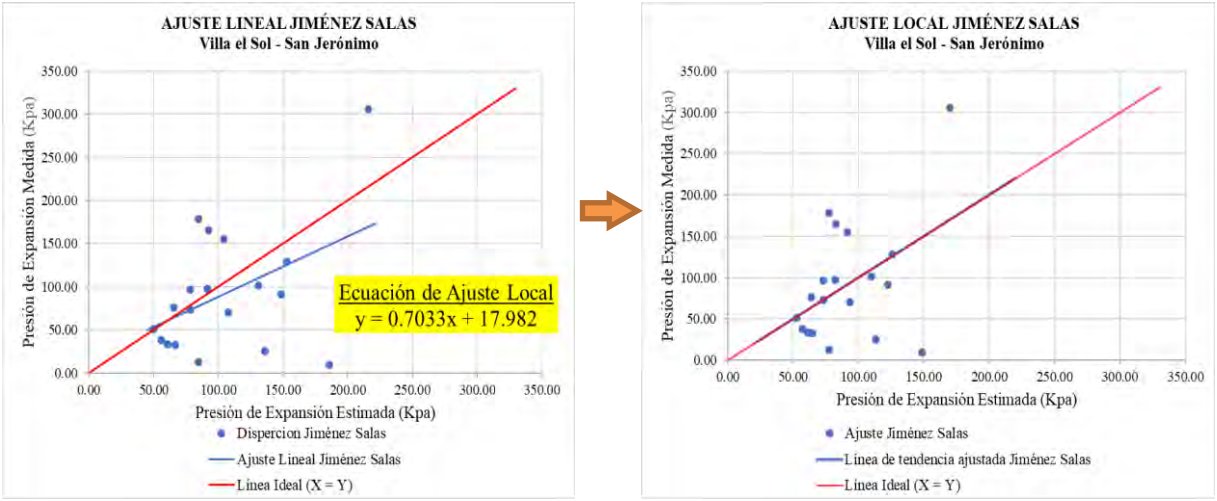
Nota. Relación entre la presión de expansión experimental y la presión de expansión estimada mediante la fórmula de Jiménez Salas – Los Prados.

4.4.5.4. Ecuación de ajuste local para Jiménez Salas

Ajuste local Jiménez Salas para Villa el Sol

Figura 84.

Ajuste local Jiménez Salas para Villa el Sol



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Jiménez Salas. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Villa el Sol.

Con estos nuevos resultados de presión de expansión estimada y ajustada posteriormente se recalcularon los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación), cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 43.

Indicadores estadísticos de Jiménez Salas para Villa el Sol.

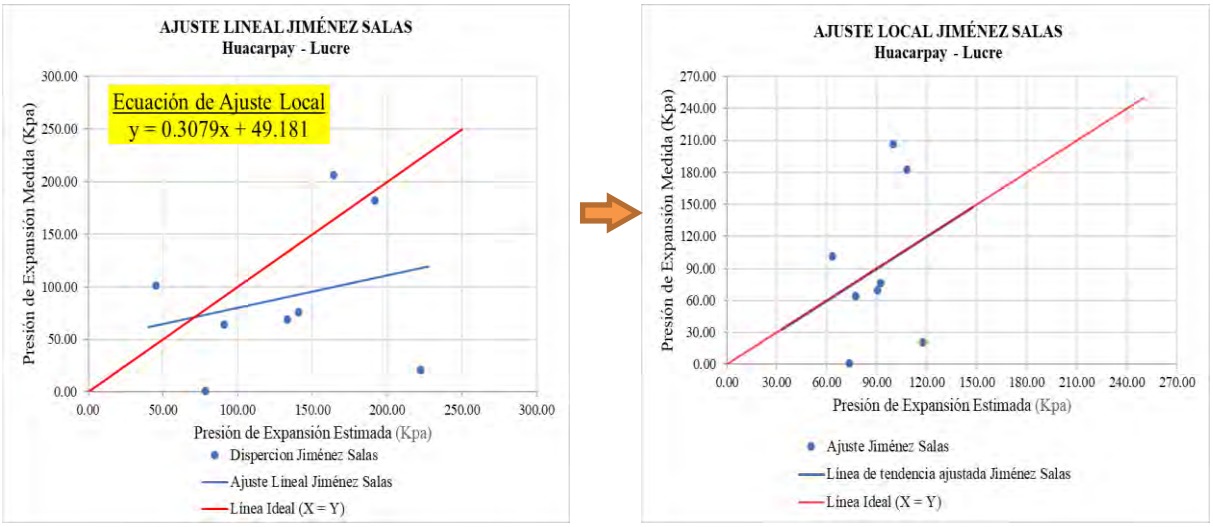
INDICADORES JIMÉNEZ SALAS PARA VILLA EL SOL		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.651	0.587
Error absoluto medio	49.170	45.843
Error relativo medio	1.637	1.274
Error relativo porcentual medio	163.67%	127.41%
Error relativo porcentual máximo	1913.54%	1511.39%
Error relativo porcentual mínimo	-52.39%	-56.41%
Coeficiente de correlación Pearson	0.445	0.445
Coeficiente de determinación (R^2)	0.198	0.198

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Jiménez Salas para la zona de Villa el Sol – San Jerónimo. Fuente propia.

Ajuste local Jiménez Salas para Huacarpay

Figura 85.

Ajuste local Jiménez Salas para Huacarpay



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Jiménez Salas. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Huacarpay.

En la siguiente tabla se presentan los datos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) recalculados con los datos de presión de expansión estimada y ajustada mediante la fórmula de ajuste local:

Tabla 44.

Indicadores estadísticos de Jiménez Salas para Huacarpay.

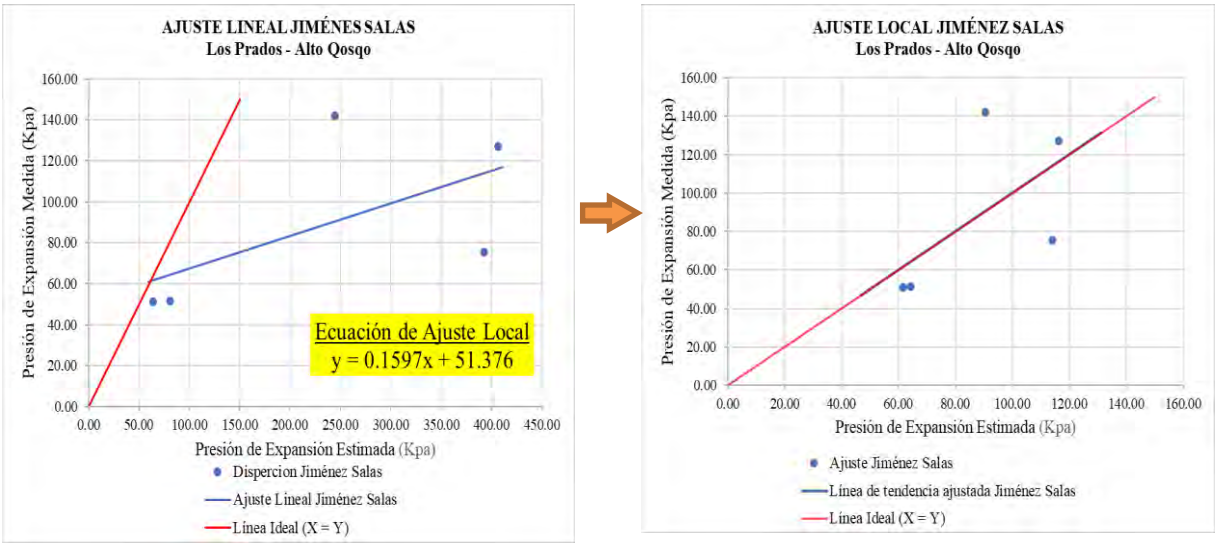
INDICADORES JIMÉNEZ SALAS PARA HUACARPAY		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.556	0.352
Error absoluto medio	67.709	54.835
Error relativo medio	10.415	8.941
Error relativo porcentual medio	1041.52%	894.06%
Error relativo porcentual máximo	7216.69%	6745.80%
Error relativo porcentual mínimo	-55.33%	-51.71%
Coeficiente de correlación Pearson	0.255	0.255
Coeficiente de determinación (R^2)	0.065	0.065

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Jiménez Salas para la zona de Huacarpay - Lucre. Fuente propia.

Ajuste local Jiménez Salas para Los Prados

Figura 86.

Ajuste local Jiménez Salas para Los Prados



Nota. Izquierda: Dispersión y ecuación de ajuste lineal para Jiménez Salas. Derecha: Gráfico de dispersión de datos de presión de expansión estimados después de ajuste para la zona de Los Prados.

Se presenta también la tabla con los nuevos resultados de los cálculos estadísticos (índice de concordancia, errores y coeficientes de correlación) para los valores de presión de expansión estimados con la fórmula original y después de la ecuación de ajuste local:

Tabla 45.

Indicadores estadísticos de Jiménez Salas para Los Prados.

INDICADORES JIMÉNEZ SALAS PARA LOS PRADOS		
INDICADOR	Valores con modelo original	Valores con ajuste local
Índice de concordancia Willmott "d"	0.310	0.731
Error absoluto medio	148.396	24.842
Error relativo medio	1.593	0.105
Error relativo porcentual medio	159.33%	10.46%
Error relativo porcentual máximo	420.99%	51.40%
Error relativo porcentual mínimo	25.37%	-36.25%
Coeficiente de correlación Pearson	0.613	0.613
Coeficiente de determinación (R^2)	0.376	0.376

Nota. Indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada original y ajustada al modelo Jiménez Salas para la zona de Los Prados – Alto Qosqo. Fuente propia.

A continuación, se presenta una tabla compilatoria con los datos de los indicadores estadísticos para cada modelo evaluado, presentando un resumen para cada zona de estudio.

Tabla 46.

Resumen de indicadores estadísticos para valores de presión de expansión estimada.

RESUMEN DE INDICADORES PARA CADA MODELO - ZONA						
Zona	Indicador	Nayak y Christensen	Sabtan	Komornik y David	Vijayvergiya y Ghazzaly	Jiménez Salas
Villa el Sol - San Jerónimo	Índice concordancia Willmott "d"	0.677	0.419	0.376	0.059	0.651
	Error absoluto medio	42.221	114.869	46.138	51.238	49.170
	Error relativo medio	0.262	3.577	1.119	1.075	1.637
	Error relativo porcentual medio	26.17%	357.68%	111.85%	107.47%	163.67%
	Error relativo porcentual máximo	458.53%	2057.40%	984.42%	862.64%	1913.54%
	Error relativo porcentual mínimo	-60.75%	-33.66%	-58.56%	-70.04%	-52.39%
	Coeficiente de correlación Pearson	0.908	0.493	0.615	0.945	0.445
	Coeficiente de determinación (R^2)	0.824	0.243	0.378	0.893	0.198
Huacarpay - Lucre	Índice concordancia Willmott "d"	0.638	0.436	0.292	0.043	0.556
	Error absoluto medio	46.109	108.444	54.399	54.316	67.709
	Error relativo medio	7.961	24.263	9.237	10.660	10.415
	Error relativo porcentual medio	796.07%	2426.30%	923.65%	1066.00%	1041.52%
	Error relativo porcentual máximo	6372.53%	17894.57%	7121.92%	8227.34%	7216.69%
	Error relativo porcentual mínimo	-46.93%	-2.25%	-53.30%	-55.56%	-55.33%
	Coeficiente de correlación Pearson	0.806	0.414	0.256	0.946	0.255
	Coeficiente de determinación (R^2)	0.650	0.171	0.066	0.895	0.065
Los Prados - Alto Qosqo	Índice concordancia Willmott "d"	0.555	0.399	0.631	0.040	0.310
	Error absoluto medio	40.066	103.094	28.483	35.907	148.396
	Error relativo medio	-0.370	1.557	0.087	0.189	1.593
	Error relativo porcentual medio	-37.04%	155.71%	8.67%	18.85%	159.33%
	Error relativo porcentual máximo	-16.83%	265.22%	41.69%	73.20%	420.99%
	Error relativo porcentual mínimo	-59.78%	38.17%	-36.42%	-37.71%	25.37%
	Coeficiente de correlación Pearson	0.970	0.814	0.596	-0.478	0.613
	Coeficiente de determinación (R^2)	0.942	0.663	0.355	0.228	0.376

Nota. Síntesis comparativa de los indicadores estadísticos para los valores de presión de expansión estimada por los modelos evaluados correspondientes a cada zona de estudio. Fuente propia.

Capítulo V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis de la caracterización geotécnica de los suelos

5.1.1. Clasificación de los suelos

- La clasificación de suelos realizada para los suelos muestreados en las 3 zonas de estudio, en el sistema SUCS, el 100% de la muestra corresponde a la clasificación "CH" definida como suelos finos arcillosos altamente plásticos. Esta clasificación toma en cuenta tres datos importantes como son la granulometría (con porcentajes de finos superiores a 99.45% para las muestras de Villa el Sol, 98.74% para muestras de Huacarpay y 92.35% para muestras de Los Prados – Alto Qosqo). También se toman en cuenta los datos de límite líquido (observándose que se tienen valores superiores a 50 para todos los casos) y datos del índice de plasticidad (superiores a 27 para las muestras de Villa el Sol y Huacarpay, y superiores a 24 para las muestras de Los Prados – Alto Qosqo). Todos estos datos, clasificados también de manera gráfica en la carta de plasticidad de Casagrande, coinciden con la clasificación de arcillas de alta plasticidad. "CH".
- La clasificación de los suelos en base al sistema AASHTO, para los suelos muestreados en la zona de la Villa el Sol – San Jerónimo y Huacarpay - Lucre, les corresponde una clasificación A-7-6 (suelos arcillosos de alta plasticidad) a todas las muestras y un I_g (Índice de grupo) superior a 31 para todos los casos. Para las muestras de Los Prados – Alto Qosqo, las muestras extraídas a una profundidad de 1.80 m les corresponde la clasificación A-7-6, y para las muestras extraídas a una profundidad de 2.80 m les corresponde la clasificación de A-7-5, código correspondiente también para suelos arcillosos con alta plasticidad, la razón a la que se debe esa diferencia es el alto valor del límite líquido para estas muestras, teniendo valores superiores a 60. En todos los casos, un índice de grupo superior a 29, lo que indica altas plasticidades y altos contenidos de finos, considerándose como materiales muy pobres y malos para usos en proyectos de ingeniería.
- Cabe señalar que durante los muestreos se observó la existencia de nivel freático solo en la zona de Huacarpay, ubicándose a una profundidad variable en las calicatas entre 1.50 y 1.80 m, lo cual hace más susceptible la posibilidad de cambio de humedad en el suelo, condición de importancia a considerar para efectos de expansión de suelos. Si bien no se encontró nivel freático en las zonas de Villa el Sol y Los Prados, al tener

suelos clasificados como arcilla de alta plasticidad, se consideran como suelos que pueden generar problemas de cambio de volumen y generación de presiones sobre toda estructura de ingeniería que se edifique sobre ellos al cambiar las condiciones de humedad en las que se encuentran en su estado natural.

5.1.2. Propiedades índice y distribución granulométrica

Villa el Sol – San Jerónimo

- Para los suelos muestreados en la zona de Villa el Sol – San Jerónimo se observó que la gravedad específica tiene valores entre 2.62 y 2.67, indicando valores dentro de los rangos para minerales arcillosos como la Caolinita o la Montmorillonita. Otro dato observado es el de peso unitario seco, teniendo valores entre 14.10 y 16.24 kN/m³, con lo cual se podría decir que para esta zona se hallan suelos con arcillas medianamente compactas a compactas, manteniendo un nivel alto de estabilidad, aunque siguen siendo sensibles a cambios de humedad.
- Los datos de límite de contracción para estas muestras se encuentran entre 8.10% y 13.47% con un promedio de 10.92% para las 19 muestras, siendo este un valor alto relacionado con la plasticidad, lo cual nos indica que son suelos críticos expansivos.
- Los ensayos granulométricos por tamizado de estas muestras nos indican que estos suelos contienen altos porcentajes de partículas finas (99.77% en promedio, de partículas pasantes de la malla #200 de 75µm, para las 19 muestras). Mientras que el ensayo de granulometría por sedimentación indica que el 74% de las muestras tiene un contenido de arcilla superior al 50%, con lo que al calcular la actividad se obtienen valores superiores a 0.50, lo cual nos indica que son suelos de actividad media (directamente relacionado con potencial de expansión).

Huacarpay - Lucre

- Los valores de gravedad específica para los suelos muestreados en esta zona van de 2.61 a 2.65 correspondientes a minerales arcillosos como la Caolinita y el peso unitario seco encontrado va desde valores de 11.15 a 14.31 kN/m³, lo que indica que el tipo de suelo hallado corresponde a arcillas blandas y en algunos casos medianamente compactas, lo cual podría deberse al nivel freático presente en la zona.
- Los datos de límite de contracción para estas muestras se encuentran entre 11.22% y 14.45%, correspondientes a muestras de arcilla de plasticidad media.

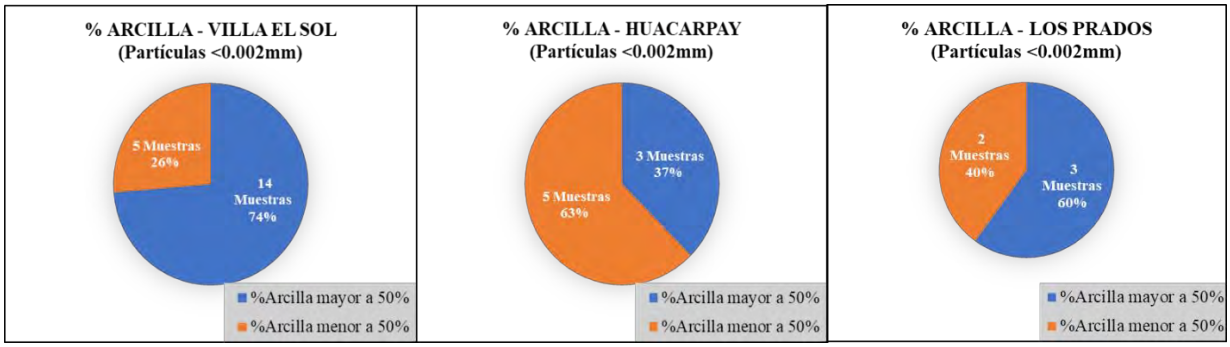
- A partir de los ensayos de granulometría por tamizado de las 8 muestras de esta zona, los resultados nos indican que en promedio se presenta un 99.62% de partículas finas que pasan la malla #200. Por otro lado, los resultados obtenidos del ensayo de granulometría por sedimentación indican que el 37% de las muestras presentan un contenido de coloides de arcilla superior al 50% de su composición total, con lo que el cálculo de la actividad nos da resultados superiores a 0.5, lo cual arroja valores superiores a los de Villa el Sol – San Jerónimo, presentando datos de suelos de actividad expansiva superior.

Los Prados – Alto Qosqo

- El valor de la gravedad específica registrado para las muestras de esta zona en promedio de 2.64, que podría reflejar el contenido de minerales arcillosos de Caolinita. Por otro lado, los valores de peso unitario seco para estos suelos indican que son suelos básicamente definidos como arcillas blandas, susceptibles a cambios de humedad.
- El límite de contracción registrado para las muestras de esta zona nos arroja valores más altos en comparación con las otras zonas de estudio (15.44% en promedio), aunque estos se encuentran como valores correspondientes para suelos de plasticidad media.
- De los ensayos granulométricos se obtuvo un valor de 96.76% en promedio de partículas finas pasantes de la malla #200, aunque el porcentaje de finos de las muestras de esta zona es menor en comparación con el de las otras zonas, aunque sigue siendo alto, comunes para suelos arcillosos de alta plasticidad. Los resultados del ensayo de granulometría por sedimentación reflejan que las muestras ensayadas presentan, en promedio, un 55.07% de partículas coloidales (partículas de tamaño menor de 2 µm), con lo que el valor de la actividad se encuentra muy cercano a 0.5, considerándose así, como suelos de actividad media con potencial a expandirse.

Figura 87.

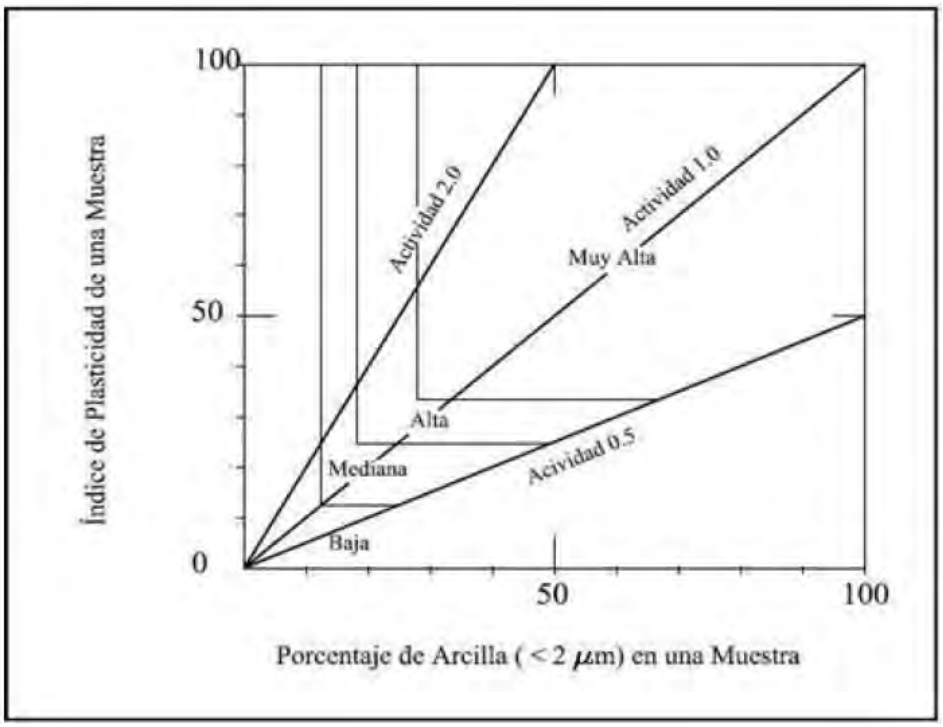
Número de muestras con contenido de arcilla mayor al 50%.



5.1.3. Implicancia de las propiedades geotécnicas de las muestras en la expansión del suelo

Figura 88.

Clasificación de cambio de potencial de volumen



Nota. Fuente. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (SENCICO, 2020)

Tabla 47.

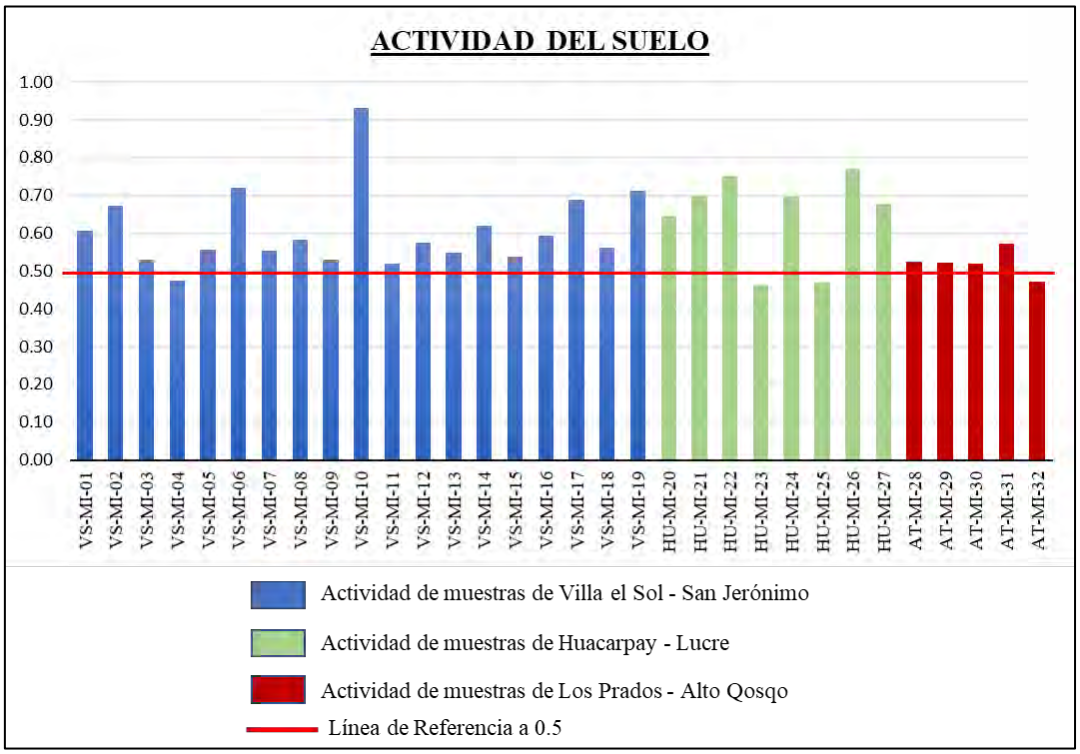
Clasificación del potencial de suelos expansivos

CLASIFICACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS			
Potencial de expansión *Ep*	**Expansión en consolidómetro, bajo presión vertical de 7 kPa (0,07 kgf/cm²)**	**Índice de plasticidad *IP***	**Porcentaje de partículas menores que dos micras**
%	%	%	%
Muy alto	> 30	> 32	> 37
Alto	20 – 30	23 – 45	18 – 37
Medio	10 – 20	12 – 34	12 – 27
Bajo	< 10	< 20	< 17

Nota. Adaptado de Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (SENCICO, 2020)

Figura 89.

Comparación de valores de actividad del suelo de las muestras de las tres zonas



- El gráfico y la tabla presentados en la norma E.050 de Suelos y Cimentaciones, nos dan valores referenciales para determinar el potencial de expansión de suelos en base a su actividad, porcentaje de partículas menores de dos micras e índice de plasticidad.

  En el gráfico anterior se observa que la actividad de las muestras de Villa el Sol y Huacarpay, en su gran mayoría están por encima de la línea de referencia de 0.50, con lo que se deduce, de acuerdo a la Figura 89, para los valores resultantes de porcentaje de arcilla de los ensayos de granulometría por sedimentación, se tienen muestras con un potencial de expansión medio y alto.

  Como se muestra en la Tabla 47, el tener todas las muestras con resultados de porcentaje de partículas superiores a 37% e índices de plasticidad superiores a 23, se pueden clasificar como suelos con potencial de expansión alto y muy alto.

- Para el caso de los suelos muestreados en Los Prados – Alto Qosqo, si bien los valores de la actividad del suelo son menores, también sobrepasan la línea de referencia de 0.50, al igual que con promedios de índice de plasticidad igual a 30. Con estos resultados, de acuerdo con las tablas de la Norma E.050, se puede señalar que el potencial de expansión de estos suelos va de medio a muy alto.

- De acuerdo a los valores de límite líquido presentados por los suelos muestreados y la gravedad específica, estos suelos presentan valores donde se evidencian datos correspondientes a minerales arcillosos como la Caolinita, la cual presenta propiedades de expansión medias a altas.

  Los valores de propiedades como el límite líquido, índice plástico, porcentaje de finos y grado de saturación presentados por los suelos estudiados, tienen considerable implicancia en el fenómeno de expansión, tal como indica (Rodríguez, 2020), considerados variables importantes en el análisis de los modelos de predicción.

5.2. Ensayo de expansión controlada y presión de expansión experimental

5.2.1. Presión de expansión experimental

Tabla 48.

Rangos típicos de presión de expansión

Presión de expansión (kPa)	Clasificación del suelo	Tipo de Arcilla	Comportamiento
< 25 kPa	No expansivo o muy bajo	Arcillas Normales	Expansión despreciable
25 – 50 kPa	Expansión baja		Ligero cambio volumétrico
50 – 100 kPa	Expansión moderada	Arcillas Expansivas (Caolinita)	Puede generar problemas en estructuras ligeras
100 – 300 kPa	Expansión alta		Riesgo para losas y cimentaciones superficiales
> 300 kPa	Muy expansivo	Arcilla altamente expansivas - críticas (Montmorillonitas)	Suelo altamente problemático

Nota. Adaptado de (Chen, 1988)

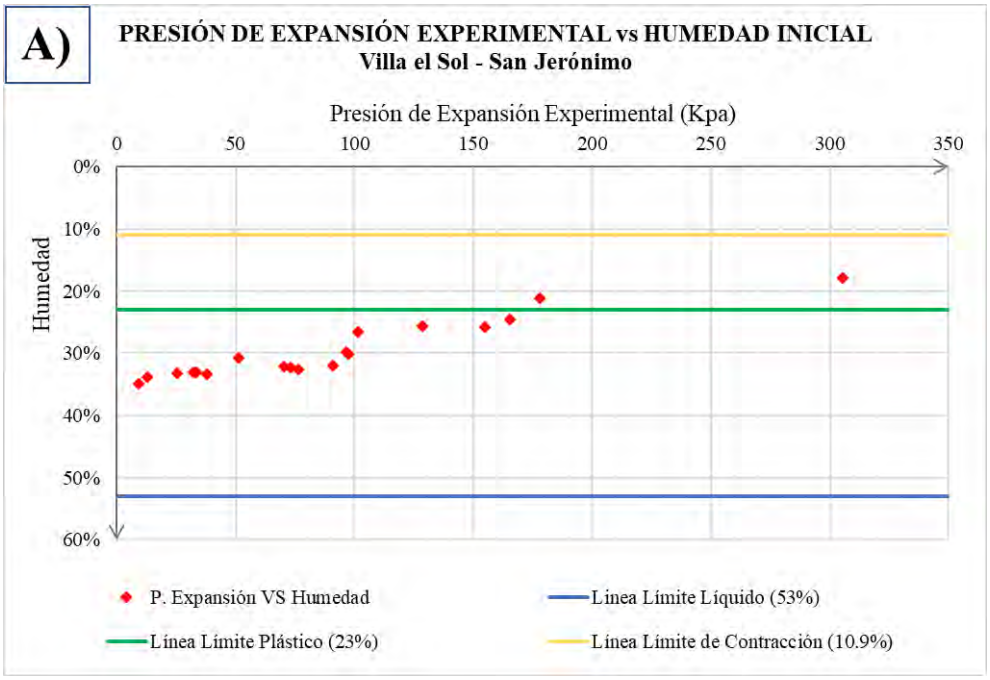
- La presión de expansión medida en el ensayo de expansión controlada en el laboratorio, para la zona de Villa el Son – San Jerónimo, dan como resultados valores que van desde 9.21 a 305.56 kPa correspondientes a humedades iniciales que van de 34.92% a 17.86% respectivamente, evidenciando la relación inversamente proporcional que existe entre la humedad del suelo y la presión de expansión que genera, debiéndose al potencial de succión del suelo que disminuye cuando aumenta la humedad. Tal como (Ordoñez, Auvinet, & Juárez, 2014), para suelos de Tuxtla, las variaciones de la humedad generan fuerzas internas de expansión que pueden ascender hasta 420 kPa.
- Para los suelos de la zona de Villa el Sol, podrían considerarse como suelos de expansión alta o muy expansivos de acuerdo a la tabla de Chen. Observando que el rango de humedades, en el que se encontraron las muestras de esta zona, es variable; en situaciones críticas este suelo se consideraría como un suelo altamente problemático.

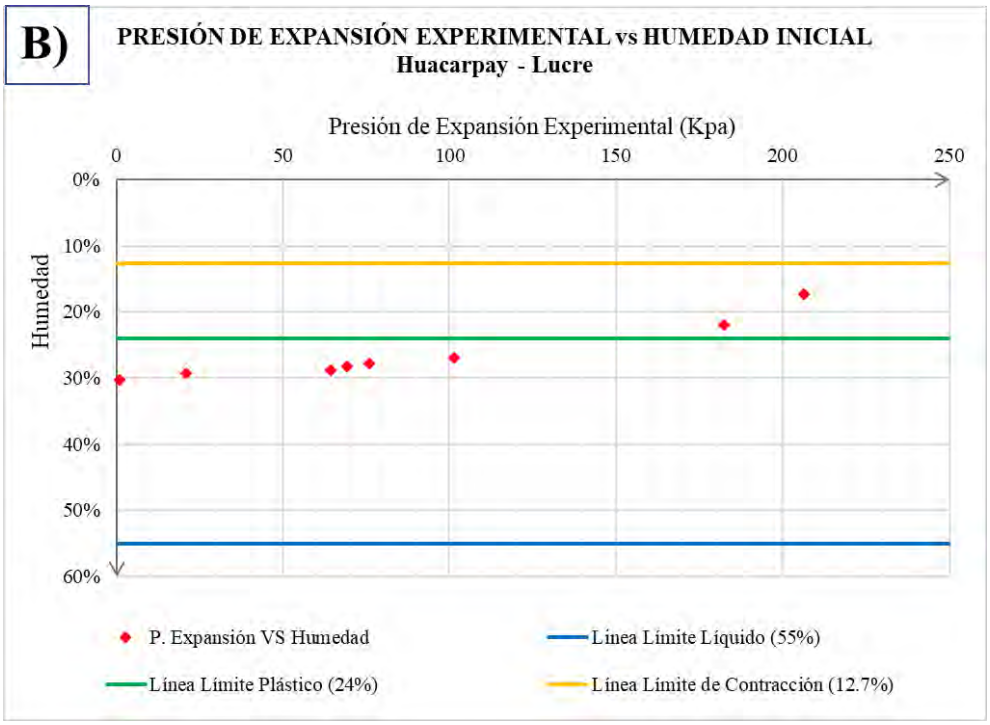
- Para la zona de Huacarpay, se hallaron muestras con alto porcentaje de humedad natural (debido al nivel freático existente), por lo que, en el ensayo de expansión controlada, presentaron resultados de presión de expansión bajos debido a que el suelo se encontraba cercano a su estado de expansión completa, es decir, con su potencial de expansión ya liberado. Sin embargo, ensayos en muestras que perdieron humedad, previo al ensayo de expansión, evidenciaron presiones de expansión significativamente mayores, lo cual confirma su alto potencial de expansión cuando el suelo experimenta procesos de secado previos a la saturación (por ejemplo, en temporada de estiaje).
- Los suelos muestreados en la zona de Huacarpay son suelos de expansión moderada a alta; los resultados del ensayo de expansión controlada muestran valores entre 206.37 kPa para una muestra con 17.31% de humedad y 1.07 kPa cuando la muestra tiene una humedad de 30.29%.
- En el caso de las muestras de la zona de Los Prados – Alto Qosqo, se observaron básicamente dos tipos de arcillas de similares propiedades, pero con resultados de la presión de expansión dispersos. Como primer caso está la arcilla extraída a 1.80 m de profundidad, en la cual, para una humedad de 34.37%, se observa una presión de expansión de 51.28 kPa en promedio, por lo que se considera una arcilla de expansión baja. En el otro caso se observan las muestras de arcilla extraídas a 2.80m de profundidad, las cuales presentan una mayor humedad natural (39.48%) y una presión de expansión de 114.72 kPa en promedio, considerándose así una arcilla de expansión moderada a alta.

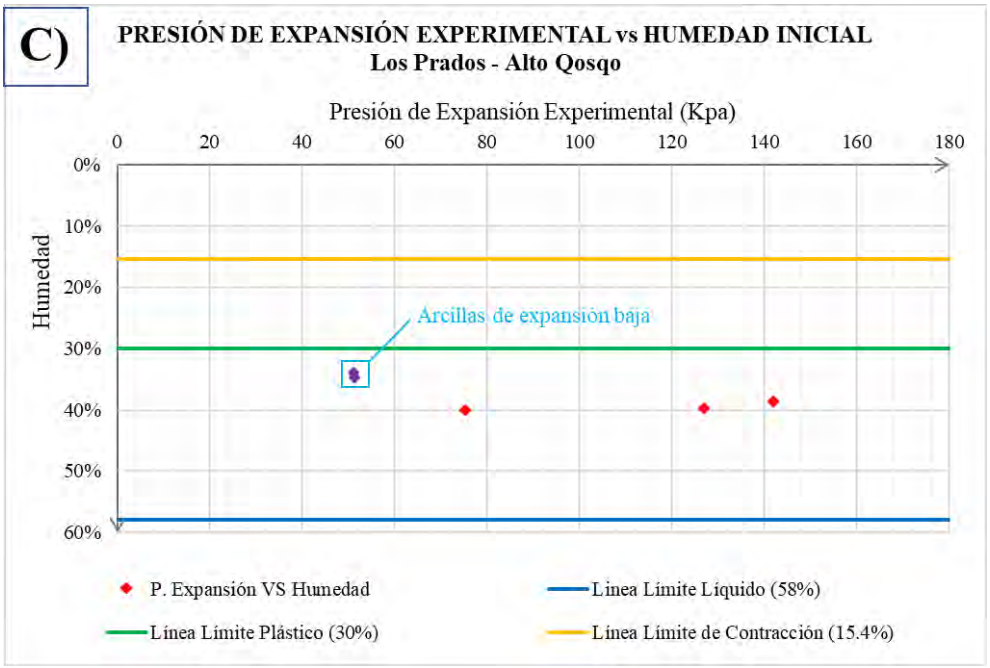
5.2.2. Relación entre propiedades índice y presión experimental

Figura 90.

Presión de expansión experimental vs la humedad inicial del ensayo de expansión controlada







Nota. Comportamiento de la presión de expansión experimental vs la humedad inicial del ensayo de expansión controlada para las zonas estudiadas. A) Villa el Sol, B) Huacarpay y C) Los Prados. Fuente propia.

- De acuerdo a las gráficas de humedad vs presión de expansión experimental, se evidencia que las mayores presiones de expansión se generan cuando la humedad del suelo se encuentra por debajo del límite plástico, y la presión crece mucho al acercarse más al límite de contracción, debido al aumento de la succión matricial del suelo.
- Cuando la humedad se aproxima al límite plástico o lo supera, la tendencia de la presión de expansión disminuye considerablemente, confirmando que el potencial de expansión de un suelo está fuertemente controlado por el estado de humedad inicial del suelo.
- Para los valores de IP, se puede precisar que los valores son muy similares, a excepción de Los Prados, con un promedio de IP=29 y LL=58 (siendo el mayor de las 3 zonas). Para este suelo, a pesar de mostrar un límite líquido alto, el potencial de expansión y las presiones de expansión que presentan son de medias a bajas.
- Las muestras de Villa el Sol y Huacarpay dan como resultado índices de plasticidad altos, lo cual se refleja en los valores resultantes de presión de expansión. Esto por tener mayor capacidad de saturación y variaciones de humedad, reflejado en mayores registros de presión de expansión. (Ordoñez, Auvinet, & Juárez, 2014)
- Según (Das, 2012), una arcilla que posee un mayor peso unitario seco tiende a presentar valores más altos de presión de expansión, lo cual se evidencia en las muestras de Villa

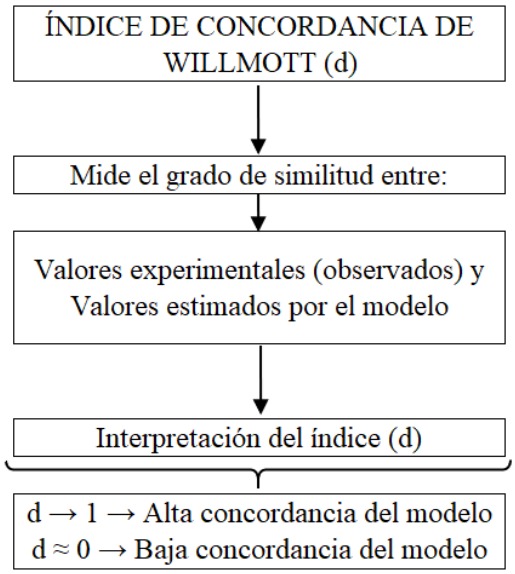
el Sol, las cuales poseen un peso unitario seco mayor y una presión de expansión mayor que en las otras zonas de estudio. De la misma forma, en la zona de Los Prados, se observaron pesos unitarios secos correspondientes a arcillas blandas y presiones de expansión menores.

5.3. Relación de la presión de expansión por métodos empíricos y método directo

5.3.1. Índice de concordancia de los modelos empíricos

Figura 91.

Esquema conceptual del análisis de concordancia (Índice de desempeño Willmott)



Nota. Fuente propia.

- Para la zona de Villa el Sol – San Jerónimo se observa que el modelo de Nayak y Christensen presenta el mayor índice de concordancia (d=0.677), seguido por el modelo de Jiménez Salas con un índice de concordancia (d=0.651). Esto nos indica que estos modelos pueden estimar de manera relativamente adecuada los valores de presión de expansión frente a los resultados de presión de expansión experimental.
- Para los modelos de Sabtan (d=0.419) y Komornik y David (d=0.376) se tienen niveles de concordancia moderados, lo cual indica que tienen una menor capacidad para estimar datos de la presión de expansión frente a los datos experimentales. La concordancia que presenta el modelo de Vijayvergiya y Ghazzaly (d=0.059) es la más baja, indicando que no refleja correspondencia en la estimación de la presión de expansión para la zona de Villa el Sol.

- Para la zona de Huacarpay se observa también un caso similar al de Villa el Sol. El valor que presenta Nayak y Christensen (d=0.638) es el mayor índice de concordancia, denotando que este modelo tiene una buena capacidad para representar valores de presión de expansión para esta zona, mientras que los modelos de Jiménez Salas (d=0.556), Sabtan (d=0.436) y Komornik y David (d=0.292) presentan valores inferiores de concordancia y Vijayvergiya y Ghazzaly (d=0.043) presenta el valor más bajo de concordancia nuevamente, lo que refleja que este modelo tiene un bajo nivel de ajuste frente a los datos de presión experimentales.
- Para el caso de la zona de Los Prados – Alto Qosqo, el modelo de Komornik y David (d=0.631) presenta el valor de concordancia más elevado, seguido por el modelo de Nayak y Christensen (d=0.555), reflejando que estos modelos tienen una capacidad de estimación adecuada para representar los valores de presión de expansión observados en el ensayo de expansión controlada.
- Los modelos de Sabtan (d=0.399) y Jiménez Salas (d=0.310) presentan valores de concordancia moderados y Vijayvergiya y Ghazzaly (d=0.040) presenta el valor más bajo de concordancia, indicando que el nivel de predicción de este modelo es de muy baja capacidad en la zona de Los Prados.
- Al realizar un análisis comparativo de los modelos evaluados, es notable que la fórmula de Nayak y Christensen presenta valores relativamente altos y consistentes de índice de concordancia para todas las zonas de estudio, sugiriendo que este modelo presenta una mejor capacidad de representar la relación entre las propiedades del suelo y la presión de expansión que este puede generar. En la tesis de investigación realizada por (Roca & Tomalá, 2023), para suelos expansivos de la zona de Ancón en Ecuador, de determinó que la ecuación que arroja valores más cercanos a los experimentales y se ajusta mejor es la planteada por Nayak y Christensen, teniendo cierta concordancia con lo hallado en esta investigación.
- El modelo de Vijayvergiya y Ghazzaly presenta sistemáticamente los valores más bajos de índice de concordancia, siendo este el modelo que menos adecuadamente reproduce el comportamiento del suelo observado en el ensayo de expansión.

5.3.2. Análisis del error de estimación

- Para la zona de Villa el Sol – San Jerónimo se observa que el modelo con un menor valor del error absoluto medio es el de Nayak y Christensen, una buena señal de

resultados aproximados, coincidiendo con las medidas del índice de concordancia. Este valor denota la distancia promedio, en kPa, entre los valores estimados y los valores de presión de expansión experimental, representando así una mejor aproximación.

- Los modelos de Komornik y David, Jiménez Salas y Vijayvergiya y Ghazzaly presentan valores moderados como error absoluto medio, en contraste con el valor del modelo de Sabtan, el cual, para la zona de Villa el Sol, evidencia poca capacidad de predicción con resultados que difieren significativamente de los valores experimentales, dato observable en el error relativo porcentual máximo, confirmando una sobreestimación notable en sus resultados (ver Figura 45).
- Para el caso de la zona de Huacarpay, el menor error absoluto medio se observa en el modelo de Nayak y Christensen, siendo esto un signo de un buen ajuste reflejado también en el valor del índice de concordancia de este modelo para esta zona.
- Los modelos de Komornik y David, Vijayvergiya y Ghazzaly y Jiménez Salas, presentan valores de errores absolutos medios a moderados. El modelo de Sabtan, nuevamente es el modelo que presenta los errores absolutos medios superiores (sobreestimación drástica), con valores de errores relativos muy elevados, indicando que este modelo proyecta resultados de presión de expansión muy distantes del valor experimental.
- En particular, para la zona de Huacarpay, se observan valores de errores relativos medios y máximos extremadamente notables en varios modelos, lo cual se atribuye a que en esta zona se presentan valores de presión de expansión muy bajos, amplificando así el valor del error porcentual cada vez que existen diferencias notables entre los valores de presión experimentales y estimados.
- En la zona de los Prados – Alto Qosqo, el modelo de Komornik y David presenta valores de error absoluto y relativo significativamente bajos, indicando una mejor capacidad de ajuste para las condiciones específicas de este suelo.
- El análisis de los errores presentados por Nayak y Christensen nos presenta valores negativos en lo que es el error relativo y error relativo porcentual, indicando una subestimación amplia. En este caso, para la zona de Huacarpay, los modelos de Sabtan y Jiménez Salas presentan valores grandes del error absoluto medio, indicando lejanía de estimación para valores de presión de expansión.

  Según las investigaciones de (Aguilar, Chaiña, & Salas, 2002) y (Elarabi, 2006), los modelos empíricos encontrados en bibliografía especializada de geotecnia, no predice

adecuadamente el comportamiento de los suelos en cuanto a la presión de expansión. Al igual que lo concluido por (Luza Huallpa & Conto Merma, 2023), indicando que las ecuaciones pueden reflejar en cierta medida los resultados del ensayo experimental de cálculos de presión de expansión, dependiendo de otras propiedades importantes de suelo, como el índice de plasticidad, minerales arcillosos y humedad del suelo,

5.3.3. Análisis de subestimación y sobrestimación

Para complementar el análisis estadístico realizado, en este apartado se evalúa la tendencia de los modelos a subestimar o sobrestimar los valores de presión de expansión estimados, frente a los valores experimentales. Para ello se analizaron gráficos de dispersión de los modelos para cada zona, donde se incluyó una línea de referencia X=Y, la cual representa la condición ideal en la que los valores estimados coinciden exactamente con los valores experimentales. La posición relativa de los puntos respecto a la línea de referencia indica: en el caso de que los puntos estén por encima, sobrestimación y en caso que se encuentren por debajo, subestimación.

Nayak y Christensen

Para el análisis de sobreestimación y subestimación para el modelo de Nayak y Christensen, ver las gráficas de dispersión del apartado 4.4.1.3.

En este caso, el modelo presenta una tendencia a la subestimación. Aunque para valores de la presión de expansión moderados es capaz de representar razonablemente el comportamiento del suelo, a medida que los valores experimentales crecen, el modelo incrementa las estimaciones a un ritmo menor, generando una subestimación progresiva de los valores más altos de la presión de expansión, en donde la subestimación se hace más evidente.

En las gráficas de dispersión del modelo Nayak y Christensen se observa cierta zona de sobreestimación para los valores de la presión de expansión menores a 50 kPa, en los cuales los valores estimados superan ampliamente los experimentales, generando un falso sesgo de sobreestimación.

Para la zona de Los Prados – Alto Qosqo, el gráfico de dispersión muestra una subestimación más marcada, ya que todos los datos se encuentran por debajo de la línea X=Y, confirmando la respuesta limitada del modelo a incrementos en la presión experimental.

Sabtan

El análisis realizado para el modelo de Sabtan se basa en las gráficas de dispersión en el apartado 4.4.2.3.

En un análisis conjunto para las tres zonas de estudio se evidencia que el modelo Sabtan tiene una muy baja capacidad para reproducir la variabilidad de los valores de la presión de expansión experimental, como consecuencia de eso, el modelo mantiene una tendencia a sobreestimar el valor de la presión de expansión estimada. Esta sobreestimación ocurre cuando los valores de la presión de expansión son bajos, mientras que, para los valores de la presión de expansión que son altos, el modelo no reproduce ningún tipo de variabilidad y subestima estos valores.

Komornik y David

Para el análisis del modelo de Komornik y David ver las gráficas de dispersión en el apartado 4.4.3.3.

El análisis de la gráfica de dispersión para este modelo nos muestra una tendencia dual. En términos generales, el modelo tiende a sobreestimar los valores cuando las presiones de expansión experimentales son bajas a moderadas, mientras que para valores superiores (aproximadamente 90 kPa) muestra una subestimación progresiva a medida que el valor de la presión de expansión experimental aumenta.

El modelo presenta una capacidad limitada para representar la variabilidad de los valores de presión de expansión, mostrando limitaciones para estimar valores de la presión cuando estos son bajos o muy altos, reflejando claramente la posición relativa de los puntos con respecto a la línea X=Y.

Vijayvergiya y Ghazzaly

Para el análisis del modelo de Vijayvergiya y Ghazzaly ver las gráficas de dispersión en el apartado 4.4.4.3.

El análisis de la dispersión de los datos junto con la línea X=Y muestra claramente una concentración de los valores estimados constante entre 90 y 95 kPa, para todo valor de presión de expansión experimental. Estos valores representan prácticamente una recta de pendiente casi nula que no refleja en nada el comportamiento, ni la variabilidad de los valores de la presión de expansión.

Para valores de presión de expansión bajos, este modelo cumple una tendencia de sobreestimación alejándose de los valores altos, los cuales se quedan en zona de subestimación que va creciendo conforme crece el valor de la presión de expansión.

Jiménez Salas

Este análisis se realiza en base a las gráficas de dispersión en el apartado 4.4.5.3.

El modelo de Jiménez Salas muestra, en general, una composición del error de estimación no uniforme. Presenta una tendencia de sobreestimación muy marcada para los valores bajos de la presión de expansión (< 120 kPa).

Para el caso de la zona de Los Prados – Alto Qosqo, el modelo de Jiménez Salas marca una sobreestimación generalizada, siendo que todos los puntos en el gráfico de dispersión se encuentran sobre la línea ideal X=Y, de lo que se deduce que el modelo es excesivamente conservador en esta zona.

Para valores de la presión de expansión altos, se observa la tendencia del modelo a la subestimación, lo que sugiere la pérdida de sensibilidad a los cambios ascendentes de la presión de expansión en el caso de suelos más expansivos.

De manera similar, (Elarabi, 2006). En el estudio realizado en Sudán, los modelos presentan variaciones considerables para los valores de presión de expansión predichos, con tendencias claras a la subestimación en comparación con los valores experimentales.

5.3.4. Análisis de residuos y normalidad

Para el análisis de los residuos y normalidad (definidos también como los errores relativos entre la presión de expansión estimada y la experimental), se evaluaron las gráficas de error relativo vs la presión de expansión experimental individual y humedad de la muestra.

Nayak y Christensen

Para el modelo de Nayak y Christensen, los errores relativos no tienen un comportamiento aleatorio: para valores bajos de la presión de expansión, los errores relativos presentan valores positivos altos que conforme la presión de expansión crece van disminuyendo y acercándose a cero y valores pequeños negativos. Esta tendencia se refleja en la gráfica de relación con la humedad, donde se observa que para valores altos de humedad (estado en el cual el potencial de expansión del suelo es menor), los valores de los errores relativos presentan valores positivos altos, que van decreciendo conforme los valores de humedad son menores.

En el análisis realizado para la zona de Los Prados, se nota la predominancia de los valores negativos de error relativo, aunque la tendencia es contraria, presenta valores de errores más elevados para los casos donde la presión de expansión crece. En la gráfica con relación a la humedad se observan dos grupos de datos, lo cual puede deberse a diferentes condiciones índice del suelo.

Los valores del error relativo presentan una dispersión no constante, observándose mayor variabilidad para ciertos rangos de la presión de expansión experimental, lo que indica la presencia de heterocedasticidad.

Sabtan

De la misma forma, los valores de error relativo son significativamente altos (20.57 y 178.9 en máximos positivos para Villa el Sol y Huacarpay, respectivamente) para valores bajos de presión de expansión experimental en el modelo de Sabtan, marcando una tendencia clara de sobreestimación.

En la gráfica de error relativo vs humedad, se nota también la tendencia de errores altos para valores altos de humedad inicial (estado de potencial de expansión bajo), tendencia que va desapareciendo conforme la humedad del suelo desciende y alcanza valores negativos de error relativo para puntos en los que el potencial de expansión es mayor.

Para la zona de Los Prados se observa el mismo fenómeno de errores más grandes para humedades altas, aunque agrupados en dos zonas, posiblemente por la dependencia de alguna característica o propiedad en los suelos estudiados.

Komornik y David

Para las gráficas de este modelo se observa la misma tendencia de errores relativos máximos para presiones de expansión bajas y humedades iniciales altas. Este error relativo se va acercando a cero para pocos valores de presión de expansión moderados y luego se aleja hacia los máximos negativos a medida que la presión de expansión crece.

Para el caso de la zona de Huacarpay, en este modelo se observa la mayor cantidad de puntos con errores relativos que tienden a acercarse a cero, algo similar se observa para humedades medias a bajas, donde el potencial y presión de expansión son mayores.

La dispersión de los puntos en las gráficas correspondientes a la zona de Los Prados nos muestra una clara heterocedasticidad al observarse mucha variabilidad en los valores de error relativo, sin ninguna tendencia marcada.

Vijayvergiya y Ghazzaly

El modelo de Vijaygergiya y Ghazzaly sigue la tendencia de los anteriores modelos con valores moderados de error relativo para presiones y humedades del suelo altas, presentando discontinuidades en puntos de humedad media con errores altos, que podrían deberse a casos en los que otra variable considerada en el modelo genera valores de error más grandes.

En la zona de Los Prados, en la gráfica se puede observar también la tendencia de mayores errores relativos positivos para presiones de expansión menores y errores relativos negativos máximos para presiones de expansión más grandes.

Jiménez Salas

Para el análisis de las gráficas correspondientes a este modelo, se puede decir que, en general, los errores suelen ser mayores para puntos en los cuales se presentan bajas presiones de expansión o en altos contenidos de humedad inicial. Para los valores de presión de expansión bajos a moderados se observa una alta dispersión de los valores de error relativo que se va estabilizando conforme el valor de la presión de expansión aumenta, esto define la existencia de heterocedasticidad.

En los gráficos de humedad se evidencia un patrón similar al de otros modelos, donde para muestras con humedades mayores se generan errores relativos mayores. Específicamente para la zona de Huacarpay, se puede observar la existencia de un punto atípicamente alto, asociado a una presión de expansión baja, que afecta la distribución.

En la zona de Los Prados no se observa ninguna tendencia ni patrón. La dispersión de los puntos es moderada.

5.3.5. Correlación entre valores experimentales y estimados

Nayak y Christensen

- Para la zona de Villa el Sol y Los Prados, este modelo presenta una correlación muy fuerte, indicando una fuerza de relación muy fuerte entre los puntos, cercanos a formar una línea con una pendiente positiva. El coeficiente de determinación nos indica que el modelo explica de manera correcta la variabilidad de la evolución de los datos experimentales.
- El análisis de la correlación es menor para el caso de la zona de Huacarpay, con una correlación positiva moderadamente fuerte y el R^2 indica que el modelo explica el 65% de la variabilidad de los datos experimentales.

Sabtan

- Este modelo presenta valores de correlación bajos. Presenta datos de correlación de Pearson positivos muy débiles y moderados en el caso de la zona de Los Prados, y valores bajos de coeficiente de determinación, indicando una muy baja capacidad para reflejar la variabilidad de los datos de presión de expansión experimental.

- En todas las zonas de estudio se ve una línea de tendencia con una pendiente casi horizontal que no responde a los cambios en la presión experimental.

Komornik y David

- La correlación de Pearson que presenta este modelo para las zonas de estudio va de valores moderados, para Los Prados y Villa el Sol, a bajos, para la zona de Huacarpay.
- Los valores de $R^2 < 0.40$ evidencian la baja capacidad explicativa para reflejar la variabilidad de los datos de las presiones de expansión experimentales.
- Se observan líneas de tendencia que indican cierta capacidad para seguir la línea ideal, sin embargo, se notan puntos con desviaciones importantes.

Vijayvergiya y Ghazzaly

- Para este modelo, se observa claramente la mala interpretación del R^2. Se presentan datos de correlación y coeficiente de determinación aparentemente altos, lo cual indica que los datos de la dispersión mantienen un ajuste muy fuerte a una línea de regresión, y valores altos del coeficiente de determinación indican también una alta coincidencia a la tendencia estadística de los datos de la presión de expansión experimental, mas estos datos no indican una capacidad predictiva real.
- Los valores estimados se mantienen en un rango constante cercano a 90KPa, formando una recta de regresión casi horizontal, indicando una nula sensibilidad del modelo frente a variaciones en los valores de la presión de expansión experimental.
- Para el caso de la zona de Los Prados el valor del coeficiente de correlación de Pearson es negativo, indicando una inconsistencia del modelo frente a los resultados de presión de expansión experimental, lo que hace al modelo totalmente inaplicable para esta zona.

Jiménez Salas

- El valor del coeficiente de correlación de Pearson de este modelo representa un ajuste de nivel moderado a débil de los datos a una línea de regresión en las gráficas de dispersión. Tiene valores positivos con una tendencia creciente, aunque con datos muy dispersos que captan parcialmente el comportamiento de los datos de presión de expansión experimental.
- Los valores del coeficiente de determinación presentados por el modelo son moderados a bajos, representando que el modelo tiene una baja capacidad representativa de la variabilidad de los datos de presión de expansión experimental.

- Se observa en las gráficas de dispersión un deficiente ajuste con respecto a la línea X=Y, para todas las zonas de estudio, mostrando una baja precisión para la estimación de la presión de expansión.

5.4. Ajuste local a los modelos de estimación de presión de expansión

A partir de la aplicación de una ecuación local de ajuste a los modelos, se procedió al cálculo de los índices estadísticos para cada zona y modelo en estudio.

Tabla 49.

Resumen de indicadores estadísticos para los modelos después del ajuste local

RESUMEN DE INDICADORES PARA CADA MODELO - ZONA (Después de ajuste local)						
Zona	Indicador	Nayak y Christensen	Sabtan	Komornik y David	Vijayvergiya y Ghazzaly	Jiménez Salas
Villa el Sol - San Jerónimo	Índice concordancia Willmott "d"	0.950	0.609	0.735	0.735	0.587
	Error absoluto medio	22.886	50.321	43.945	19.440	45.843
	Error relativo medio	0.490	1.244	1.079	0.223	1.274
	Error relativo porcentual medio	48.97%	124.36%	107.85%	22.26%	127.41%
	Error relativo porcentual máximo	514.82%	1278.72%	1214.53%	265.67%	1511.39%
	Error relativo porcentual mínimo	-49.06%	-77.09%	-49.34%	-41.19%	-56.41%
	Coeficiente de correlación Pearson	0.908	0.493	0.615	0.945	0.445
	Coeficiente de determinación (R^2)	0.824	0.243	0.378	0.893	0.198
Huacarpay - Lucre	Índice concordancia Willmott "d"	0.881	0.542	0.330	0.972	0.352
	Error absoluto medio	32.681	53.044	54.909	18.031	54.835
	Error relativo medio	9.941	7.619	10.284	1.978	8.941
	Error relativo porcentual medio	994.14%	761.95%	1028.40%	197.80%	894.06%
	Error relativo porcentual máximo	7879.50%	5694.70%	7870.41%	1458.53%	6745.80%
	Error relativo porcentual mínimo	-42.56%	-59.17%	-49.40%	-35.15%	-51.71%
	Coeficiente de correlación Pearson	0.806	0.414	0.256	0.946	0.255
	Coeficiente de determinación (R^2)	0.650	0.171	0.066	0.895	0.065
Los Prados - Alto Qosqo	Índice concordancia Willmott "d"	0.985	0.892	0.718	0.593	0.731
	Error absoluto medio	7.269	18.198	26.564	31.027	24.842
	Error relativo medio	0.002	0.049	0.109	0.146	0.105
	Error relativo porcentual medio	0.22%	4.91%	10.86%	14.62%	10.46%
	Error relativo porcentual máximo	24.10%	42.25%	56.98%	55.20%	51.40%
	Error relativo porcentual mínimo	-12.17%	-23.91%	-32.75%	-34.89%	-36.25%
	Coeficiente de correlación Pearson	0.970	0.814	0.596	0.478	0.613
	Coeficiente de determinación (R^2)	0.942	0.663	0.355	0.228	0.376

Nota. Síntesis comparativa de los indicadores estadísticos para los modelos después del ajuste local ejecutado correspondientes a cada zona de estudio. Fuente propia.

- Del análisis de los índices estadísticos, se observa una mejora general para los índices de concordancia y los valores de error absoluto medio, lo que indica un acercamiento a la línea de referencia X=Y, aunque esta mejora no se desarrolla de manera uniforme para todos los modelos, ni para todas las zonas.
- En la zona de estudio de Villa el Sol, el modelo de Nayak y Christensen presenta el valor más alto de índice de concordancia, mejorando su desempeño para estimaciones de la presión de expansión. De la misma forma, se observa una reducción en los valores de error absoluto medio, indicando una mejora en la precisión de la estimación, pero a

la vez un incremento del error relativo medio debido a que persisten algunas diferencias proporcionales a los datos de presión de expansión experimental para ciertos rangos de datos.

- Por otro lado, los modelos de Komornik y David y Vijayvergiya y Ghazzaly presentan valores intermedios en lo que respecta al índice de concordancia, mientras que el modelo de Jiménez Salas presenta un valor menor de índice de concordancia. El modelo de Sabtan continúa presentando errores elevados a pesar de su mejora de concordancia, mostrando una capacidad limitada de predicción para las condiciones del suelo.
- Para la zona de Huacarpay, el modelo con un mejor ajuste en el índice de concordancia es el de Vijayvergiya y Ghazzaly, seguido por el modelo de Nayak y Christensen, indicando mejores ajustes para esta zona, pero ambos conservan valores de errores relativos altos, lo que indica que, si bien el ajuste local ha mejorado la capacidad de predicción del modelo y la tendencia general frente a la línea de referencia ideal, este ajuste no ha logrado corregir las desviaciones individuales de los valores estimados.
- Para el caso de la zona de Los Prados, el modelo que presenta un mejor valor de índice de concordancia es el de Nayak y Christensen, junto con valores bajos de error absoluto medio y error relativo medio, lo cual nos indica que el ajuste local al modelo logra una representación adecuada del comportamiento de la presión de expansión experimental del suelo para esta zona. Los otros modelos también presentan mejoras, pero con valores menos favorables de índice de concordancia y errores más altos frente a Nayak y Christensen.

Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. Con respecto al objetivo general: se determinó que la relación entre los valores de la presión de expansión experimental medida en el laboratorio mediante el ensayo de expansión controlada y los valores de presión de expansión estimados mediante fórmulas empíricas presenta una condición de dependencia directa de las propiedades índice de los suelos en lo que respecta a las condiciones locales de los suelos, mostrando una diferencia sistemática en la capacidad de predicción de los modelos analizados.

   Si bien algunos de los modelos presentan indicadores estadísticos que indican una capacidad moderada a alta de estimación de la presión de expansión, estos modelos también manifiestan sesgos de sobreestimación y sobre todo subestimación en los rangos altos, existiendo variaciones de la precisión entre zonas, lo que confirma la limitada aplicabilidad de las ecuaciones empíricas desarrolladas para otros contextos geotécnicos.

2. Con respecto al objetivo específico 1: con base en los ensayos de caracterización y propiedades índice de los suelos muestreados, se determinó que los suelos cohesivos de las 3 zonas estudiadas en el Cusco correspondían en clasificación a suelos altamente plásticos “CH” con propiedades directamente relacionadas con la expansividad de arcillas. Del resultado del ensayo de expansión controlada realizado en el laboratorio de mecánica de suelos, se confirma la existencia de suelos de expansión baja a suelos muy expansivos, todos estos dependiendo de las propiedades de la arcilla y la humedad inicial del ensayo (potencial de expansión de la arcilla).

   Los resultados de presión de expansión experimental para la zona de Villa el Sol permiten clasificar a estos suelos como altamente expansivos, dependiendo principalmente del potencial de succión (condiciones de humedad natural del suelo), representando condiciones críticas desde el punto de vista geotécnico.

   Para la zona de Huacarpay, los resultados evidencian un comportamiento principalmente condicionado por la presencia del nivel freático. Se observan presiones de expansión bajas cuando la humedad del suelo es alta, por encontrarse este cerca de su estado de expansión completa. Por otro lado, para muestras con humedades menores, se observaron altas presiones de expansión, lo que confirma un alto potencial expansivo latente.

Para el caso de las arcillas de la zona de Los Prados, se observa la influencia de la variación vertical de las propiedades geotécnicas. Para muestras de suelo superficiales, se observaron presiones de expansión bajas a moderadas, mientras que para estratos más profundos se observaron valores de presión de expansión moderados a altos.

3. Con respecto al objetivo específico 2: se determinó que los modelos indirectos de estimación de la presión de expansión (ecuaciones empíricas) permiten estimar la presión de expansión en base a las propiedades geotécnicas índice del suelo; sin embargo, estos resultados presentan diferencias significativas en cuanto a la magnitud, reflejando una variabilidad en la capacidad de representación del comportamiento expansivo y una inconsistencia en la estimación comparada con los valores experimentales. Se considera que los modelos evaluados presentan limitaciones en su aplicabilidad directa para los suelos del Cusco.
4. Con respecto al objetivo específico 3: la evaluación estadística de los modelos de estimación de la presión de expansión muestra que, si bien algunos modelos presentan niveles moderados a altos de desempeño (capacidad de una adecuada predicción) y una correlación que se ajusta a la evolución y variabilidad de los datos de la presión de expansión experimental, esto no garantiza una adecuada estimación. Se evidencia la presencia de errores y sesgos sistemáticos, heterocedasticidad y dependencia del error con respecto a variables como la humedad, lo que se entiende como una falta de capacidad de captación del comportamiento físico del fenómeno de expansión para los suelos con diferentes condiciones geotécnicas.

   Se establece que, para la zona de Villa el Sol, mediante un análisis comparativo, el modelo con una capacidad de predicción superior es el de Nayak y Christensen, manteniendo una relación en tendencia de dirección y variabilidad frente a los datos de la presión de expansión experimental, en el que los autores tomaron en consideración las propiedades geotécnicas más influyentes en el fenómeno de la expansión como son el índice de plasticidad, contenido de coloides de arcilla (partículas menores a 2μm) y la humedad del suelo.

   Para la zona de Huacarpay, aunque el modelo de Nayak y Christensen es el de mejor capacidad de predicción, los valores del error para todos los modelos son elevados, estableciendo la existencia de una diferencia notable entre los valores estimados y

medidos, marcando claramente el sesgo de subestimación para todos los valores de presión de expansión en rango medio y alto.

Para el caso de la zona de Los Prados, el modelo de Komornik y David es el que mejor valor de desempeño posee, involucrando la variable de la densidad seca, muy relacionada con la relación de vacíos, la compactación del suelo y el potencial de expansión, seguido por el modelo de Nayak y Christensen que muestra una subestimación amplia a pesar del valor de desempeño moderado.

En conjunto, los resultados demuestran que la relación entre los valores estimados y experimentales depende de las condiciones geotécnicas de formulación de los modelos, diferentes de las condiciones geotécnicas locales de las arcillas estudiadas, lo que justifica la necesidad de ajustes locales o recalibración de los modelos empíricos para su aplicación en suelos expansivos del Cusco.

5. Con respecto al ajuste local aplicado a los modelos estudiados, se determinó que la capacidad de predicción mejoró de manera general, con el incremento de los índices de concordancia y la reducción de los errores, lo que se refleja en un acercamiento y ajuste a la línea de referencia X=Y, aunque esta mejora no se desarrolla de forma uniforme entre los modelos, ni entre las zonas estudiadas, persistiendo desviaciones considerables para algunos rangos de valores de la presión de expansión. Se observó que el modelo que mostró un valor de desempeño más consistente después del ajuste es el de Nayak y Christensen, logrando una representación más cercana de la presión de expansión para las tres zonas en comparación con los otros modelos.

   En general, los resultados confirman que el ajuste local constituye una herramienta eficaz para mejorar la precisión de los modelos empíricos, aunque su capacidad de predicción depende de la estructura base del modelo y su compatibilidad con las condiciones geotécnicas locales.

6.2. Recomendaciones

1. Se recomienda realizar un correcto muestreo del suelo para el análisis de laboratorio, de acuerdo a las recomendaciones establecidas por la normativa, para conservar las propiedades naturales del suelo a estudiar.
2. Para realizar una estimación con fórmulas empíricas o una correlación donde se involucren las propiedades índice del suelo, es necesario realizar de forma correcta y precisa los ensayos de límites de Atterberg y granulometría por tamizado y

sedimentación, ya que estos son parámetros muy importantes para el análisis del fenómeno de expansión de suelos.

3. Al realizar el ensayo de granulometría por sedimentación, es importante definir correctamente las correcciones de acuerdo a la normativa y prever los niveles de medición del hidrómetro utilizado.
4. Al realizar el ensayo de expansión controlada, tener presente que existirán hinchamientos que serán bruscos al inicio de la saturación de la muestra, pero requerirán pequeñas cargas de presión para ser compensadas, para lo cual es necesario tener variedad de pesas calibradas, de tal forma que se tenga una compensación del hinchamiento más precisa.
5. Es importante contar con la calibración total de los equipos de laboratorio utilizados, ya que cualquier desviación podría afectar directamente los resultados.
6. Se recomienda la realización de un análisis del contenido de minerales de las muestras de estas zonas mediante el ensayo de difracción por rayos X, para así poder realizar una comparación de la compatibilidad de los resultados de los otros ensayos de determinación del potencial y presión de expansión del suelo.
7. Se podrían desarrollar fórmulas calibradas para cada zona de estudio basadas en las propiedades geotécnicas locales para minimizar errores y mejorar la capacidad de predicción, todo esto con un muestreo zonificado y un análisis cruzado de las muestras.
8. Algunas propiedades como el esfuerzo cortante, módulo de elasticidad o relación de amortiguamiento no han sido estudiadas para estos suelos con alto potencial expansivo y podrían desarrollarse en futuras investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, Z., Chaiña, W., & Salas, L. (2002). *Zonificación Geotécnica Sísmica de la ciudad de Moquegua.* Concurso Santiago Antúnez de Mayolo. CONCYTEC.

Arriola Moscoso, C. (2021). *Estudio de factores para la construcción sostenible de viviendas en ladera y la estabilidad física del talud - Cusco.* Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.

ASTM. (1996). *ASTM-D4546 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils.* United States: ASTM INTERNATIONAL.

Chen, F. H. (1988). *Foundations on Expansive Soils. Amsterdam:* Elsevier.

Coduto, D. (1998). *Geotechnical Engineering.* New Jersey: Prentice Hall.

Das, B. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones* (7.ª ed.). CENGAGE LEARNING.

Elarabi, H. (2006). Evaluation of predicted equations for swelling potential. *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 341-346.

Estudios Geotécnicos. (2013). *Estudios Geotécnicos*. Obtenido de Geo Support: https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-5-plasticidad-limites-de-atterberg-y-consistencia/

Geotecnia Fácil. (2011). *Geotecnia Fácil*. Obtenido de https://geotecniafacil.com/limites-de-atterberg/

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación.* México: McGrawHill.

INDECOPI. (2015). *NTP 339.170 Métodos de ensayo normalizados para la determinación del hinchamiento unidimensional o potencial de asentamiento de suelos cohesivos.* Lima: INDECOPI.

INGEMMET. (2010). *Mapa Geológico del Cuadrángulo Cusco.* Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

Jiménez Salas, J., De Justo Alpañez, J., & Serrano González, A. (1980). *Geotecnia y Cimientos III, Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la Geotecnia.* Madrid: Rueda.

Jiménez Salas, J. A. (1980). *Geotecnia y Cimientos III - primera parte.* Madrid: Rueda.

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos: Fundamentos de la Mecánica de Suelos.* México: Limusa.

Komornik, A., & David, D. (1969). Prediction of Swelling Pressure of Clays. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*.

Leal Vargas, K. A. (2019). *Determinación y Evaluación del Potencial Expansivo en Arcillas, mediante la Validación de un nuevo Dispositivo para la Medición de la Presión de Expansión en suelos Arcillosos.* Caracas: Universidad Central de Venezuela.

Luza Huallpa, R. L., & Conto Merma, M. M. (2023). *Influencia de suelos medianamente expansivos en el deterioro prematuro de estructuras ligeras de concreto en áreas urbanas de los distritos de Poroy, Santiago y Cusco, de la provincia y departamento del Cusco, 2019.* Cusco.

Meza Ochoa, V. E. (2012). Suelos Parcialmente Saturados, de la Investigación a la Cátedra Universitaria. *Boletín de Ciencias de la Tierra*.

Montero Buñay, A. S., & Ordoñez Cando, E. A. (2023). *Determinación de la presión de hinchamiento en suelos expansivos de los cantones Flavio Alfaro y Tosagua, Provincia de Manabí.* Quito: UCE.

Montgomery, D. C. (2020). *Design and Analysis of Experiments.* Arizona: Wiley.

Mosleh, A., & Al-Obaidy, N. (2021). A Critical Review on Expansive Soils Including the Influence of Hydrocarbon Pollution and the Use of Electrical Resistivity to Evaluate their Properties. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.

Nayak, N., & Christensen, R. (1971). Swelling Characteristics of Compacted, Expansive Soils. *Clays and Clay Minerals*, 251-261.

Nelson, J., & Miller, D. (1992). *Expansive Soils - Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering.* Colorado State: John Wiley and Sons.

Nusier, O., & Alawneh, A. S. (2022). Damage of Reinforced Concrete Structure due to Severe Soil Expansion. *Journal of Performance of Constructed Facilities*.

Olarte, M. C., & Cavalcante, A. C. (2023). Hydromechanical behavior of unsaturated swelling clays: review. *IX International Conference Days of Applied Mathematic*, 2.

Ordoñez, J., Auvinet, G., & Juárez, M. (2014). *Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.* México: Ingeniería Investigación y Tecnología.

Palomino, T., Villatoro, M., & Alvarado, A. (2021). Estimación de la humedad del suelo mediante regresiones lineales múltiples en Llano Brenes, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*.

Peralta Tingal, S. P. (2021). *Caracterización de Arcillas Expansivas y Mitigación de Riesgos.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Quintero Lemus, L. J., & Gallardo Amaya, R. J. (2015). Caracterización Mineralógica de Arcillas Expansivas con Fines de Estabilización. *INGENIO UFPSO*, 72-81.

Quispe Vilca, D. (2021). Estabilización de suelos expansivos con ceniza de mazorca de maíz en la ciudad del Cusco. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 75-86.

Roca, M., & Tomalá, A. (2023). *Análisis de comportamiento mecánico y correlación de magnitud de esfuerzos en suelos expansivos pertenecientes al sector Ancón - Ecuador.* Ancón: Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Rodríguez Saavedra, P. C. (2007). *Predicción de los Movimientos en Cimentaciones Construidas Sobre Arcillas Expansivas Debido a Cambios de Humedad.* Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Rodríguez, P. (2020). Un método simplificado de predicción de hinchamiento de arcillas expansivas debido a cambios de humedad. *Obras y Proyectos 28*, 35-44.

Rosales Asto, E. A. (2014). *Determinación de la Deformación Elástica y el Módulo de Elasticidad en Suelos Expansivos mediante ensayos de expansión libre y consolidación.* Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Sabtan, A. (2005). Geotechnical properties of expansive clay shale in Tabuk, Saudi Arabia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 747-757.

Sánchez Carlessi, H., & Reyes Meza, C. (2015). *Metodología y Diseños en la Investigación Científica.* Lima: Business Support Anneth SRL.

Sánchez Carlessi, H., & Reyes Meza, C. (2021). *Metodología y Diseños de la Investigación Científica.* Lima: Biblioteca Nacional del Perú.

SENCICO. (2020). *Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.* Lima: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

Tamrat, A. (2013). *Study on Index Properties and Swelling Pressure of Expansive Soil Found Dukem.* Addis Ababa: Addis Ababa Institute of Technology.

Terzaghi, K., Peck, R., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice. 3ª Edition.* New York: Wiley.

Walpole, R., & Myers, R. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.* México: Pearson.

Willmott, C. J. (1982). Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin of the American Meteorological Society, 63(11), 1309-1313.*

Yousry, M., & Gunther, B. (1985). Prediction of Swelling Pressure and Factors Affecting the Swell Behavior of an Expansive Soil. *Transportation Research Record*, 23-28.

ANEXOS

Anexo N°01: Matriz de consistencia

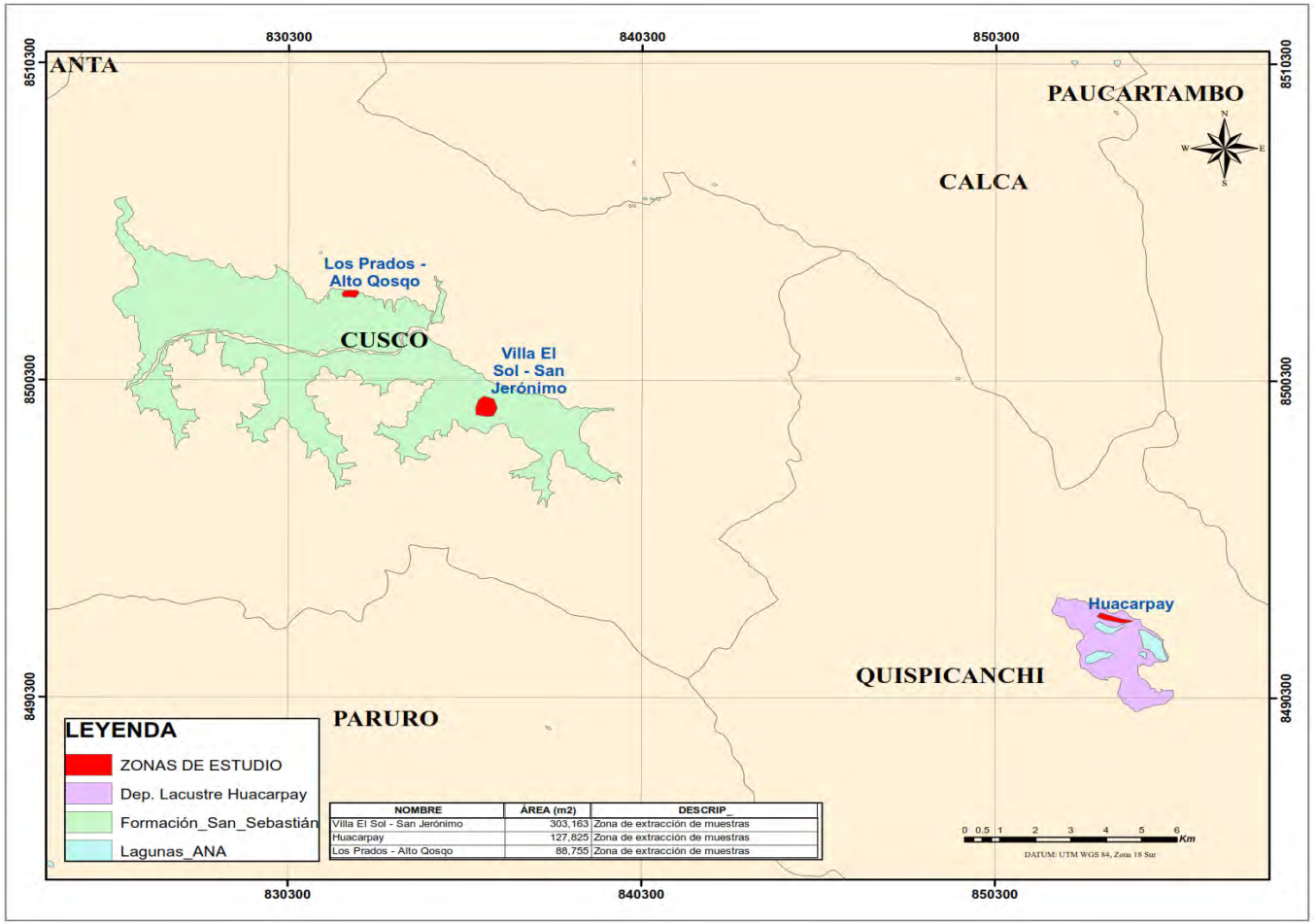
MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO: ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025						
TESISTA DIEGO ALBERTO VERGARA VERA						
ASESOR: MGT. ING. MIJAIL ELIO ROZAS GÓMEZ						
NIVEL	**PROBLEMAS**	**OBJETIVOS**	**HIPÓTESIS**	**VARIABLES**	**METODOLOGÍA**	**POBLACIÓN**
General	**P.G:** ¿Cuál es relación entre la presión de expansión calculada por el ensayo de expansión controlada y la estimada con ecuaciones empíricas para tres tipos de suelos cohesivos, Cusco 2025?	**O.G:** Determinar la relación entre los valores de presión de expansión calculados mediante el ensayo de expansión controlada y las ecuaciones empíricas para tres tipos suelos cohesivos del Cusco.	**H.G**: La presión de expansión calculada a través de las ecuaciones empíricas tiene un bajo grado de relación frente al valor de la presión calculada mediante el ensayo de expansión controlada para tres tipos de suelos cohesivos muestreados en el Cusco.	**Variable Dependiente (Y): Método indirecto de estimación de la presión de expansión** - Presión de Expansión mediante ecuaciones empíricas **Variable Independiente (X): Presión de Expansión por el método directo** - Presión de Expansión mediante el ensayo de expansión controlada	**Enfoque:** Cuantitativo **Nivel:** Correlacional **Diseño:** No experimental Inductivo **Poblacion de Estudio:** Tipo no Probabilística **Muestra:** Proporción estadística para muestreo finito **Técnicas:** Observaciones de campo Mediciones de Laboratorio **Instrumentos:** Ficha de recoleccion de datos de campo y toma de resultados de laboratorio	**Universo:** Formación San Sebastián y el Depósito Lacustre de edad cuaternaria en Huacarpay **Población de Estudio:** -APV Los Prados – Alto Qosqo (Formación San Sebastián) -APV Villa el Sol – San Jerónimo (Formación San Sebastián) -Centro Poblado de Huacarpay – (Depósito Lacustre Huacarpay) **Muestra:** 32 muetras en bloques cúbicos de 30cm x 30cm de suelo extraidas de forma inalterada **Unidad de Análisis:** Muestras de suelo inalteradas extraídas de bloques y moldeadas para ensayos de laboratorio
Específico 1	**P.E1:** ¿Cuál es la presión de expansión calculada mediante el ensayo de expansión controlada de tres tipos de suelos cohesivos en el Cusco?	**O.E1:** Determinar la presión de expansión de los tres tipos de suelos cohesivos del Cusco, mediante el ensayo de expansión controlada en el edómetro.	**H.E1**: La presión de expansión, en presencia de agua en la estructura del suelo, es moderada por ser suelos cohesivos de alta plasticidad de Cusco.			
Específico 2	**P.E2:** ¿Cuál es la presión de expansión calculada a través de ecuaciones empíricas de tres tipos de suelos cohesivos en Cusco?	**O.E2:** Determinar la presión de expansión a través de ecuaciones empíricas para tres tipos de suelos cohesivos del Cusco.	**H.E2**: El valor de la presión de expansión calculada a través de ecuaciones empíricas es muy disperso, por ser fórmulas calculadas para suelos con condiciones geológicas diferentes.			
Específico 3	**P.E3:** ¿Cuál es el grado de correlación de la presión de expansión calculada por los modelos empíricos ajustadas localmente y el método directo?	**O.E3:** Formular una ecuación de ajuste local para los modelos empíricos de estimación de la presión de expansión para las condiciones geológicas de los tres tipos de suelos cohesivos de Cusco.	**H.E3**: La presión de expansión calculada a través de ecuaciones empíricas puede incrementar su capacidad predictiva a través de ecuaciones de ajuste local planteados.			

Anexo N°02: Mapa de ubicación de las zonas de estudio









UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	Tesis: EVALUACIÓN DE LAS ECUACIONES EMPÍRICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Departamento: CUSCO Provincia: Cusco Quispicanchis	Alumno: Diego Alberto Vergara Vera	Fecha: Mayo : 2025 Escala: Grafica	Plano: GEO - 01

Anexo N°03: Ensayos de laboratorio - caracterización del suelo

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-01).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

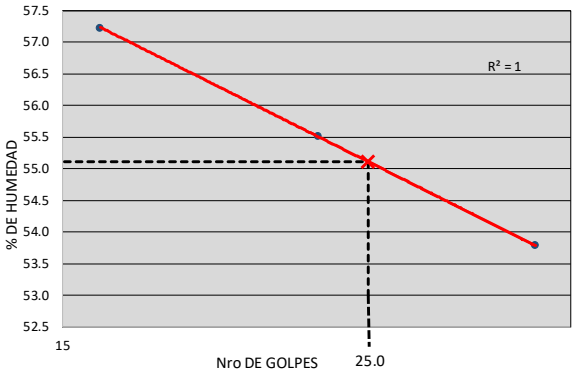
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**13/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-01	**SONDEO No.**	**1**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	23	16
Masa humeda + Tara, g	42.27	41.80	40.99
Masa seca + Tara, g	35.30	35.71	34.81
Masa de Tara, g	22.34	24.74	24.01
Masa del agua, g	6.97	6.09	6.18
Masa seca, g	12.96	10.97	10.80
Humedad, (%)	**53.78**	**55.52**	**57.22**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	30.93	29.66	869.66
Masa seca + Tara, g	29.64	28.37	761.23
Masa de Tara, g	23.78	22.30	154.17
Masa del agua, g	1.29	1.29	108.43
Masa seca, g	5.86	6.07	607.06
Humedad, (%)	**22.01**	**21.25**	**17.86**

CURVA DE FLUIDEZ

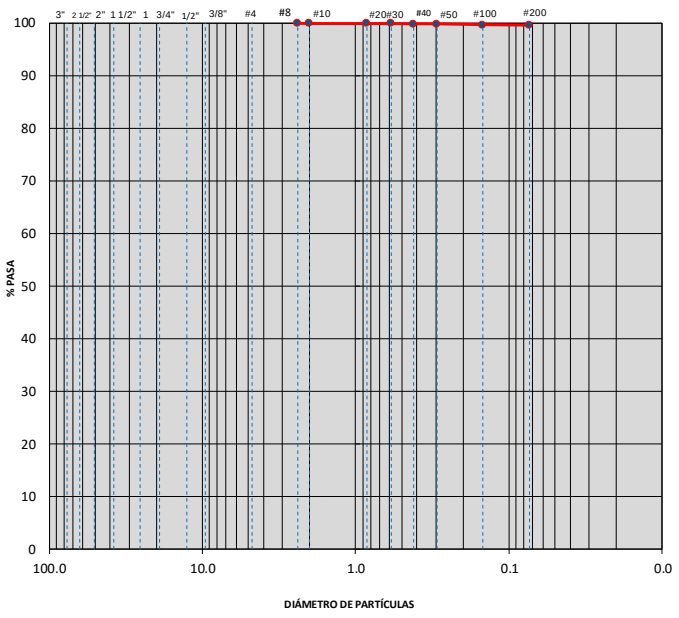


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	715.49	Masa seca Total antes del lavado, g	**607.06**
Masa seca después de lavar (g)	3.22		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.51	0.1	0.1	99.9
#20	0.841	0.13	0.0	0.1	99.9
#30	0.590		0.0	0.1	99.9
#40	0.420	0.43	0.1	0.2	99.8
#50	0.297		0.0	0.2	99.8
#100	0.149	1.26	0.2	0.4	99.6
#200	0.074	0.79	0.1	0.5	99.5
Pasa #200		603.94	99.5		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Límite Líquido	55
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**22**
0.51		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**33**
99.49				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(38)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-02).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

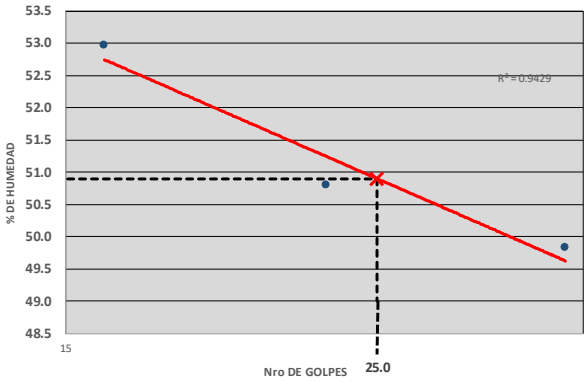
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**14/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-02	**SONDEO No.**	**1**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	23	16
Masa humeda + Tara, g	42.01	38.48	42.83
Masa seca + Tara, g	35.84	32.76	35.97
Masa de Tara, g	23.46	21.50	23.02
Masa del agua, g	6.17	5.72	6.86
Masa seca, g	12.38	11.26	12.95
Humedad, (%)	**49.84**	**50.80**	**52.97**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.40	29.53	753.95
Masa seca + Tara, g	31.16	28.22	613.63
Masa de Tara, g	25.47	22.43	156.48
Masa del agua, g	1.24	1.31	140.32
Masa seca, g	5.69	5.79	457.15
Humedad, (%)	**21.79**	**22.63**	**30.69**

CURVA DE FLUIDEZ

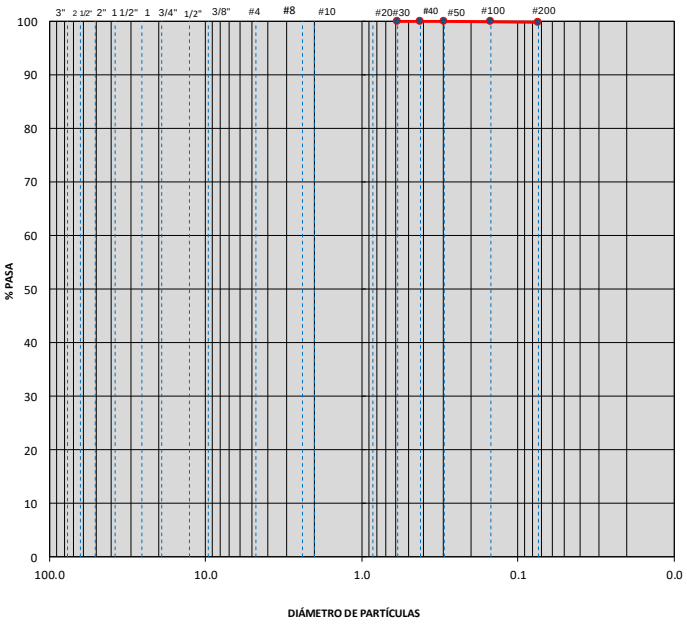


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	597.47	Masa seca Total antes del lavado, g	**457.15**
Masa seca después de lavar (g)	1.05		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.00	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.04	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.40	0.1	0.1	99.9
#200	0.074	0.51	0.1	0.2	99.8
Pasa #200		456.20	99.8		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**51**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**22**
0.21		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**29**
99.79				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(32)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-03).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

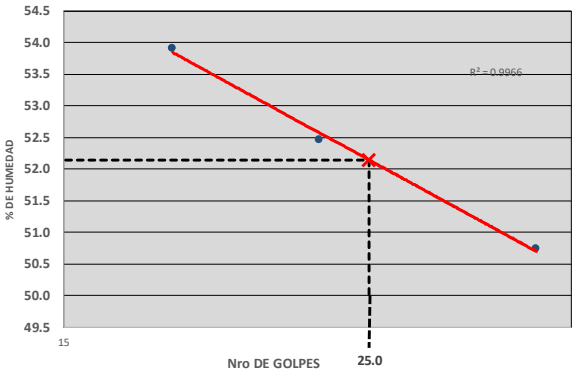
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-03	**SONDEO No.**	**2**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	23	18
Masa humeda + Tara, g	42.71	42.56	42.88
Masa seca + Tara, g	35.90	35.54	35.84
Masa de Tara, g	22.48	22.16	22.78
Masa del agua, g	6.81	7.02	7.04
Masa seca, g	13.42	13.38	13.06
Humedad, (%)	**50.75**	**52.47**	**53.91**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.08	31.09	746.18
Masa seca + Tara, g	30.31	29.68	593.40
Masa de Tara, g	23.18	24.12	125.49
Masa del agua, g	1.77	1.41	152.78
Masa seca, g	7.13	5.56	467.91
Humedad, (%)	**24.82**	**25.36**	**32.65**

CURVA DE FLUIDEZ

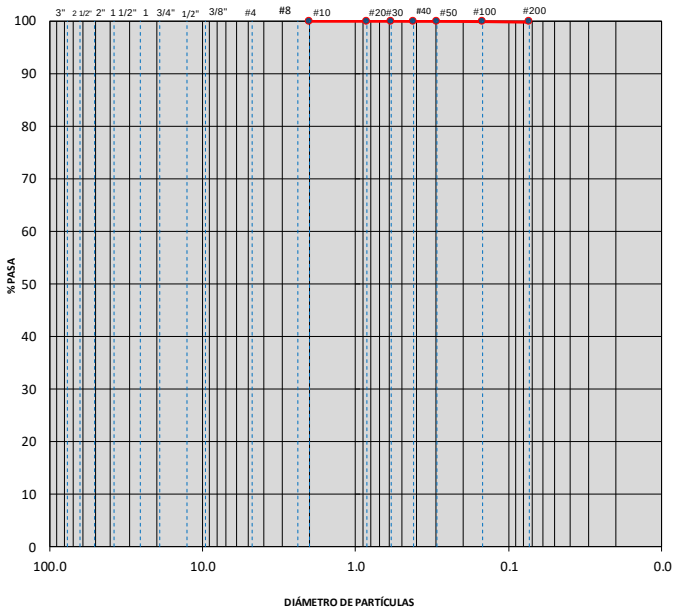


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	620.69	Masa seca Total antes del lavado, g	**467.91**
Masa seca después de lavar (g)	0.77		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.03	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.06	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.18	0.0	0.1	99.9
#200	0.074	0.40	0.1	0.1	99.9
Pasa #200		467.24	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Límite Líquido	52
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**25**
0.14		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**27**
99.86				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(31)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-04).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

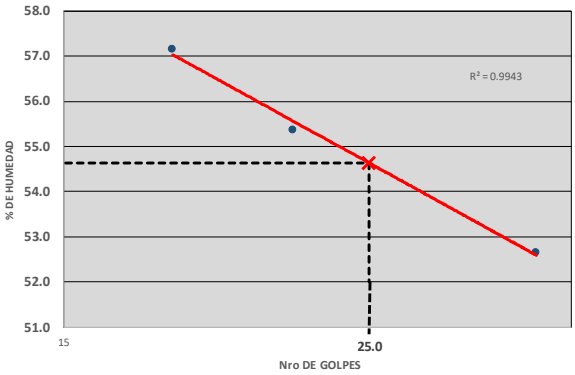
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**14/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-04	**SONDEO No.**	**2**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	22	18
Masa humeda + Tara, g	38.40	33.73	34.83
Masa seca + Tara, g	33.06	29.71	30.80
Masa de Tara, g	22.92	22.45	23.75
Masa del agua, g	5.34	4.02	4.03
Masa seca, g	10.14	7.26	7.05
Humedad, (%)	**52.66**	**55.37**	**57.16**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	30.16	28.81	638.03
Masa seca + Tara, g	28.95	27.50	526.99
Masa de Tara, g	24.29	22.80	107.71
Masa del agua, g	1.21	1.31	111.04
Masa seca, g	4.66	4.70	419.28
Humedad, (%)	**25.97**	**27.87**	**26.48**

CURVA DE FLUIDEZ

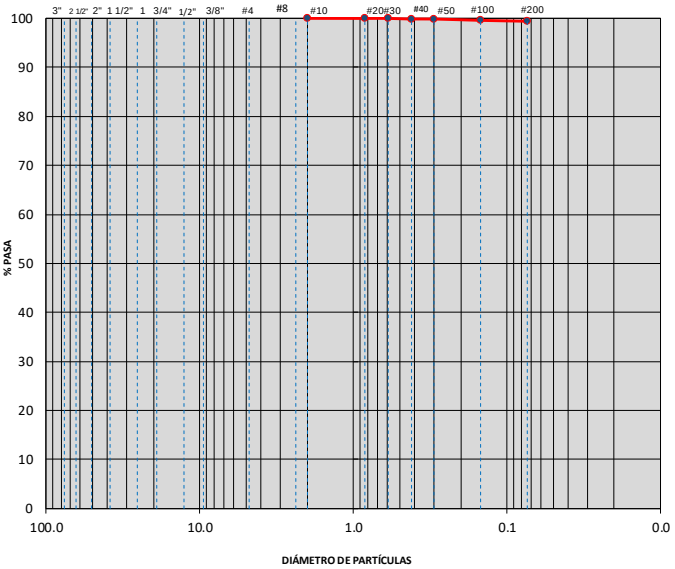


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	530.32	Masa seca Total antes del lavado, g	**419.28**
Masa seca después de lavar (g)	2.39		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.05	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.49	0.1	0.1	99.9
#50	0.297		0.0	0.1	99.9
#100	0.149	1.05	0.3	0.4	99.6
#200	0.074	0.70	0.2	0.5	99.5
Pasa #200		416.99	99.5		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Límite Líquido	55
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**27**
0.55		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**28**
99.45				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(33)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-05).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

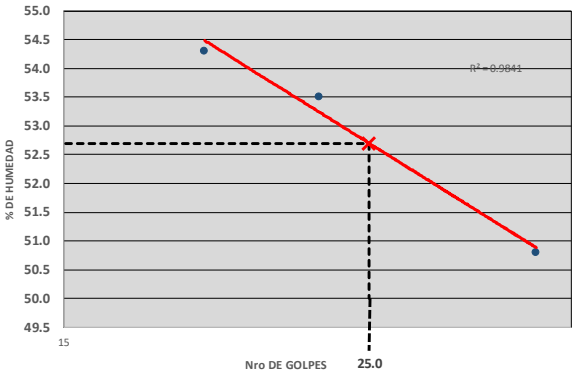
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-05	**SONDEO No.**	**3**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	23	19
Masa humeda + Tara, g	42.10	42.59	42.47
Masa seca + Tara, g	35.72	35.79	35.79
Masa de Tara, g	23.16	23.08	23.49
Masa del agua, g	6.38	6.80	6.68
Masa seca, g	12.56	12.71	12.30
Humedad, (%)	**50.80**	**53.50**	**54.31**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.08	32.46	715.07
Masa seca + Tara, g	30.37	30.64	574.11
Masa de Tara, g	23.19	22.72	133.09
Masa del agua, g	1.71	1.82	140.96
Masa seca, g	7.18	7.92	441.02
Humedad, (%)	**23.82**	**22.98**	**31.96**

CURVA DE FLUIDEZ

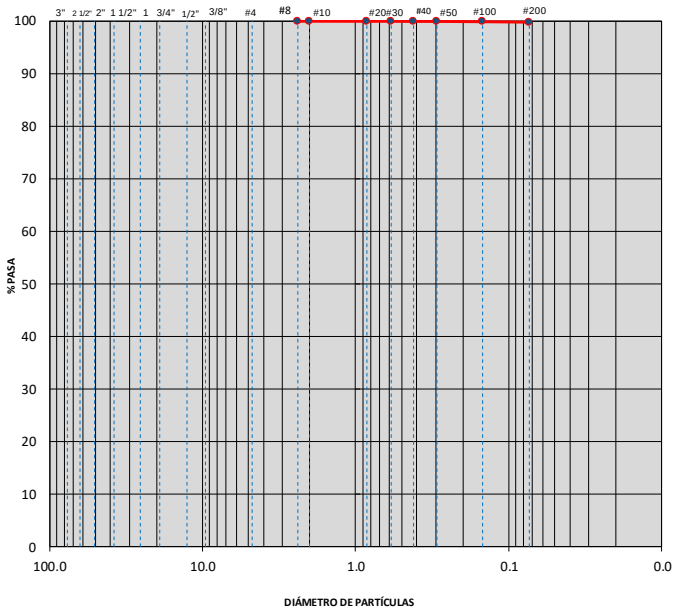


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	581.98	Masa seca Total antes del lavado, g	**441.02**
Masa seca después de lavar (g)	0.87		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.02	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.06	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.09	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.23	0.1	0.1	99.9
#200	0.074	0.37	0.1	0.2	99.8
Pasa #200		440.25	99.8		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**53**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**23**
0.17		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**29**
99.83				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(33)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-06).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

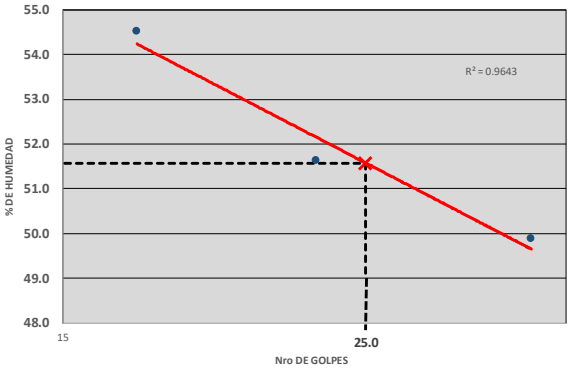
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-06	**SONDEO No.**	**3**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	23	17
Masa humeda + Tara, g	42.79	42.62	42.57
Masa seca + Tara, g	36.01	35.85	35.50
Masa de Tara, g	22.42	22.74	22.53
Masa del agua, g	6.78	6.77	7.07
Masa seca, g	13.59	13.11	12.97
Humedad, (%)	**49.89**	**51.64**	**54.51**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.16	32.33	807.12
Masa seca + Tara, g	30.58	30.79	638.04
Masa de Tara, g	23.31	23.43	126.07
Masa del agua, g	1.58	1.54	169.08
Masa seca, g	7.27	7.36	511.97
Humedad, (%)	**21.73**	**20.92**	**33.03**

CURVA DE FLUIDEZ

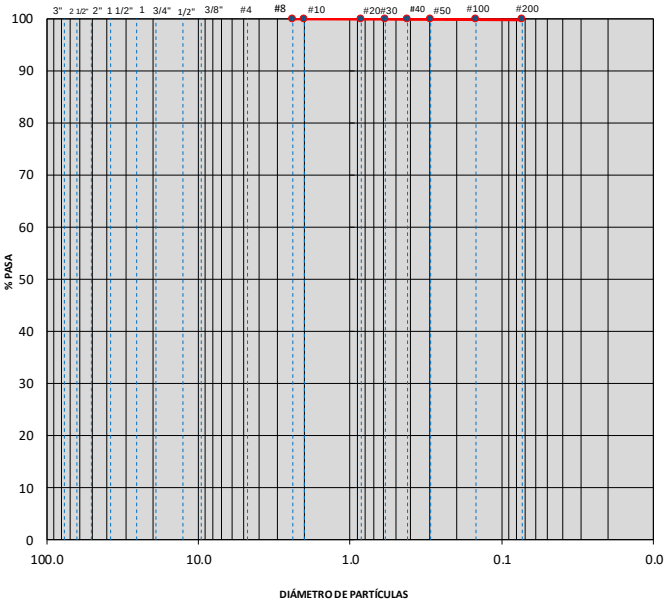


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	681.05	Masa seca Total antes del lavado, g	**511.97**
Masa seca después de lavar (g)	0.57		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.02	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.09	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.13	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.11	0.0	0.1	99.9
#200	0.074	0.12	0.0	0.1	99.9
Pasa #200		511.50	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	D60(mm):	Cu
0.00		N/A
% de Arena:	**D30(mm):**	
0.09		**Cc**
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A
99.91		

% Límite Líquido	**52**
% Límite Plástico	**21**
% Indice de Plasticidad	**30**

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(34)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-07).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

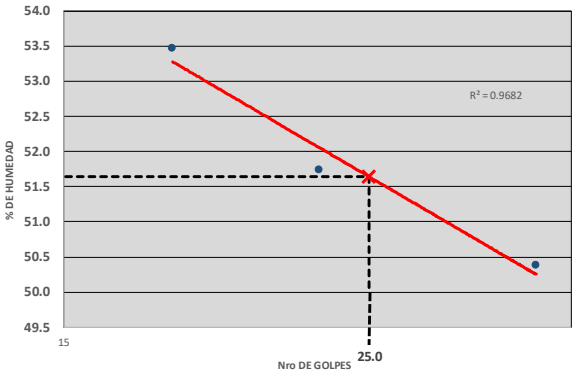
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-07	**SONDEO No.**	**4**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	23	18
Masa humeda + Tara, g	42.82	44.03	42.60
Masa seca + Tara, g	36.20	37.33	35.58
Masa de Tara, g	23.06	24.38	22.45
Masa del agua, g	6.62	6.70	7.02
Masa seca, g	13.14	12.95	13.13
Humedad, (%)	**50.38**	**51.74**	**53.47**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	31.58	32.18	790.11
Masa seca + Tara, g	30.31	30.71	632.20
Masa de Tara, g	24.62	24.25	159.39
Masa del agua, g	1.27	1.47	157.91
Masa seca, g	5.69	6.46	472.81
Humedad, (%)	**22.32**	**22.76**	**33.40**

CURVA DE FLUIDEZ

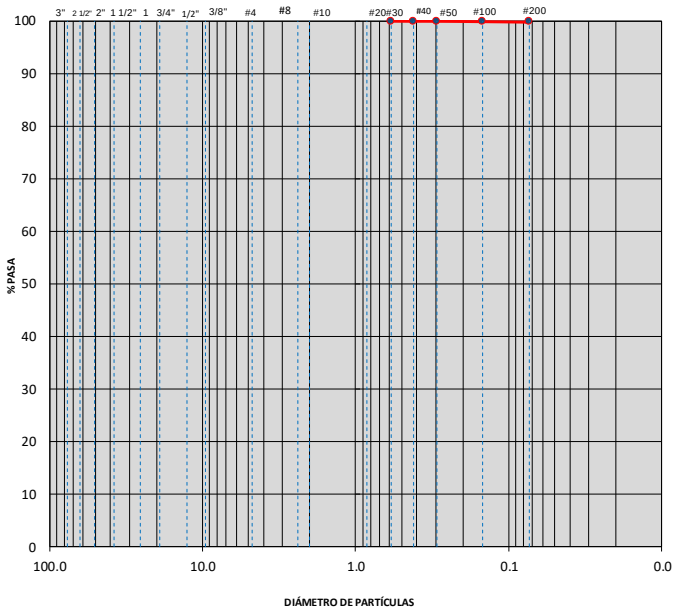


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	630.72	Masa seca Total antes del lavado, g	**472.81**
Masa seca después de lavar (g)	0.67		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.00	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.04	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.22	0.0	0.1	99.9
#200	0.074	0.31	0.1	0.1	99.9
Pasa #200		472.24	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**52**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**23**
0.12		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**29**
99.88				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(33)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-08).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

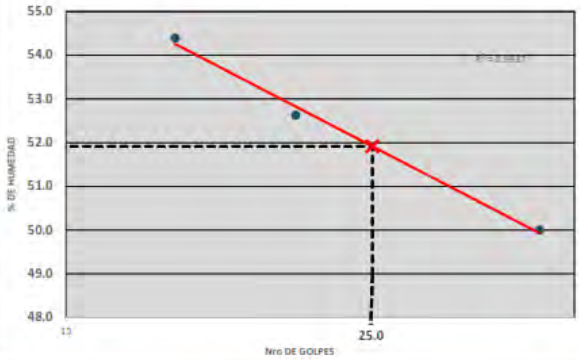
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	FECHA:	15/10/2025
ATENCIÓN	VS-MI-08	SONDEO No.	4
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	MUESTRA No	INALTERADA
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	PROFUNDIDAD, m	2.50
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	22	18
Masa humeda + Tara, g	42.17	42.63	42.24
Masa seca + Tara, g	35.51	36.02	35.49
Masa de Tara, g	22.19	23.46	23.08
Masa del agua, g	6.66	6.61	6.75
Masa seca, g	13.32	12.56	12.41
Humedad, (%)	**50.00**	**52.63**	**54.39**

LIMITE PLASTICO ASTM D 4318			HUMEDAD ASTM D 2216
Masa humeda + Tara, g	31.72	32.47	876.12
Masa seca + Tara, g	30.19	30.86	693.26
Masa de Tara, g	23.19	23.33	152.31
Masa del agua, g	1.53	1.61	182.86
Masa seca, g	7.00	7.53	540.95
Humedad, (%)	**21.86**	**21.38**	**33.80**

CURVA DE FLUIDEZ

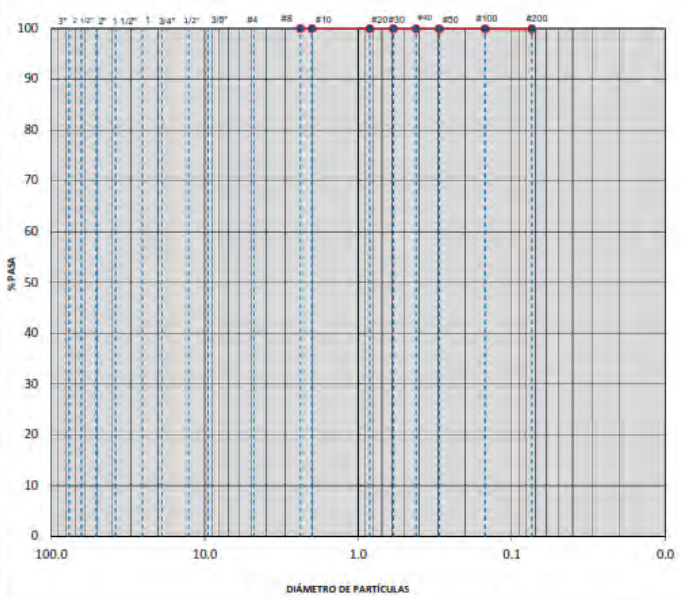


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	723.81	Masa seca Total antes del lavado, g	540.95
Masa seca después de lavar (g)	0.60		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.03	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.10	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.10	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.12	0.0	0.1	99.9
#200	0.074	0.15	0.0	0.1	99.9
Pasa #200		540.45	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Limite Liquido	52
0.00		N/A		
% de Arena:	D30(mm):		% Limite Plástico	22
0.09		Cc		
% de Finos:	D10 mm (diámetro efectivo):	N/A	% Indice de Plasticidad	30
99.91				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	A-7-6(34)
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	CH

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-09).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

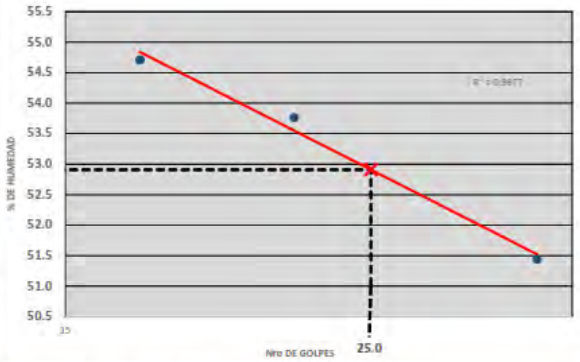
ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**14/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-09	**SONDEO No.**	**5**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	22	17
Masa humeda + Tara, g	34.76	34.58	34.52
Masa seca + Tara, g	30.83	30.65	30.51
Masa de Tara, g	23.19	23.34	23.18
Masa del agua, g	3.93	3.93	4.01
Masa seca, g	7.64	7.31	7.33
Humedad, (%)	**51.44**	**53.76**	**54.71**

CURVA DE FLUIDEZ



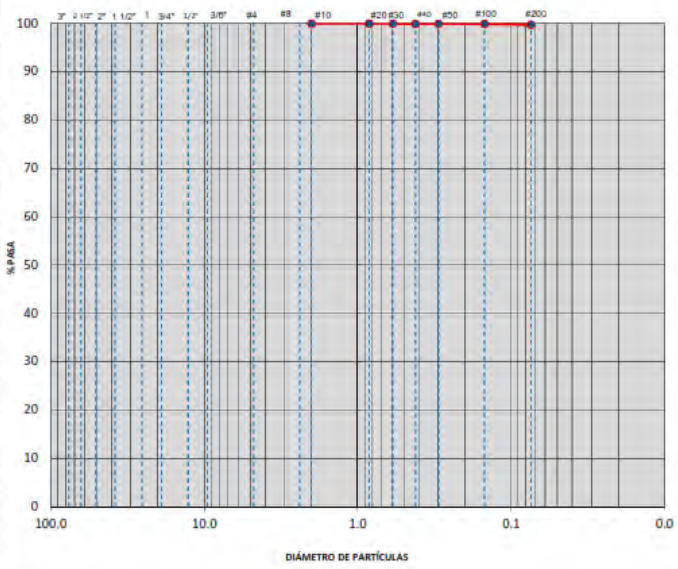
LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			HUMEDAD ASTM D 2216
Masa humeda + Tara, g	30.27	30.49	782.09
Masa seca + Tara, g	28.97	29.18	631.28
Masa de Tara, g	23.09	23.23	125.42
Masa del agua, g	1.30	1.31	150.81
Masa seca, g	5.88	5.95	505.86
Humedad, (%)	**22.11**	**22.02**	**29.81**

ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	656.67	Masa seca Total antes del lavado, g	**505.86**
Masa seca después de lavar (g)	1.34		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.08	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.20	0.0	0.1	99.9
#50	0.297		0.0	0.1	99.9
#100	0.149	0.26	0.1	0.1	99.9
#200	0.074	0.70	0.1	0.2	99.8
Pasa #200		504.62	99.8		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Límite Líquido	53
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		% Límite Plástico	22
0.25		Cc		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	% Índice de Plasticidad	31
99.75				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(35)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-10).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

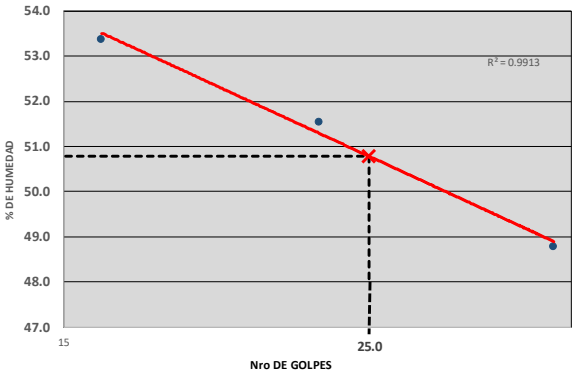
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-10	**SONDEO No.**	**5**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	23	16
Masa humeda + Tara, g	43.12	42.96	41.50
Masa seca + Tara, g	36.54	36.09	35.18
Masa de Tara, g	23.05	22.76	23.34
Masa del agua, g	6.58	6.87	6.32
Masa seca, g	13.49	13.33	11.84
Humedad, (%)	**48.78**	**51.54**	**53.38**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	31.83	32.81	937.81
Masa seca + Tara, g	30.34	31.10	782.16
Masa de Tara, g	23.15	22.81	155.13
Masa del agua, g	1.49	1.71	155.65
Masa seca, g	7.19	8.29	627.03
Humedad, (%)	**20.72**	**20.63**	**24.82**

CURVA DE FLUIDEZ

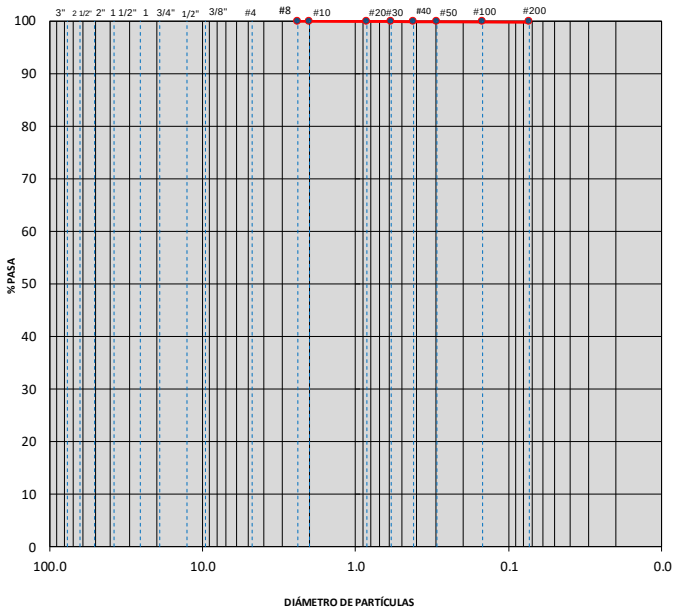


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	782.68	Masa seca Total antes del lavado, g		**627.03**
Masa seca después de lavar (g)	0.47			

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.08	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.12	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.08	0.0	0.0	100.0
#200	0.074	0.09	0.0	0.1	99.9
Pasa #200		626.66	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Límite Líquido	51
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**21**
0.06		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**30**
99.94				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(34)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-11).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

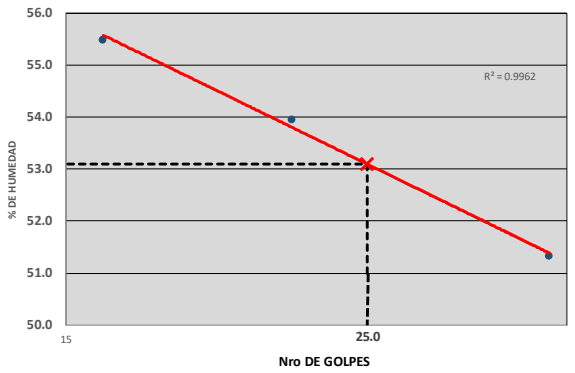
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-11	**SONDEO No.**	**6**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	22	16
Masa humeda + Tara, g	32.74	32.52	32.08
Masa seca + Tara, g	29.24	28.90	28.69
Masa de Tara, g	22.42	22.19	22.58
Masa del agua, g	3.50	3.62	3.39
Masa seca, g	6.82	6.71	6.11
Humedad, (%)	**51.32**	**53.95**	**55.48**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.17	32.31	681.12
Masa seca + Tara, g	30.58	30.61	550.14
Masa de Tara, g	23.37	23.25	115.64
Masa del agua, g	1.59	1.70	130.98
Masa seca, g	7.21	7.36	434.50
Humedad, (%)	**22.05**	**23.10**	**30.14**

CURVA DE FLUIDEZ

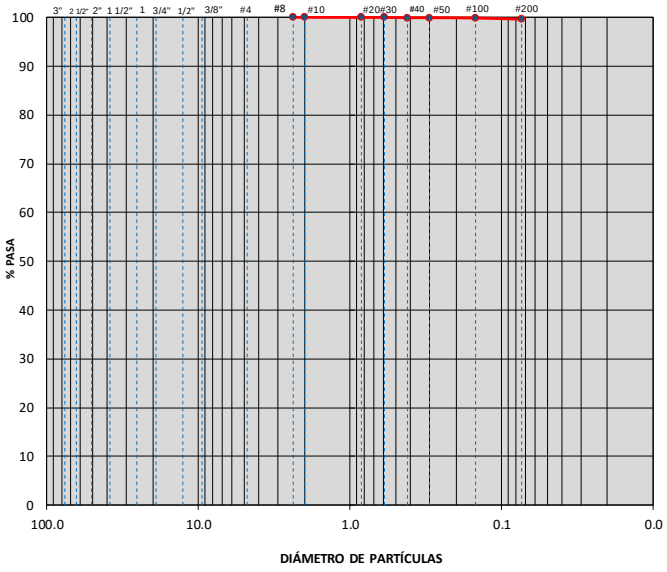


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	565.48	Masa seca Total antes del lavado, g	**434.50**
Masa seca después de lavar (g)	1.12		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.01	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.07	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.14	0.0	0.1	99.9
#50	0.297		0.0	0.1	99.9
#100	0.149	0.18	0.0	0.1	99.9
#200	0.074	0.62	0.1	0.2	99.8
Pasa #200		433.48	99.8		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Límite Líquido	53
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**23**
0.23		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**31**
99.77				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(35)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-12).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

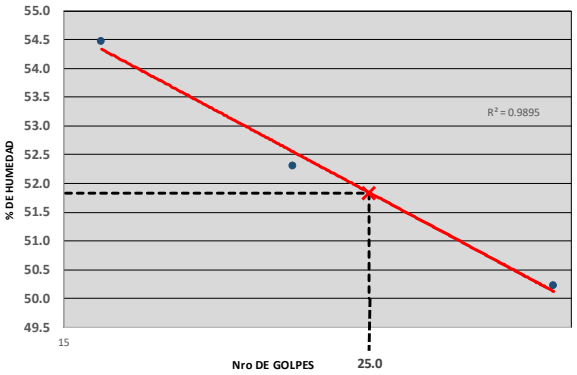
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-12	**SONDEO No.**	**6**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	22	16
Masa humeda + Tara, g	41.96	42.42	42.28
Masa seca + Tara, g	35.35	35.49	35.28
Masa de Tara, g	22.19	22.24	22.43
Masa del agua, g	6.61	6.93	7.00
Masa seca, g	13.16	13.25	12.85
Humedad, (%)	**50.23**	**52.30**	**54.47**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.13	32.22	729.34
Masa seca + Tara, g	30.24	30.39	581.08
Masa de Tara, g	22.14	22.34	120.16
Masa del agua, g	1.89	1.83	148.26
Masa seca, g	8.10	8.05	460.92
Humedad, (%)	**23.33**	**22.73**	**32.17**

CURVA DE FLUIDEZ

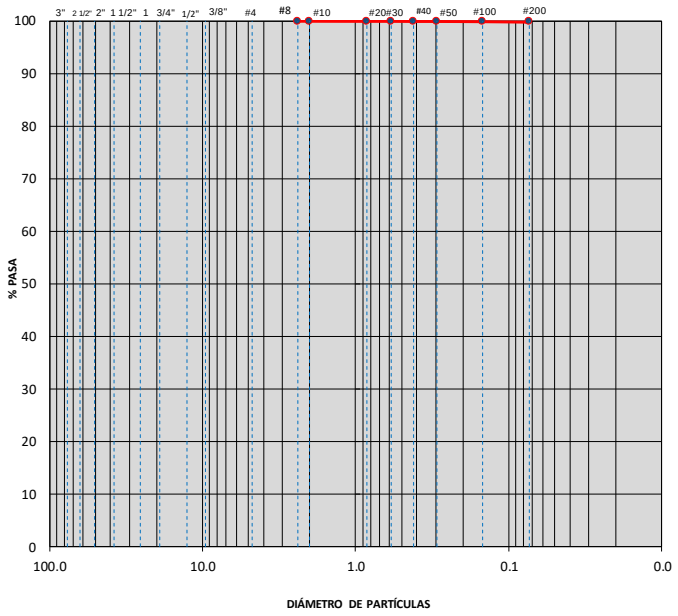


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	609.18	Masa seca Total antes del lavado, g	**460.92**
Masa seca después de lavar (g)	0.73		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.03	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.06	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.07	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.15	0.0	0.1	99.9
#200	0.074	0.32	0.1	0.1	99.9
Pasa #200		460.29	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**52**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**23**
0.14		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**29**
99.86				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(33)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-13).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

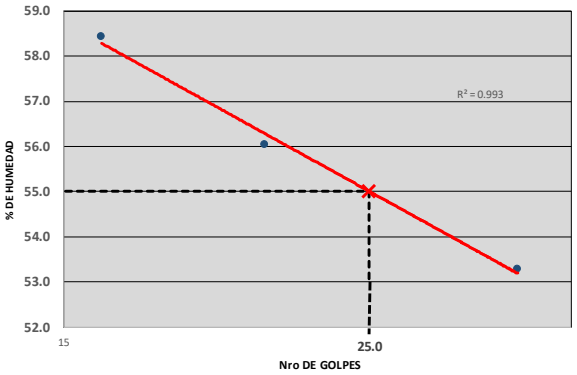
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-13	**SONDEO No.**	**7**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	32	21	16
Masa humeda + Tara, g	34.16	34.40	33.91
Masa seca + Tara, g	30.19	30.13	29.75
Masa de Tara, g	22.74	22.51	22.63
Masa del agua, g	3.97	4.27	4.16
Masa seca, g	7.45	7.62	7.12
Humedad, (%)	**53.29**	**56.04**	**58.43**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	31.36	32.12	842.15
Masa seca + Tara, g	29.77	30.39	700.89
Masa de Tara, g	23.42	23.32	150.43
Masa del agua, g	1.59	1.73	141.26
Masa seca, g	6.35	7.07	550.46
Humedad, (%)	**25.04**	**24.47**	**25.66**

CURVA DE FLUIDEZ

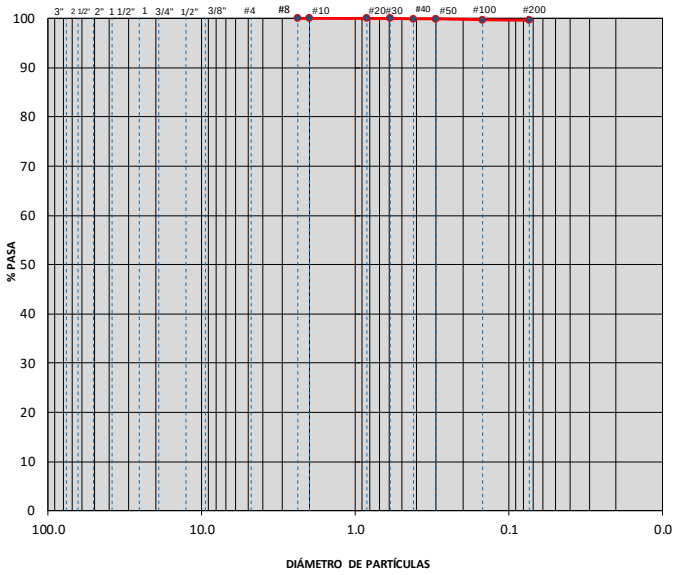


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	691.72	Masa seca Total antes del lavado, g	**550.46**
Masa seca después de lavar (g)	2.27		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.04	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.11	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.38	0.1	0.1	99.9
#50	0.297		0.0	0.1	99.9
#100	0.149	1.02	0.2	0.3	99.7
#200	0.074	0.62	0.1	0.4	99.6
Pasa #200		548.29	99.6		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**55**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**25**
0.39		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**30**
99.61				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(35)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-14).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

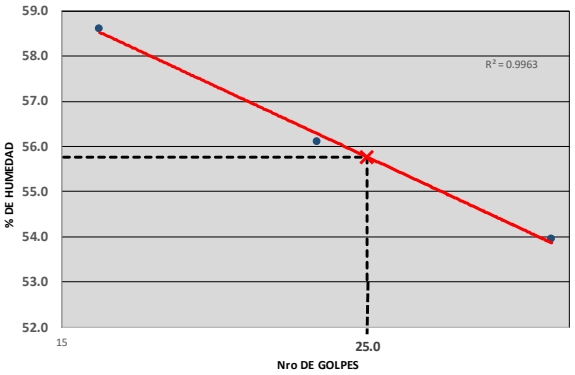
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-14	**SONDEO No.**	**7**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	23	16
Masa humeda + Tara, g	44.88	42.12	43.94
Masa seca + Tara, g	37.22	35.01	35.94
Masa de Tara, g	23.02	22.34	22.29
Masa del agua, g	7.66	7.11	8.00
Masa seca, g	14.20	12.67	13.65
Humedad, (%)	**53.94**	**56.12**	**58.61**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.91	32.34	615.24
Masa seca + Tara, g	31.10	30.34	493.08
Masa de Tara, g	23.50	22.13	107.97
Masa del agua, g	1.81	2.00	122.16
Masa seca, g	7.60	8.21	385.11
Humedad, (%)	**23.82**	**24.36**	**31.72**

CURVA DE FLUIDEZ

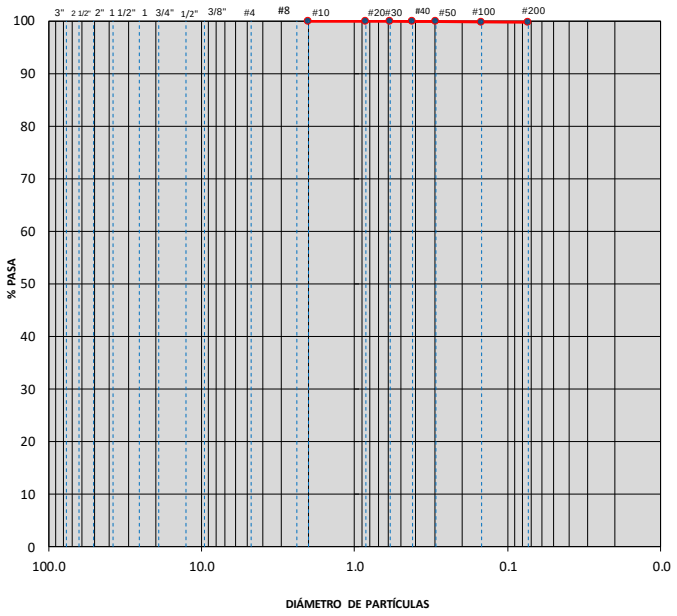


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	507.27	Masa seca Total antes del lavado, g	**385.11**
Masa seca después de lavar (g)	1.39		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.04	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.30	0.1	0.1	99.9
#50	0.297		0.0	0.1	99.9
#100	0.149	0.55	0.1	0.2	99.8
#200	0.074	0.40	0.1	0.3	99.7
Pasa #200		383.82	99.7		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**56**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**24**
0.33		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**32**
99.67				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(36)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-15).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

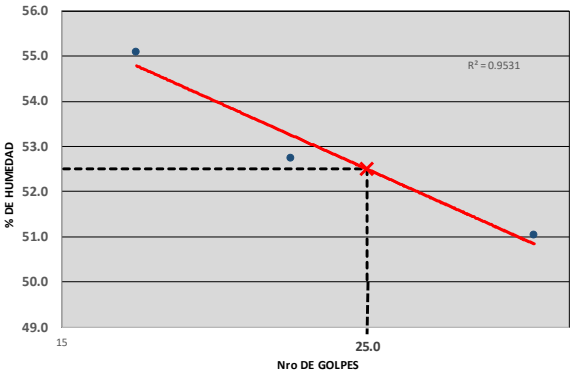
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-15	**SONDEO No.**	**8**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	22	17
Masa humeda + Tara, g	38.06	38.27	36.92
Masa seca + Tara, g	32.91	32.80	31.89
Masa de Tara, g	22.82	22.43	22.76
Masa del agua, g	5.15	5.47	5.03
Masa seca, g	10.09	10.37	9.13
Humedad, (%)	**51.04**	**52.75**	**55.09**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.19	32.28	752.06
Masa seca + Tara, g	30.42	30.52	626.61
Masa de Tara, g	22.46	22.53	115.14
Masa del agua, g	1.77	1.76	125.45
Masa seca, g	7.96	7.99	511.47
Humedad, (%)	**22.24**	**22.03**	**24.53**

CURVA DE FLUIDEZ

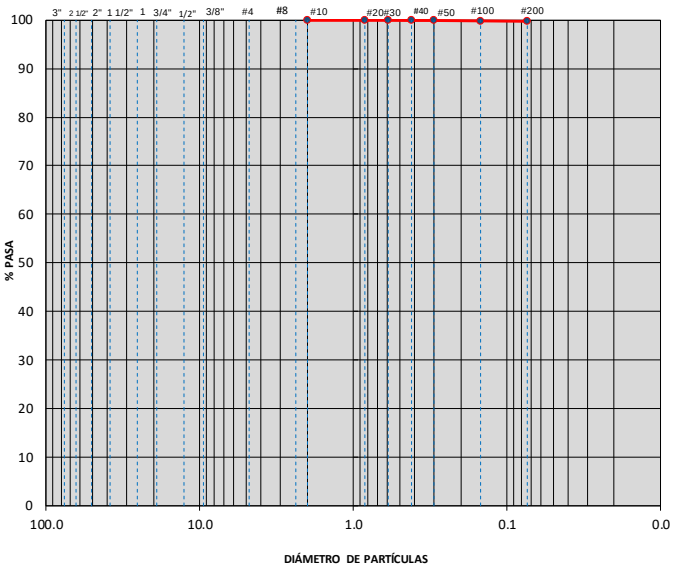


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	636.92	Masa seca Total antes del lavado, g	**511.47**
Masa seca después de lavar (g)	1.78		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.06	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.24	0.0	0.1	99.9
#50	0.297		0.0	0.1	99.9
#100	0.149	0.68	0.1	0.2	99.8
#200	0.074	0.70	0.1	0.3	99.7
Pasa #200		509.79	99.7		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS					**CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO**	
% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**52**	CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(34)**
0.00		N/A				
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**22**		
0.33		**Cc**			SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**30**		
99.67						

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-16).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

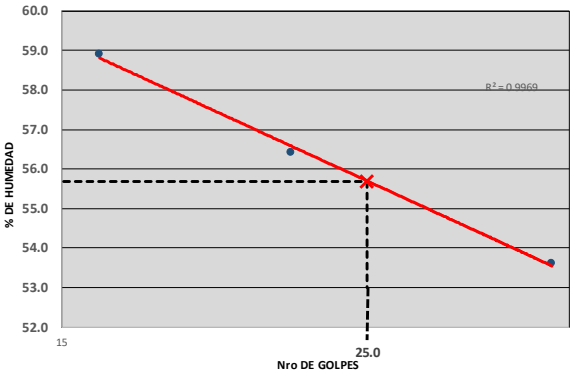
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-16	**SONDEO No.**	**8**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	22	16
Masa humeda + Tara, g	43.49	42.76	44.01
Masa seca + Tara, g	36.39	35.33	35.97
Masa de Tara, g	23.15	22.16	22.32
Masa del agua, g	7.10	7.43	8.04
Masa seca, g	13.24	13.17	13.65
Humedad, (%)	**53.63**	**56.42**	**58.90**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.58	32.17	623.58
Masa seca + Tara, g	30.69	30.21	496.24
Masa de Tara, g	23.16	22.39	112.32
Masa del agua, g	1.89	1.96	127.34
Masa seca, g	7.53	7.82	383.92
Humedad, (%)	**25.10**	**25.06**	**33.17**

CURVA DE FLUIDEZ

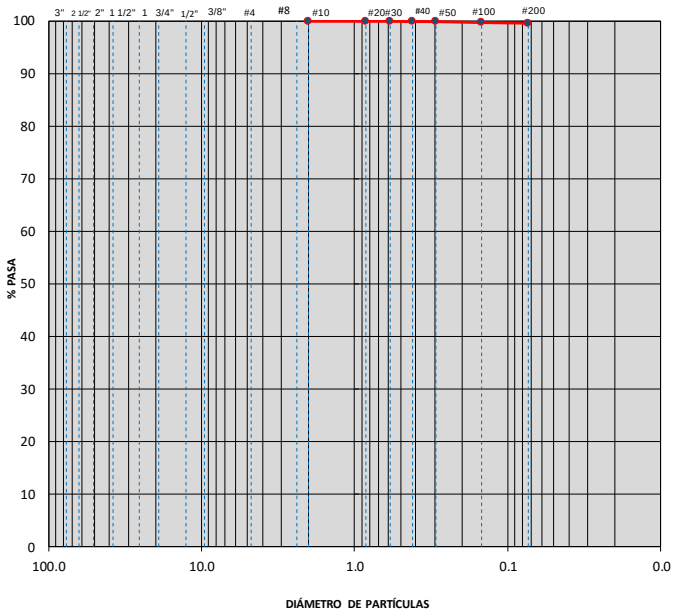


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	511.26	Masa seca Total antes del lavado, g	**383.92**
Masa seca después de lavar (g)	1.66		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.06	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.24	0.1	0.1	99.9
#50	0.297		0.0	0.1	99.9
#100	0.149	0.76	0.2	0.3	99.7
#200	0.074	0.50	0.1	0.4	99.6
Pasa #200		382.36	99.6		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	D60(mm):	Cu	% Límite Líquido	56
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**25**
0.41		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**31**
99.59				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(35)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-17).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

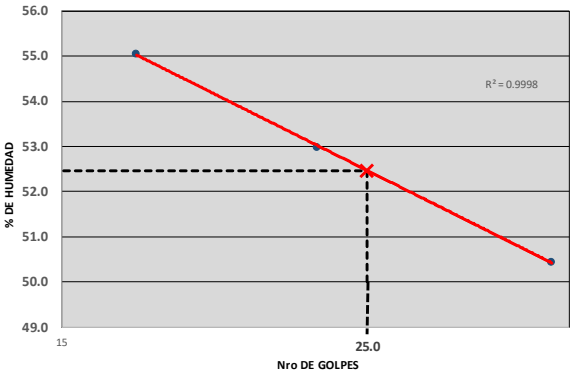
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-17	**SONDEO No.**	**9**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	23	17
Masa humeda + Tara, g	36.87	38.02	36.59
Masa seca + Tara, g	32.28	32.96	31.79
Masa de Tara, g	23.18	23.41	23.07
Masa del agua, g	4.59	5.06	4.80
Masa seca, g	9.10	9.55	8.72
Humedad, (%)	**50.44**	**52.98**	**55.05**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	30.75	31.09	627.53
Masa seca + Tara, g	29.44	29.75	536.79
Masa de Tara, g	23.34	23.51	108.39
Masa del agua, g	1.31	1.34	90.74
Masa seca, g	6.10	6.24	428.40
Humedad, (%)	**21.48**	**21.47**	**21.18**

CURVA DE FLUIDEZ

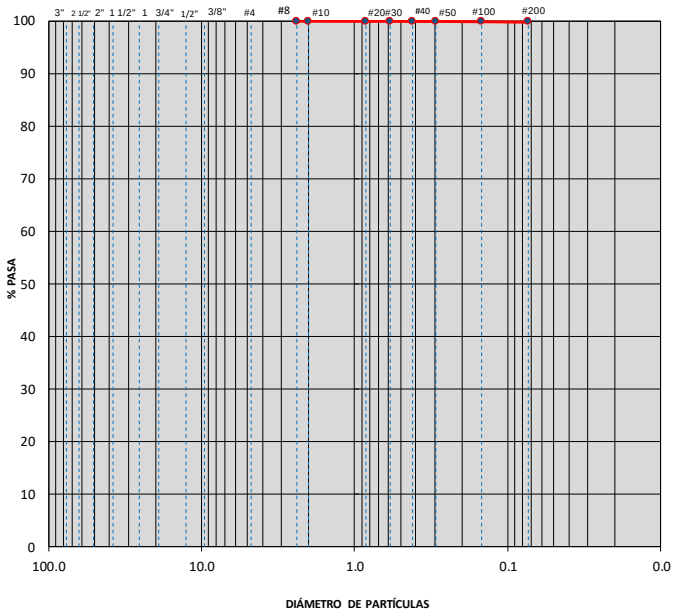


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	519.14	Masa seca Total antes del lavado, g	**428.40**
Masa seca después de lavar (g)	0.39		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.01	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.03	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.03	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.08	0.0	0.0	100.0
#200	0.074	0.14	0.0	0.1	99.9
Pasa #200		428.11	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**52**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**21**
0.07		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**31**
99.93				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(35)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-18).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

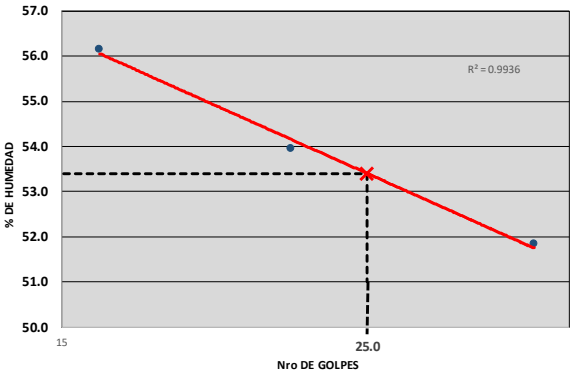
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-18	**SONDEO No.**	**9**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	22	16
Masa humeda + Tara, g	42.16	42.37	42.09
Masa seca + Tara, g	35.68	35.42	35.30
Masa de Tara, g	23.18	22.54	23.21
Masa del agua, g	6.48	6.95	6.79
Masa seca, g	12.50	12.88	12.09
Humedad, (%)	**51.84**	**53.96**	**56.16**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	31.82	32.07	712.06
Masa seca + Tara, g	30.10	30.27	566.38
Masa de Tara, g	22.38	22.26	115.26
Masa del agua, g	1.72	1.80	145.68
Masa seca, g	7.72	8.01	451.12
Humedad, (%)	**22.28**	**22.47**	**32.29**

CURVA DE FLUIDEZ

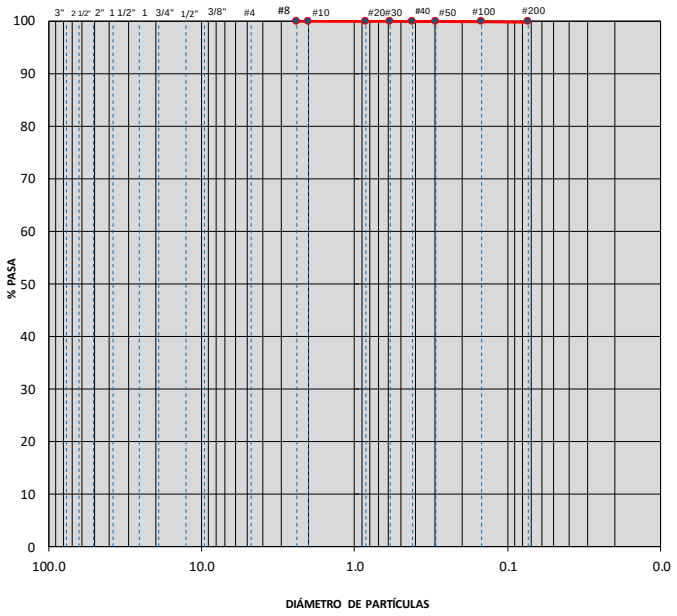


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	596.80	Masa seca Total antes del lavado, g		**451.12**
Masa seca después de lavar (g)	0.71			

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.02	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.08	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.09	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.13	0.0	0.1	99.9
#200	0.074	0.29	0.1	0.1	99.9
Pasa #200		450.51	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**53**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**22**
0.14		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**31**
99.86				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(35)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (VS-MI-19).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

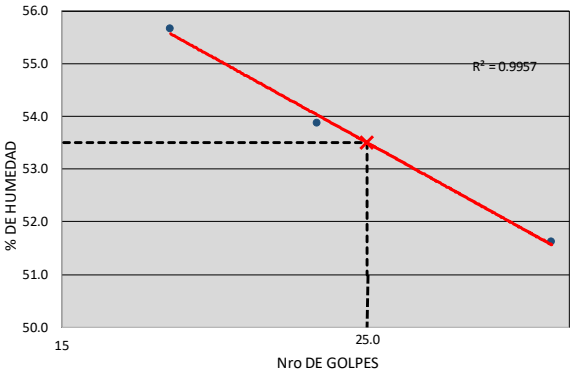
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-19	**SONDEO No.**	**10**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	23	18
Masa humeda + Tara, g	46.04	41.26	42.30
Masa seca + Tara, g	39.03	34.58	35.07
Masa de Tara, g	25.45	22.18	22.08
Masa del agua, g	7.01	6.68	7.23
Masa seca, g	13.58	12.40	12.99
Humedad, (%)	**51.62**	**53.87**	**55.66**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	31.87	33.28	620.02
Masa seca + Tara, g	30.37	31.67	498.23
Masa de Tara, g	23.32	24.53	106.61
Masa del agua, g	1.50	1.61	121.79
Masa seca, g	7.05	7.14	391.62
Humedad, (%)	**21.28**	**22.55**	**31.10**

CURVA DE FLUIDEZ

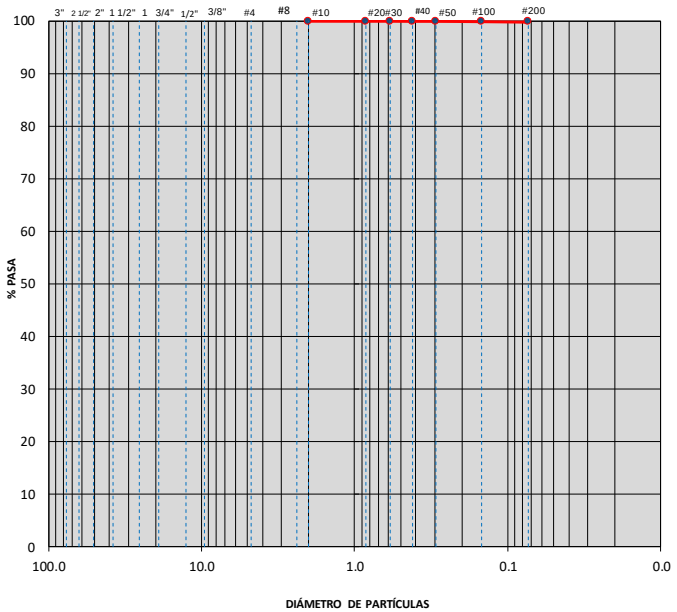


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	513.41	Masa seca Total antes del lavado, g	**391.62**
Masa seca después de lavar (g)	0.31		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.01	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.02	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.07	0.0	0.0	100.0
#200	0.074	0.11	0.0	0.1	99.9
Pasa #200		391.41	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**53**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**22**
0.05		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**32**
99.95				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(36)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (HU-MI-20).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

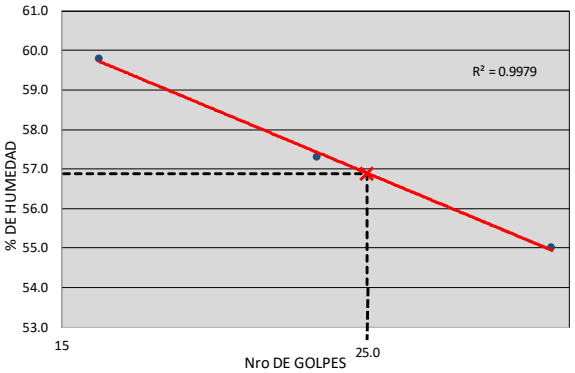
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**18/10/2025**
ATENCIÓN	HU-MI-20	**SONDEO No.**	**11**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.80**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	23	16
Masa humeda + Tara, g	42.40	42.78	40.17
Masa seca + Tara, g	35.37	35.67	33.63
Masa de Tara, g	22.59	23.26	22.69
Masa del agua, g	7.03	7.11	6.54
Masa seca, g	12.78	12.41	10.94
Humedad, (%)	**55.01**	**57.29**	**59.78**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	31.51	33.80	782.65
Masa seca + Tara, g	29.74	32.09	626.27
Masa de Tara, g	22.15	24.71	107.44
Masa del agua, g	1.77	1.71	156.38
Masa seca, g	7.59	7.38	518.83
Humedad, (%)	**23.32**	**23.17**	**30.14**

CURVA DE FLUIDEZ

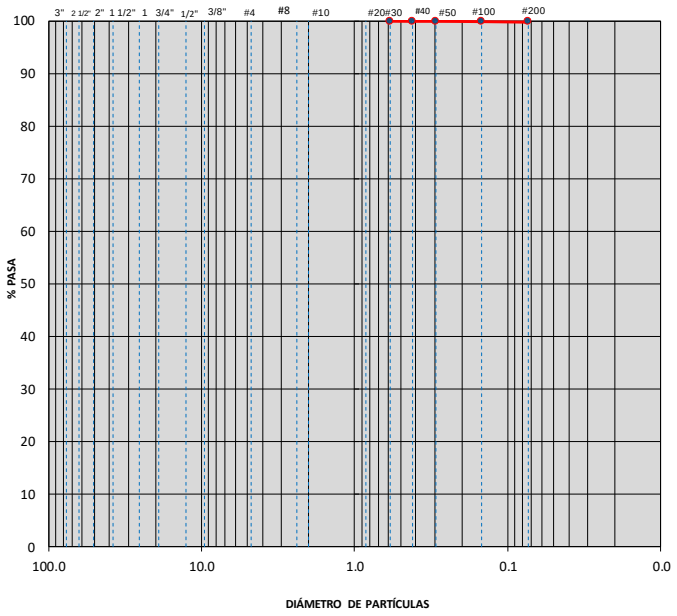


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	675.21	Masa seca Total antes del lavado, g	**518.83**
Masa seca después de lavar (g)	0.27		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.00	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.02	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.05	0.0	0.0	100.0
#200	0.074	0.10	0.0	0.0	100.0
Pasa #200		518.66	100.0		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**57**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**23**
0.03		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**34**
99.97				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(39)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (HU-MI-21).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

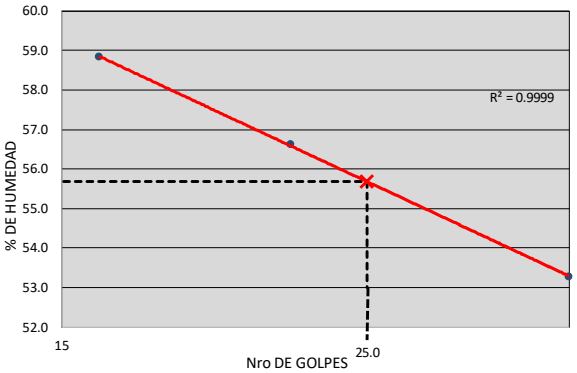
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**20/10/2025**
ATENCIÓN	HU-M1-21	**SONDEO No.**	**11**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.80**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	35	22	16
Masa humeda + Tara, g	44.16	41.29	44.00
Masa seca + Tara, g	37.34	34.31	36.40
Masa de Tara, g	24.54	21.98	23.48
Masa del agua, g	6.82	6.98	7.60
Masa seca, g	12.80	12.33	12.92
Humedad, (%)	**53.28**	**56.61**	**58.82**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	33.81	32.15	621.06
Masa seca + Tara, g	31.81	29.91	443.08
Masa de Tara, g	24.29	21.45	108.04
Masa del agua, g	2.00	2.24	177.98
Masa seca, g	7.52	8.46	335.04
Humedad, (%)	**26.60**	**26.48**	**53.12**

CURVA DE FLUIDEZ

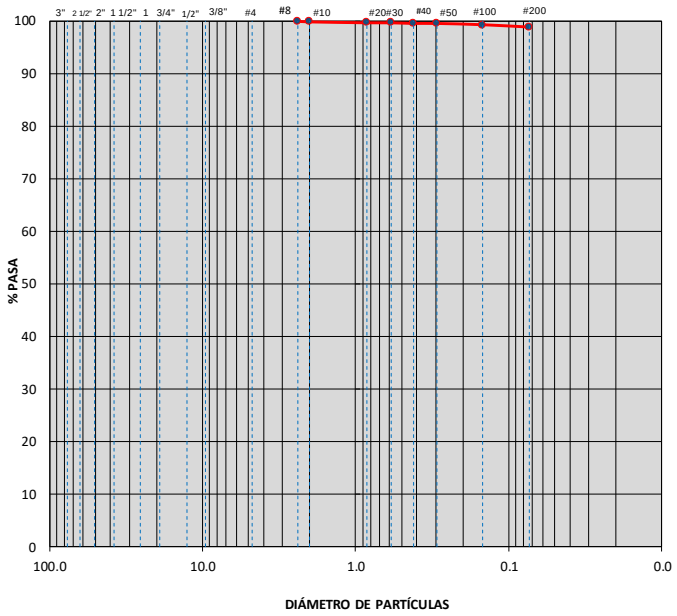


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	513.02	Masa seca Total antes del lavado, g	**335.04**
Masa seca después de lavar (g)	4.33		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.48	0.1	0.1	99.9
#20	0.841	0.65	0.2	0.3	99.7
#30	0.590		0.0	0.3	99.7
#40	0.420	0.48	0.1	0.5	99.5
#50	0.297		0.0	0.5	99.5
#100	0.149	0.91	0.3	0.8	99.2
#200	0.074	1.71	0.5	1.3	98.7
Pasa #200		330.81	98.7		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**56**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**27**
1.26		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**29**
98.74				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(34)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (HU-MI-22).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

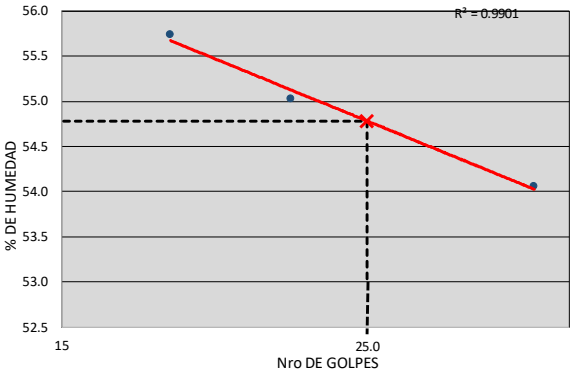
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**20/10/2025**
ATENCIÓN	HU-M1-22	**SONDEO No.**	**12**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	22	18
Masa humeda + Tara, g	46.38	44.99	44.41
Masa seca + Tara, g	38.59	37.28	37.12
Masa de Tara, g	24.18	23.27	24.04
Masa del agua, g	7.79	7.71	7.29
Masa seca, g	14.41	14.01	13.08
Humedad, (%)	**54.06**	**55.03**	**55.73**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	31.41	31.75	619.64
Masa seca + Tara, g	29.71	29.99	491.89
Masa de Tara, g	22.37	22.48	107.65
Masa del agua, g	1.70	1.76	127.75
Masa seca, g	7.34	7.51	384.24
Humedad, (%)	**23.16**	**23.44**	**33.25**

CURVA DE FLUIDEZ

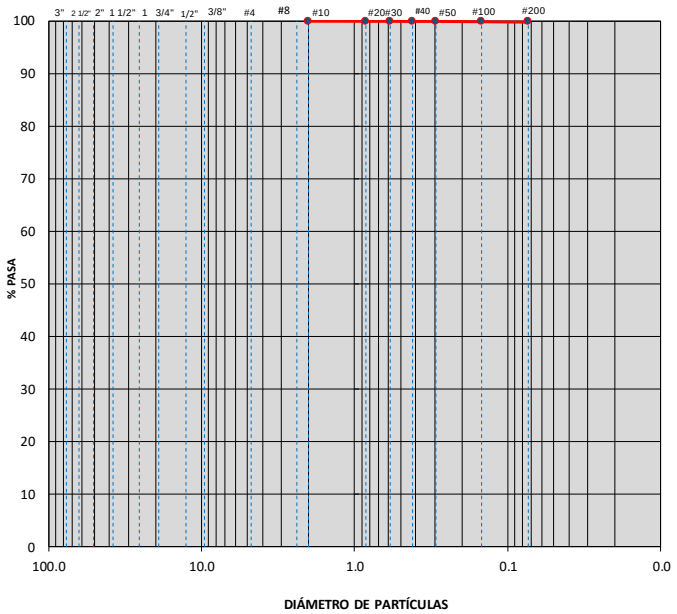


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	511.99	Masa seca Total antes del lavado, g	**384.24**
Masa seca después de lavar (g)	0.38		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.03	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.03	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.09	0.0	0.0	100.0
#200	0.074	0.13	0.0	0.1	99.9
Pasa #200		383.96	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**55**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**23**
0.07		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**31**
99.93				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(36)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (HU-MI-23).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

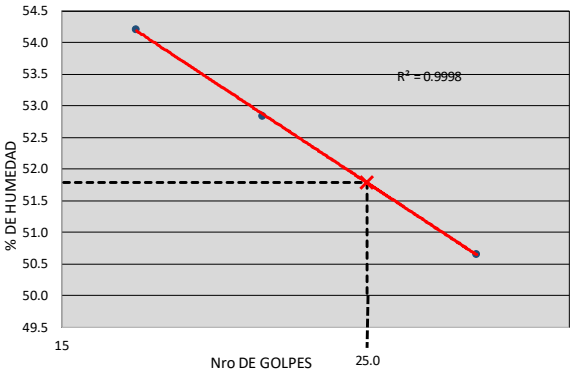
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**20/10/2025**
ATENCIÓN	HU-MI-23	**SONDEO No.**	**12**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY-LUCRE-CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	30	21	17
Masa humeda + Tara, g	35.24	36.98	36.56
Masa seca + Tara, g	30.98	32.79	31.34
Masa de Tara, g	22.57	24.86	21.71
Masa del agua, g	4.26	4.19	5.22
Masa seca, g	8.41	7.93	9.63
Humedad, (%)	**50.65**	**52.84**	**54.21**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	28.29	28.82	779.19
Masa seca + Tara, g	27.19	27.66	622.86
Masa de Tara, g	22.44	22.69	106.71
Masa del agua, g	1.10	1.16	156.33
Masa seca, g	4.75	4.97	516.15
Humedad, (%)	**23.16**	**23.34**	**30.29**

CURVA DE FLUIDEZ

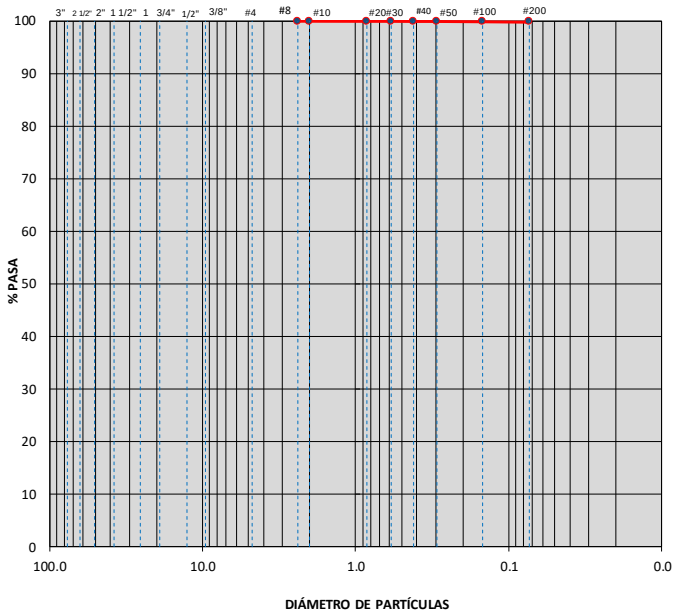


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	672.48	Masa seca Total antes del lavado, g		**516.15**
Masa seca después de lavar (g)	0.58			

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.01	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.05	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.06	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.16	0.0	0.1	99.9
#200	0.074	0.20	0.0	0.1	99.9
Pasa #200		515.67	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**52**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**23**
0.09		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**29**
99.91				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(33)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (HU-MI-24).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

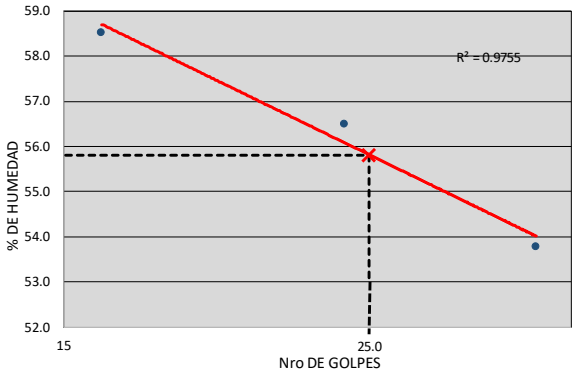
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**18/10/2025**
ATENCIÓN	HU-MI-24	**SONDEO No.**	**13**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.80**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIAL ORGANICO MÍNIMO)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	24	16
Masa humeda + Tara, g	38.03	40.79	39.44
Masa seca + Tara, g	32.55	34.84	32.84
Masa de Tara, g	22.36	24.31	21.56
Masa del agua, g	5.48	5.95	6.60
Masa seca, g	10.19	10.53	11.28
Humedad, (%)	**53.78**	**56.51**	**58.51**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	35.02	34.71	673.39
Masa seca + Tara, g	32.98	32.39	537.49
Masa de Tara, g	23.97	22.24	107.64
Masa del agua, g	2.04	2.32	135.90
Masa seca, g	9.01	10.15	429.85
Humedad, (%)	**22.64**	**22.86**	**31.62**

CURVA DE FLUIDEZ

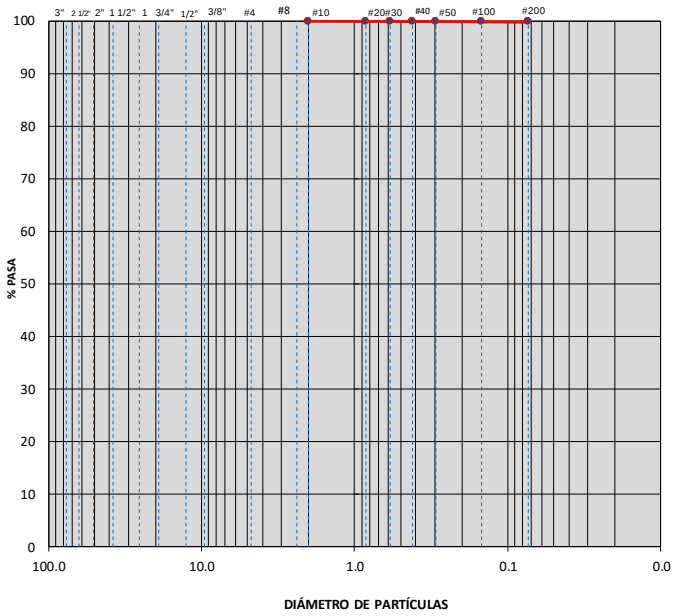


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	565.75	Masa seca Total antes del lavado, g	**429.85**
Masa seca después de lavar (g)	0.66		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.12	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.05	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.20	0.0	0.1	99.9
#200	0.074	0.19	0.0	0.1	99.9
Pasa #200		429.29	99.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**56**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**23**
0.13		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**33**
99.87				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(38)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (HU-MI-25).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

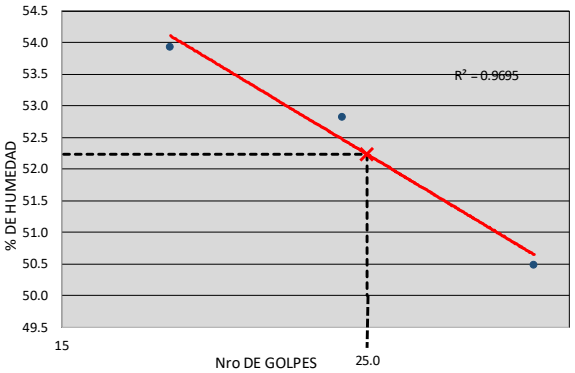
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**18/10/2025**
ATENCIÓN	HU-MI-25	**SONDEO No.**	**13**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.80**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR PLOMO OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	24	18
Masa humeda + Tara, g	45.11	43.63	45.61
Masa seca + Tara, g	37.75	36.32	38.18
Masa de Tara, g	23.17	22.48	24.40
Masa del agua, g	7.36	7.31	7.43
Masa seca, g	14.58	13.84	13.78
Humedad, (%)	**50.48**	**52.82**	**53.92**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.32	32.33	686.36
Masa seca + Tara, g	30.69	30.72	493.70
Masa de Tara, g	24.24	24.44	106.60
Masa del agua, g	1.63	1.61	192.66
Masa seca, g	6.45	6.28	387.10
Humedad, (%)	**25.27**	**25.64**	**49.77**

CURVA DE FLUIDEZ

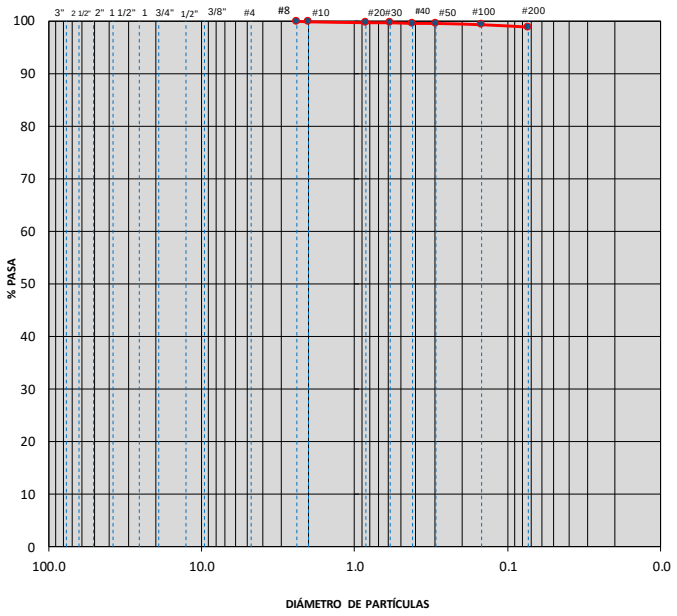


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	579.76	Masa seca Total antes del lavado, g	**387.10**
Masa seca después de lavar (g)	4.43		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.45	0.1	0.1	99.9
#20	0.841	0.66	0.2	0.3	99.7
#30	0.590		0.0	0.3	99.7
#40	0.420	0.55	0.1	0.4	99.6
#50	0.297		0.0	0.4	99.6
#100	0.149	0.93	0.2	0.7	99.3
#200	0.074	1.74	0.4	1.1	98.9
Pasa #200		382.77	98.9		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**52**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**25**
1.12		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**27**
98.88				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(31)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES: **Nivel freático a 1.80 metros de profundidad**

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (HU-MI-26).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

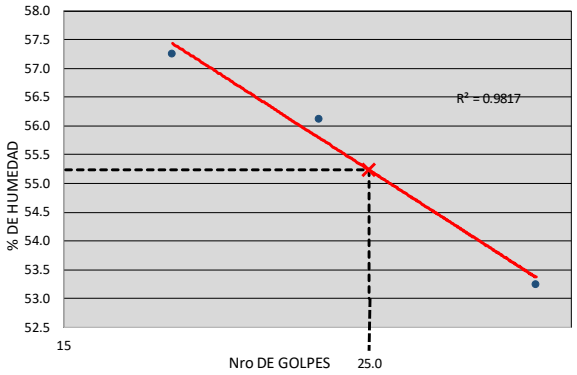
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**18/10/2025**
ATENCIÓN	HU-M1-26	**SONDEO No.**	**14**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	23	18
Masa humeda + Tara, g	43.76	43.57	42.15
Masa seca + Tara, g	36.61	36.59	35.55
Masa de Tara, g	23.18	24.15	24.02
Masa del agua, g	7.15	6.98	6.60
Masa seca, g	13.43	12.44	11.53
Humedad, (%)	**53.24**	**56.11**	**57.24**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	32.56	33.06	625.18
Masa seca + Tara, g	30.61	31.06	497.09
Masa de Tara, g	22.16	22.35	106.22
Masa del agua, g	1.95	2.00	128.09
Masa seca, g	8.45	8.71	390.87
Humedad, (%)	**23.08**	**22.96**	**32.77**

CURVA DE FLUIDEZ

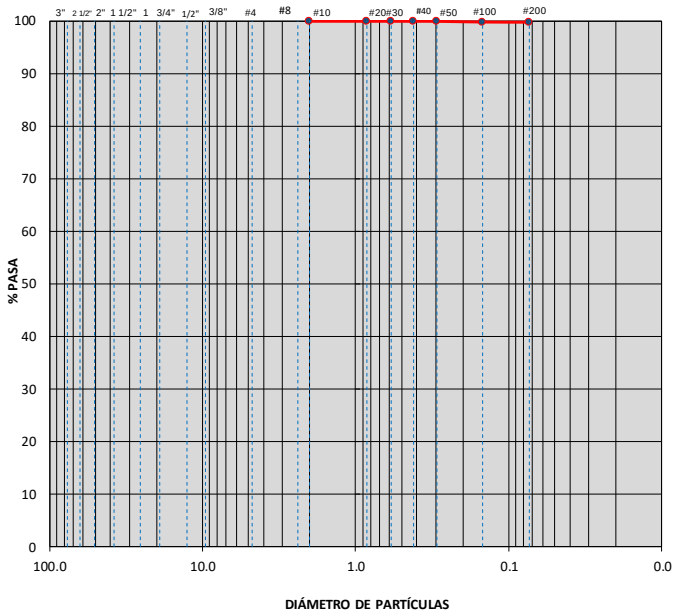


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	518.96	Masa seca Total antes del lavado, g	**390.87**
Masa seca después de lavar (g)	1.19		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.04	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.06	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.80	0.2	0.2	99.8
#200	0.074	0.19	0.0	0.3	99.7
Pasa #200		389.78	99.7		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**55**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**23**
0.28		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**32**
99.72				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(37)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (HU-MI-27).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

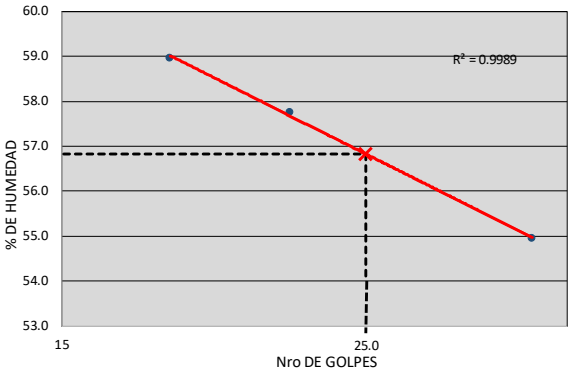
ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**20/10/2025**
ATENCIÓN	HU-M1-27	**SONDEO No.**	**14**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.50**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	22	18
Masa humeda + Tara, g	45.27	42.96	43.28
Masa seca + Tara, g	37.22	36.18	36.24
Masa de Tara, g	22.57	24.44	24.30
Masa del agua, g	8.05	6.78	7.04
Masa seca, g	14.65	11.74	11.94
Humedad, (%)	**54.95**	**57.75**	**58.96**

CURVA DE FLUIDEZ



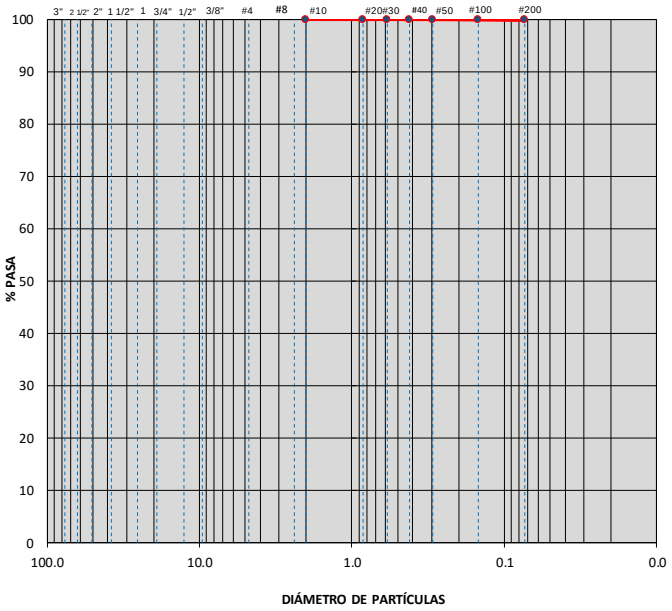
LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	31.10	31.80	620.59
Masa seca + Tara, g	29.40	30.09	499.34
Masa de Tara, g	22.15	22.82	107.42
Masa del agua, g	1.70	1.71	121.25
Masa seca, g	7.25	7.27	391.92
Humedad, (%)	**23.45**	**23.52**	**30.94**

ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	513.17	Masa seca Total antes del lavado, g	**391.92**
Masa seca después de lavar (g)	0.28		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.01	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.01	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.07	0.0	0.0	100.0
#200	0.074	0.09	0.0	0.0	100.0
Pasa #200		391.74	100.0		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**
0.00		N/A
% de Arena:	**D30(mm):**	
0.05		**Cc**
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A
99.95		

% Límite Líquido	**57**
% Límite Plástico	**23**
% Indice de Plasticidad	**33**

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(38)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (AT-MI-28).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

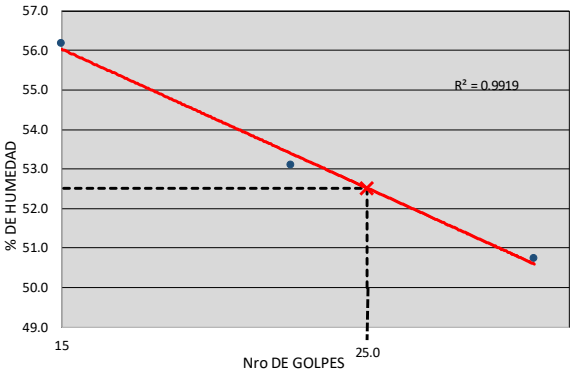
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-28	**SONDEO No.**	**15**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.80**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	22	15
Masa humeda + Tara, g	33.74	36.05	35.15
Masa seca + Tara, g	29.97	31.53	31.06
Masa de Tara, g	22.54	23.02	23.78
Masa del agua, g	3.77	4.52	4.09
Masa seca, g	7.43	8.51	7.28
Humedad, (%)	**50.74**	**53.11**	**56.18**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	29.65	27.60	769.36
Masa seca + Tara, g	28.22	26.18	614.78
Masa de Tara, g	23.26	21.15	159.11
Masa del agua, g	1.43	1.42	154.58
Masa seca, g	4.96	5.03	455.67
Humedad, (%)	**28.83**	**28.23**	**33.92**

CURVA DE FLUIDEZ

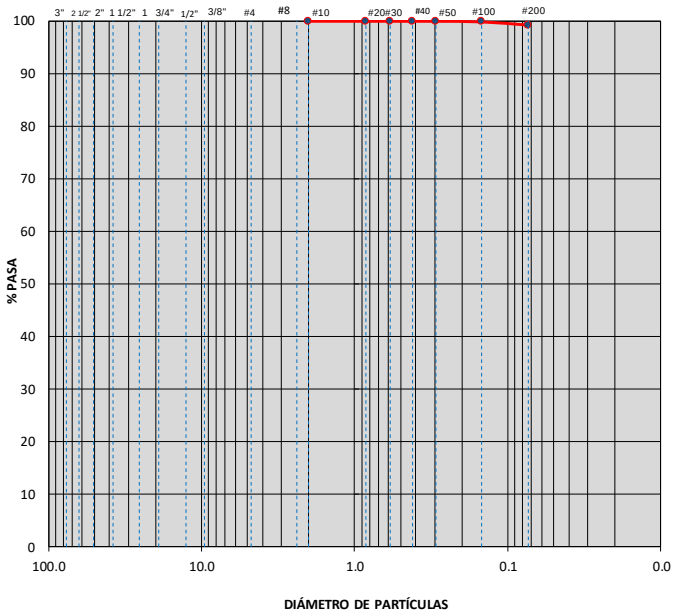


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	610.25	Masa seca Total antes del lavado, g	**455.67**
Masa seca después de lavar (g)	4.09		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.03	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.05	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.60	0.1	0.1	99.9
#200	0.074	3.31	0.7	0.9	99.1
Pasa #200		451.68	99.1		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**53**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**29**
0.88		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**24**
99.12				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(29)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (AT-MI-29).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

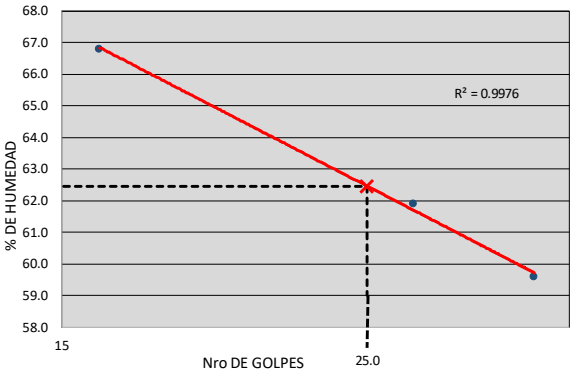
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-29	**SONDEO No.**	**15**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.80**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	27	16
Masa humeda + Tara, g	35.27	33.37	33.40
Masa seca + Tara, g	31.26	28.87	29.46
Masa de Tara, g	24.53	21.60	23.56
Masa del agua, g	4.01	4.50	3.94
Masa seca, g	6.73	7.27	5.90
Humedad, (%)	**59.58**	**61.90**	**66.78**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	30.94	29.31	733.60
Masa seca + Tara, g	29.29	27.78	555.90
Masa de Tara, g	23.94	22.71	108.11
Masa del agua, g	1.65	1.53	177.70
Masa seca, g	5.35	5.07	447.79
Humedad, (%)	**30.84**	**30.18**	**39.68**

CURVA DE FLUIDEZ

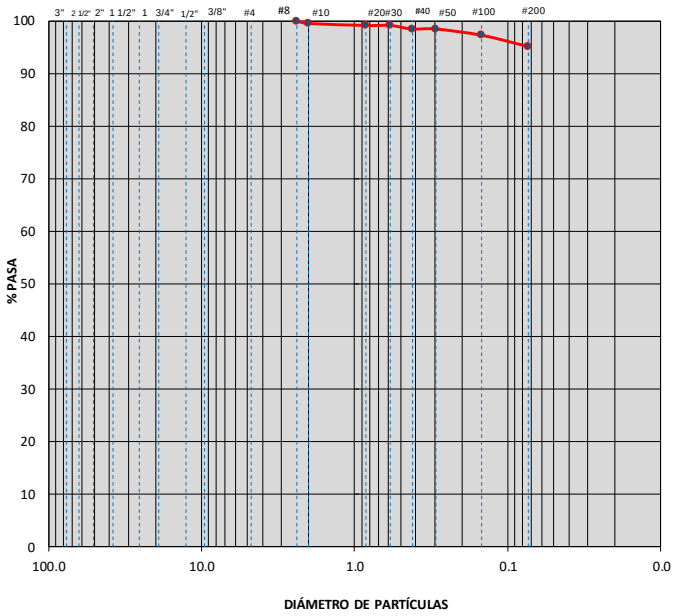


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	625.49	Masa seca Total antes del lavado, g	**447.79**
Masa seca después de lavar (g)	22.17		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	1.98	0.4	0.4	99.6
#20	0.841	1.70	0.4	0.8	99.2
#30	0.590		0.0	0.8	99.2
#40	0.420	3.11	0.7	1.5	98.5
#50	0.297		0.0	1.5	98.5
#100	0.149	5.45	1.2	2.7	97.3
#200	0.074	9.83	2.2	4.9	95.1
Pasa #200		425.72	95.1		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**62**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**31**
4.93		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**32**
95.07				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-5(36)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (AT-MI-30).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

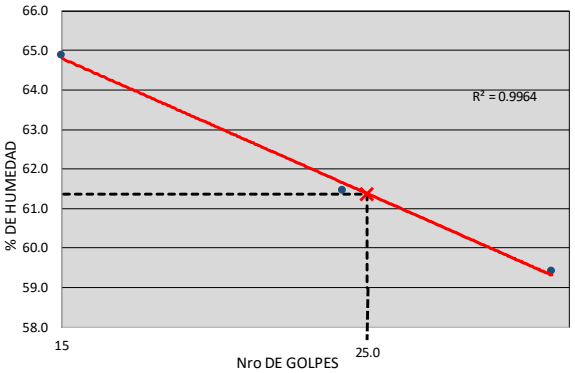
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-30	**SONDEO No.**	**16**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.80**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CON BAJO CONTENIDO DE ARENA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	24	15
Masa humeda + Tara, g	34.74	36.01	34.25
Masa seca + Tara, g	30.20	31.13	29.76
Masa de Tara, g	22.56	23.19	22.84
Masa del agua, g	4.54	4.88	4.49
Masa seca, g	7.64	7.94	6.92
Humedad, (%)	**59.42**	**61.46**	**64.88**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	28.84	30.96	720.34
Masa seca + Tara, g	27.43	29.39	544.89
Masa de Tara, g	22.94	24.30	107.42
Masa del agua, g	1.41	1.57	175.45
Masa seca, g	4.49	5.09	437.47
Humedad, (%)	**31.40**	**30.84**	**40.11**

CURVA DE FLUIDEZ

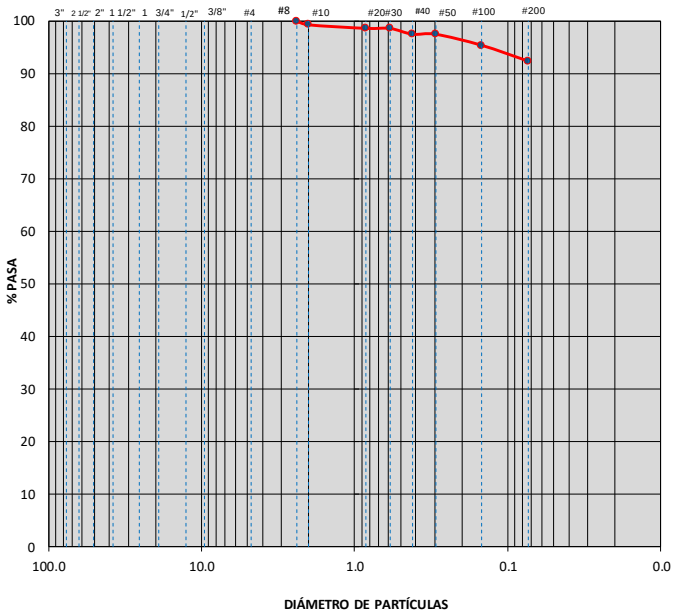


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	612.92	Masa seca Total antes del lavado, g		**437.47**
Masa seca después de lavar (g)	33.58			

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	3.03	0.7	0.7	99.3
#20	0.841	2.97	0.7	1.4	98.6
#30	0.590		0.0	1.4	98.6
#40	0.420	4.91	1.1	2.5	97.5
#50	0.297		0.0	2.5	97.5
#100	0.149	9.28	2.1	4.6	95.4
#200	0.074	13.29	3.0	7.7	92.3
Pasa #200		403.99	92.3		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**61**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**31**
7.65		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**30**
92.35				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-5(33)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (AT-MI-31).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

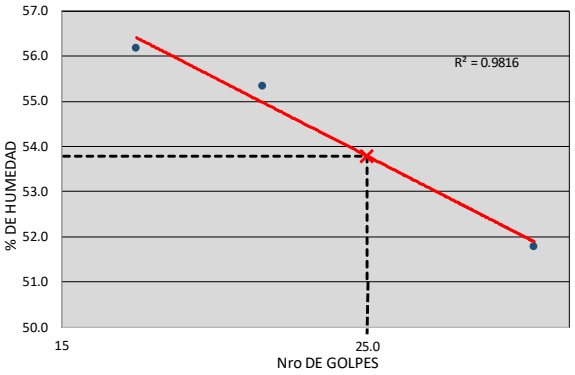
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-31	**SONDEO No.**	**16**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**1.80**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	33	21	17
Masa humeda + Tara, g	34.18	34.70	33.95
Masa seca + Tara, g	30.40	30.39	29.76
Masa de Tara, g	23.10	22.60	22.30
Masa del agua, g	3.78	4.31	4.19
Masa seca, g	7.30	7.79	7.46
Humedad, (%)	**51.78**	**55.33**	**56.17**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	28.51	31.34	663.19
Masa seca + Tara, g	27.30	29.87	531.04
Masa de Tara, g	22.90	24.53	151.51
Masa del agua, g	1.21	1.47	132.15
Masa seca, g	4.40	5.34	379.53
Humedad, (%)	**27.50**	**27.53**	**34.82**

CURVA DE FLUIDEZ

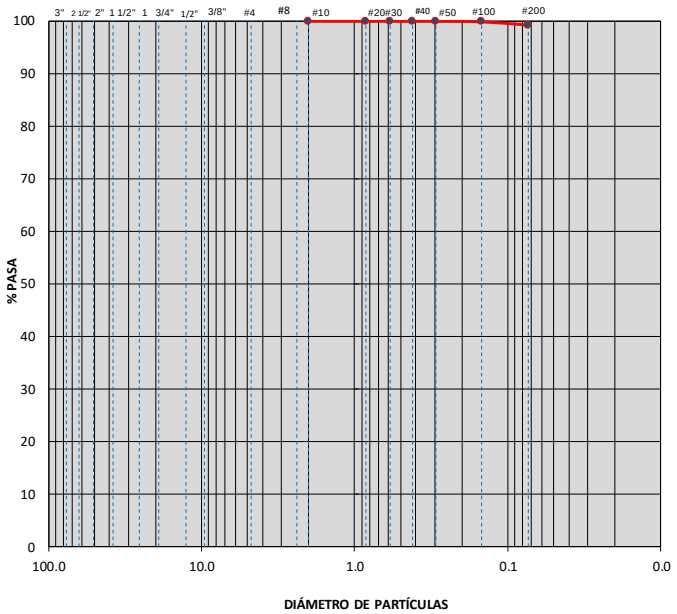


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	511.68	Masa seca Total antes del lavado, g	**379.53**
Masa seca después de lavar (g)	3.19		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.0
#20	0.841	0.02	0.0	0.0	100.0
#30	0.590		0.0	0.0	100.0
#40	0.420	0.03	0.0	0.0	100.0
#50	0.297		0.0	0.0	100.0
#100	0.149	0.39	0.1	0.1	99.9
#200	0.074	2.65	0.7	0.8	99.2
Pasa #200		376.44	99.2		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**54**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**28**
0.81		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**26**
99.19				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-6(31)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos de caracterización del suelo (AT-MI-32).

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO. DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS. DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, CLASIFICACIÓN AASHTO Y SUCS	CÓDIGO	FPR-FIC-01
	FECHA	01/08/2025
	REVISIÓN	A
	PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D 4318 - ASTM D 2216 - ASTM D 422

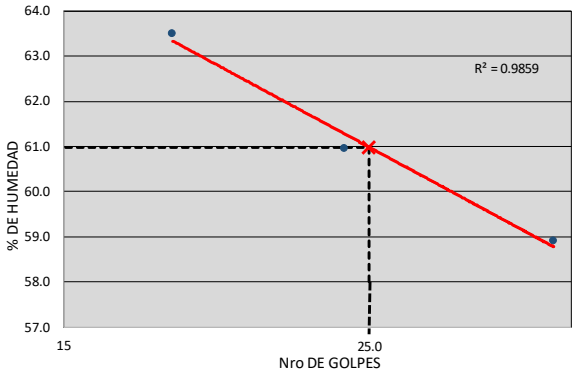
ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-32	**SONDEO No.**	**17**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD, m**	**2.80**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)		

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS, METODO A - ASTM D 4318

Numero de golpes	34	24	18
Masa humeda + Tara, g	33.92	34.16	33.42
Masa seca + Tara, g	29.56	29.71	29.40
Masa de Tara, g	22.16	22.41	23.07
Masa del agua, g	4.36	4.45	4.02
Masa seca, g	7.40	7.30	6.33
Humedad, (%)	**58.92**	**60.96**	**63.51**

LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318			**HUMEDAD ASTM D 2216**
Masa humeda + Tara, g	30.18	31.52	725.49
Masa seca + Tara, g	28.38	29.56	552.89
Masa de Tara, g	22.54	23.16	106.47
Masa del agua, g	1.80	1.96	172.60
Masa seca, g	5.84	6.40	446.42
Humedad, (%)	**30.82**	**30.63**	**38.66**

CURVA DE FLUIDEZ

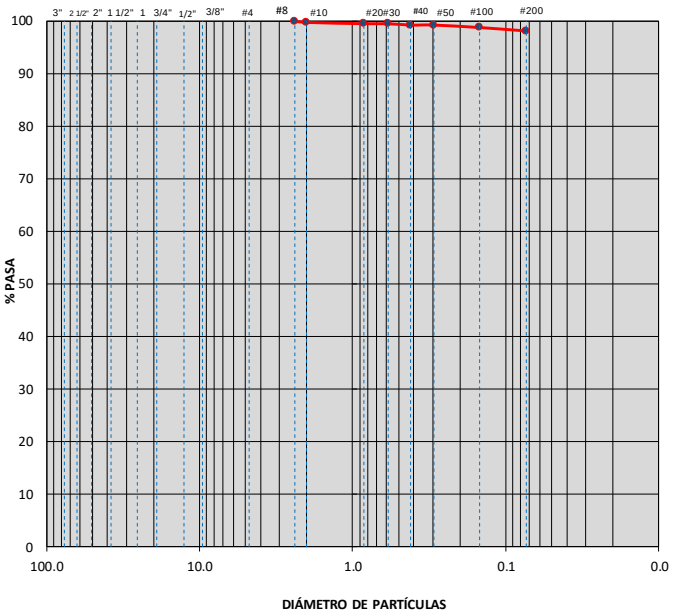


ANÁLISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 (MÉTODO POR TAMIZADO)

Masa húmeda total antes del lavado, g	619.02	Masa seca Total antes del lavado, g	**446.42**
Masa seca después de lavar (g)	8.74		

Tamiz (Pulg.)	Tamiz (mm)	Peso Ret (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.200		0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500		0.0	0.0	100.0
2"	50.800		0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0
1"	25.400		0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000		0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700		0.0	0.0	100.0
3/8"	9.510		0.0	0.0	100.0
#4	4.760		0.0	0.0	100.0
#8	2.380		0.0	0.0	100.0
#10	2.000	1.06	0.2	0.2	99.8
#20	0.841	1.14	0.3	0.5	99.5
#30	0.590		0.0	0.5	99.5
#40	0.420	1.20	0.3	0.8	99.2
#50	0.297		0.0	0.8	99.2
#100	0.149	2.20	0.5	1.3	98.7
#200	0.074	3.04	0.7	1.9	98.1
Pasa #200		18.00	4.0		

CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA



RESULTADOS

% de Gravas:	**D60(mm):**	**Cu**	**% Límite Líquido**	**61**
0.00		N/A		
% de Arena:	**D30(mm):**		**% Límite Plástico**	**31**
1.94		**Cc**		
% de Finos:	**D10 mm (diámetro efectivo):**	N/A	**% Indice de Plasticidad**	**30**
98.06				

CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO

CLASIFICACIÓN AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION)	**A-7-5(36)**
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S.	**CH**

OBSERVACIONES:

Anexo N°04: Ensayos de laboratorio – propiedades índice del suelo

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-01).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	FECHA:	13/10/2025
ATENCIÓN	VS-MI-01	SONDEO No.	1
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	MUESTRA No	INALTERADA
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	PROFUNDIDAD m	1.5
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-1
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	63.29 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	47.54 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	**15.75 g**
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.25
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	**26.29 g**
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	**59.91**
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	27.50
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.88
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	**13.62**
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	**51.81**
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	**8.10**
13	RELACION DE CONTRACCION		**1.89**

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-15
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	168.49 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	68.84 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	**0.99926 gr/mL**
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_p)	**99.72 mL**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	**0.99910 gr/mL**
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	**168.47 g**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	54.85 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	202.47 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	**1.00090**
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	**2.63**
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	**2.63**

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (*W*%)	**17.86 %**
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	221.66 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	230.65 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	106.78 g
6	DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)	**0.87 gr/cm3**
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	**10.33 cm3**
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	**1.952 gr/cm3**
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	**19.15 KN/m3**
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	**16.24 KN/m3**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-02).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**14/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-02	**SONDEO No.**	**1**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-3
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.90 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.36 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.54 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.7
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.66 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	60.56
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.58
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.75
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.83
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	50.01
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	10.55
13	RELACION DE CONTRACCION		1.87

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-9
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	78.20 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	28.34 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.90 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	78.19 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	34.16 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	99.51 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.66
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.66

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	30.69 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	144.21 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	148.41 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	66.84 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	4.83 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.879 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.43 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.10 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-03).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-03	**SONDEO No.**	**2**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-6
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.12 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	44.79 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	16.33 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.61
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	24.18 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	67.54
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.48
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	12.69
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.79
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	57.03
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	10.50
13	RELACION DE CONTRACCION		1.91

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-22
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	87.95 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.21 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.78 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	87.94 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	29.61 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	106.37 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.65
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.65

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***w*** %)	32.65 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	116.91 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	118.62 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	56.84 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	1.97 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.955 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.17 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.45 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-04).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**14/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-04	**SONDEO No.**	**2**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-1
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	64.59 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	47.23 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	17.36 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.25
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.98 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	66.82
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	27.50
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.64
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.86
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	53.35
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	13.47
13	RELACION DE CONTRACCION		1.90

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-20
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	88.35 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.51 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.88 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	88.34 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	19.54 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	100.42 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.62
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.62

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***w*** %)	26.48 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	200.46 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	205.41 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	97.22 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	5.69 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.956 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.18 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	15.16 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-05).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-05	**SONDEO No.**	**3**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	**DATOS**		
1	NUMERO DE VASIJA		c-1
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.43 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	47.16 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	**14.27 g**
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.25
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	**25.91 g**
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	**55.08**
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	27.50
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	15.68
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	**11.82**
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	**45.62**
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	**9.46**
13	RELACION DE CONTRACCION		**1.65**

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	**DATOS**	
	Nº DE FIOLA	**F-15**
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	168.49 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	68.84 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	**0.99926 gr/mL**
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_p)	**99.72 mL**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	**0.99910 gr/mL**
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	**168.47 g**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	36.07 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	190.93 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	**1.00090**
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	**2.65**
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	**2.65**

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	**DATOS**	**ENSAYOS**
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (*W* %)	**31.96 %**
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	160.57 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	166.14 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	77.15 g
6	DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)	**0.87 gr/cm3**
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	**6.40 cm3**
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	**1.944 gr/cm3**
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	**19.07 KN/m3**
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	**14.45 KN/m3**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-06).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-06	**SONDEO No.**	**3**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-4
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.52 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.65 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	14.87 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.4
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.25 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	58.89
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.01
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.42
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.59
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	49.86
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	9.03
13	RELACION DE CONTRACCION		1.88

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-9
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	78.20 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	28.34 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.90 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	78.19 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	26.07 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	94.29 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.61
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.62

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (*w* %)	33.03 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	138.10 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	142.02 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	67.23 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	4.51 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.965 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.27 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.49 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-07).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-07	**SONDEO No.**	**4**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-4
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.34 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.44 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.90 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.4
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	24.04 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	66.14
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.01
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	12.54
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.47
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	56.03
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	10.11
13	RELACION DE CONTRACCION		1.92

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-20
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	88.35 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.51 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.88 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	88.34 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	33.92 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	109.31 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.62
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.62

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***w*** %)	33.40 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	180.79 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	186.30 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	86.76 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	6.33 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.940 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.02 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.26 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-08).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	FECHA:	15/10/2025
ATENCIÓN	VS-MI-08	SONDEO No.	4
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	MUESTRA No	INALTERADA
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	PROFUNDIDAD m	2.5
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCIÓN

ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-6
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.28 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.74 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	**15.54 g**
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.61
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	**25.13 g**
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	**61.84**
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.48
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	14.02
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	**12.46**
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	**49.57**
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	**12.27**
13	RELACION DE CONTRACCION		**1.79**

GRAVEDAD ESPECIFICA

ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-20
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	88.35 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.51 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	**0.99926 gr/mL**
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_p)	**49.88 mL**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	**0.99910 gr/mL**
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	**88.34 g**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	28.16 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	105.79 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	**1.00090**
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	**2.63**
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	**2.63**

PESO UNITARIO PARAFINADO

ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (*W*%)	**33.80 %**
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	210.54 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	214.69 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	105.16 g
6	DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)	**0.87 gr/cm3**
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	**4.77 cm3**
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	**2.010 gr/cm3**
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	**19.71 KN/m3**
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	**14.73 KN/m3**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-09).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**14/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-09	**SONDEO No.**	**5**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	**DATOS**		
1	NUMERO DE VASIJA		c-3
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	62.25 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.59 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	**16.66 g**
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.7
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	**24.89 g**
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	**66.93**
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.58
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	12.87
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	**13.71**
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	**55.07**
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	**11.86**
13	RELACION DE CONTRACCION		**1.93**

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	**DATOS**	
	Nº DE FIOLA	**F-22**
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	87.95 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.21 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	**0.99926 gr/mL**
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_p)	**49.78 mL**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	**0.99910 gr/mL**
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	**87.94 g**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	22.59 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	101.93 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	**1.00090**
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	**2.63**
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	**2.63**

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	**DATOS**	**ENSAYOS**
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (*W*%)	**29.81 %**
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	180.14 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	184.10 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	87.21 g
6	DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)	**0.87 gr/cm3**
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	**4.55 cm3**
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	**1.951 gr/cm3**
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	**19.13 KN/m3**
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	**14.74 KN/m3**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-10).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-10	**SONDEO No.**	**5**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION

ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-6
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.36 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.74 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.62 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.61
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.13 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	62.16
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.48
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.18
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.30
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	52.92
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	9.24
13	RELACION DE CONTRACCION		1.91

GRAVEDAD ESPECIFICA

ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-22
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	87.95 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.21 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.78 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	87.94 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	32.76 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	108.42 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.67
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.67

PESO UNITARIO PARAFINADO

ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (*w* %)	24.82 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	220.07 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	225.29 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	109.00 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	6.00 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.995 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.57 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	15.68 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-11).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-11	**SONDEO No.**	**6**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-4
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.76 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.46 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.30 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.4
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.06 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	61.05
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.01
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.30
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.71
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	50.73
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	10.33
13	RELACION DE CONTRACCION		1.88

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-15
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	168.49 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	68.84 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	99.72 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	168.47 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	37.16 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	191.57 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.64
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.64

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (*w* %)	30.14 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	160.92 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	164.98 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	78.79 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	4.67 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.974 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.36 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.87 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-12).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-12	**SONDEO No.**	**6**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-1
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.52 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.25 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.27 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.25
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.00 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	61.08
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	27.50
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	14.85
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.65
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	50.60
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	10.48
13	RELACION DE CONTRACCION		1.68

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-20
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	88.35 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.51 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.88 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	88.34 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	28.18 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	105.89 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.65
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.65

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	32.17 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	175.44 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	178.19 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	85.01 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	3.16 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.949 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.11 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.46 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-13).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-13	**SONDEO No.**	**7**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-3
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	62.03 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.27 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	16.76 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.7
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	24.57 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	68.21
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.58
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	12.92
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.66
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	55.61
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	12.61
13	RELACION DE CONTRACCION		1.90

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-9
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	78.20 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	28.34 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.90 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	78.19 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	23.76 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	93.04 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.67
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.67

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***w*** %)	25.66 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	184.13 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	187.27 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	90.49 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	3.61 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.976 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.38 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	15.42 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-14).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-14	**SONDEO No.**	**7**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-1
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	62.71 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.33 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	16.38 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.25
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.08 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	65.31
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	27.50
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	14.03
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.47
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	53.71
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	11.60
13	RELACION DE CONTRACCION		1.79

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-15
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	168.49 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	68.84 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	99.72 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	168.47 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	38.26 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	192.34 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.66
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.66

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	31.72 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	267.22 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	274.47 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	129.78 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	8.33 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.960 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.22 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.59 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-15).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-15	**SONDEO No.**	**8**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-6
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.82 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.10 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.72 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.61
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.49 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	61.67
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.48
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.79
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.69
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	49.79
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	11.88
13	RELACION DE CONTRACCION		1.85

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-22
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	87.95 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.21 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.78 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	87.94 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	23.71 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	102.78 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.67
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.67

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***w*** %)	24.53 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	182.34 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	186.13 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	86.52 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	4.36 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.914 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.77 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	15.07 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-16).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-16	**SONDEO No.**	**8**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-3
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	62.09 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	44.96 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	17.13 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.7
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	24.26 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	70.61
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.58
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	12.56
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	14.02
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	57.80
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	12.81
13	RELACION DE CONTRACCION		1.93

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-9
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	78.20 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	28.34 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.90 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	78.19 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	26.45 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	94.67 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.65
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.65

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	33.17 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	196.78 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	199.56 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	97.21 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	3.20 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.985 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.46 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.61 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-17).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-17	**SONDEO No.**	**9**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-4
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.79 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.22 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.57 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.4
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	24.82 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	62.73
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.01
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.28
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.73
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	51.29
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	11.44
13	RELACION DE CONTRACCION		1.87

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-15
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	168.49 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	68.84 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	99.72 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	168.47 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	34.80 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	190.05 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.63
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.63

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***w*** %)	21.18 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	215.40 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	219.46 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	98.26 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	4.67 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.848 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.13 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.96 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-18).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-18	**SONDEO No.**	**9**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-3
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.82 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.56 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	16.26 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.7
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	24.86 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	65.41
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.58
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	12.92
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.66
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	54.94
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	10.47
13	RELACION DE CONTRACCION		1.92

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-9
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	78.20 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	28.34 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.90 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	78.19 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	17.19 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	88.92 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.66
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.66

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	32.29 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	141.15 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	143.08 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	67.02 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	2.22 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.912 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.75 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.17 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (VS-MI-19).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**15/10/2025**
ATENCIÓN	VS-MI-19	**SONDEO No.**	**10**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-3
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	60.94 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	44.78 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	16.16 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.7
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	24.08 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	67.11
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.58
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.12
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.46
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	55.89
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	11.22
13	RELACION DE CONTRACCION		1.84

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-9
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	78.20 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	28.34 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.90 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	78.19 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	26.04 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	94.35 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.64
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.64

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	31.10 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	244.62 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	252.35 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	118.54 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	8.89 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.958 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	19.20 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.65 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (HU-MI-20).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**18/10/2025**
ATENCIÓN	HU-MI-20	**SONDEO No.**	**11**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.8**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-1
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	64.40 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	48.83 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.57 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.25
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	27.58 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	56.45
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	27.50
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	15.25
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.25
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	44.41
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	12.04
13	RELACION DE CONTRACCION		1.81

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-15
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	168.49 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	68.84 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	99.72 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	168.47 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	40.01 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	193.27 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.63
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.63

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	30.14 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	130.31 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	131.28 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	60.42 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	1.11 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.868 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.32 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.08 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (HU-MI-21).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**20/10/2025**
ATENCIÓN	HU-M1-21	**SONDEO No.**	**11**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.8**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-4
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.40 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.17 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.23 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.4
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	24.77 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	61.49
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.01
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	14.03
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	11.98
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	48.37
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	13.12
13	RELACION DE CONTRACCION		1.77

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-20
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	88.35 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.51 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.88 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	88.34 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	31.13 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	107.53 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.61
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.61

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***w*** %)	53.12 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	148.52 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	149.69 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	63.04 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	1.34 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.741 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	17.07 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	11.15 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (HU-MI-22).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	FECHA:	20/10/2025
ATENCIÓN	HU-M1-22	SONDEO No.	12
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	MUESTRA No	INALTERADA
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	PROFUNDIDAD m	1.5
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

LÍMITE DE CONTRACCION

ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-4
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	60.98 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.58 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	**15.40 g**
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.4
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	**24.18 g**
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	**63.69**
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.01
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.92
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	**12.09**
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	**50.00**
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	**13.69**
13	RELACION DE CONTRACCION		**1.74**

GRAVEDAD ESPECIFICA

ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-20
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	88.35 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.51 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	**0.99926 gr/mL**
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_p)	**49.88 mL**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	**0.99910 gr/mL**
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	**88.34 g**
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	28.57 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	105.99 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	**1.00090**
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	**2.62**
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	**2.62**

PESO UNITARIO PARAFINADO

ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (*W* %)	**33.25 %**
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	243.65 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	250.32 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	112.59 g
6	DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)	**0.87 gr/cm3**
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	**7.67 cm3**
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	**1.873 gr/cm3**
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	**18.37 KN/m3**
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	**13.79 KN/m3**

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (HU-MI-23).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**20/10/2025**
ATENCIÓN	HU-MI-23	**SONDEO No.**	**12**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY-LUCRE-CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-4
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.07 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.36 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.71 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.4
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	23.96 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	65.57
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.01
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.76
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.25
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	51.11
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	14.45
13	RELACION DE CONTRACCION		1.74

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-15
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	168.49 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	68.84 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	99.72 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	168.47 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	50.55 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	199.87 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.64
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.64

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***w*** %)	30.29 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	229.20 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	233.11 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	106.75 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	4.49 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.881 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.44 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.16 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (HU-MI-24).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**18/10/2025**
ATENCIÓN	HU-MI-24	**SONDEO No.**	**13**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.8**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIAL ORGANICO MÍNIMO)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-3
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.50 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.21 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.29 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.7
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.51 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	59.94
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.58
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	14.15
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.43
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	48.72
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	11.22
13	RELACION DE CONTRACCION		1.80

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-9
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	78.20 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	28.34 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.90 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	78.19 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	32.34 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	98.30 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.64
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.65

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	31.62 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	99.82 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	100.07 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	47.69 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	0.29 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.916 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.79 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.28 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (HU-MI-25).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**18/10/2025**
ATENCIÓN	HU-MI-25	**SONDEO No.**	**13**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.8**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR PLOMO OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-6
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.29 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.05 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	16.24 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.61
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	24.44 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	66.45
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.48
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.41
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.07
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	53.46
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	12.99
13	RELACION DE CONTRACCION		1.82

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-22
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	87.95 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.21 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.78 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	87.94 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	30.80 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	106.98 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.62
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.62

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***w*** %)	49.77 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	155.15 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	155.82 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	66.53 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	0.77 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.753 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	17.19 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	11.48 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (HU-MI-26).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**18/10/2025**
ATENCIÓN	HU-M1-26	**SONDEO No.**	**14**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-6
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	60.98 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	45.61 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.37 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.61
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.00 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	61.48
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.48
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.96
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.52
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	50.07
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	11.41
13	RELACION DE CONTRACCION		1.79

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-22
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	87.95 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.21 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.78 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	87.94 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	27.69 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	105.16 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.64
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.65

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	32.77 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	216.89 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	221.40 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	102.29 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	5.18 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.904 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.67 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.06 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (HU-MI-27).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**20/10/2025**
ATENCIÓN	HU-M1-27	**SONDEO No.**	**14**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.5**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-6
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	60.55 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	44.57 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.98 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.61
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	23.96 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	66.69
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.48
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.56
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.92
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	53.93
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	12.76
13	RELACION DE CONTRACCION		1.77

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-22
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	87.95 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.21 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.78 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	87.94 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	35.08 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	109.69 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.63
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.63

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	30.94 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	151.51 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	155.38 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	71.62 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	4.45 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.910 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.73 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	14.31 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (AT-MI-28).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-28	**SONDEO No.**	**15**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.8**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-4
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	62.71 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.71 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	16.00 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.4
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.31 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	63.22
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.01
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	14.42
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	11.59
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	45.81
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	17.41
13	RELACION DE CONTRACCION		1.76

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-20
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	88.35 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.51 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.88 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	88.34 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	30.56 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	107.25 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.62
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.63

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (*w* %)	33.92 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	121.17 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	125.40 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	51.44 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	4.86 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.754 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	17.20 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	12.84 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (AT-MI-29).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-29	**SONDEO No.**	**15**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.8**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-1
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	64.52 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	47.24 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	17.28 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	21.25
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.99 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	66.49
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	27.50
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	14.39
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.11
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	50.45
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	16.03
13	RELACION DE CONTRACCION		1.81

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-15
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	168.49 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	68.84 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	99.72 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	168.47 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	37.90 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	192.03 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.64
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.64

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	39.68 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	87.03 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	89.39 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	37.70 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	2.71 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.777 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	17.43 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	12.48 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (AT-MI-30).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-30	**SONDEO No.**	**16**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.8**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CON BAJO CONTENIDO DE ARENA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-3
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.20 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	44.62 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	16.58 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.7
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	23.92 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	69.31
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.58
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	13.25
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.33
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	55.73
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	13.58
13	RELACION DE CONTRACCION		1.81

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-9
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	78.20 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	28.34 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.90 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	78.19 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	25.53 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	94.10 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.65
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.66

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	40.11 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	71.78 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	73.51 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	33.79 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	1.99 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.902 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	18.66 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	13.32 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (AT-MI-31).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-31	**SONDEO No.**	**16**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**1.8**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

LÍMITE DE CONTRACCION			
ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-6
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	61.81 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.09 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	15.72 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.61
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.48 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	61.70
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.48
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	14.43
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	12.05
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	47.30
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	14.39
13	RELACION DE CONTRACCION		1.77

GRAVEDAD ESPECIFICA		
ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-22
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	87.95 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	38.21 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.78 mL
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	87.94 g
MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO		
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	29.45 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	106.13 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.61
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.62

PESO UNITARIO PARAFINADO		
ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	34.82 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	111.00 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	112.90 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	47.54 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	2.18 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.757 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	17.23 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	12.78 KN/m3

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayos específicos del suelo (AT-MI-32).

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN - GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO PARAFINADO DE SUELOS	CÓDIGO	FPR-FIC-02
		FECHA	01/08/2025
		REVISIÓN	A
		PÁGINA 1 DE 1	

ASTM D-4943 - ASTM-D854 - ASTM-D7263

ALUMNO	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**FECHA:**	**21/10/2025**
ATENCIÓN	AT-MI-32	**SONDEO No.**	**17**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**MUESTRA No**	**INALTERADA**
LOCALIZACIÓN	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**PROFUNDIDAD m**	**2.8**
DESCRIPCIÓN:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)		

LÍMITE DE CONTRACCION

ITEM	DATOS		
1	NUMERO DE VASIJA		c-3
2	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO HUMEDO (Mh)	(g)	64.32 g
3	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION + MASA SUELO SECO (Ms)	(g)	46.48 g
4	MASA DEL AGUA CONTENIDA	(g)	17.84 g
5	MASA DE VASIJA DE CONTRACCION	(g)	20.7
6	MASA DEL SUELO SECO ,(Wo)	(g)	25.78 g
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	(%)	69.20
8	VOLUMEN DE VASIJA DE CONTRACCION, (v)	(Cm3)	26.58
9	VOLUMEN DE LA TORTA DEL SUELO SECO, (Vo)	(Cm3)	12.81
10	VOLUMEN CONTRAIDO (V - Vo)	(Cm3)	13.77
11	VOLUMEN DE CONTRACCION	(%)	53.43
12	LIMITE DE CONTRACCION (7 - 11)	(%)	15.77
13	RELACION DE CONTRACCION		2.01

GRAVEDAD ESPECIFICA

ITEM	DATOS	
	Nº DE FIOLA	F-9
1	MASA DE LA FIOLA + AGUA (Mpw,c)	78.20 g
2	MASA PROMEDIO DE LA FIOLA (Mp)	28.34 g
3	TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN (°C)	14.0 °
4	DENSIDAD DEL AGUA CALIBRACIÓN ($P_{w,c}$)	0.99926 gr/mL
5	VOLUMEN CALIBRADO (V_P)	49.90 mL
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
1	TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	15.0 °
2	DENSIDAD DEL AGUA ENSAYO ($P_{w,t}$)	0.99910 gr/mL
3	MASA DE LA FIOLA + AGUA (MPw,t)	78.19 g
	MASA DE LA FIOLA Y AGUA A LA TEMPERATURA DEL ENSAYO	
4	MASA DEL SUELO SECO (Ms)	26.03 g
5	MASA DE LA FIOLA+AGUA+SUELO (Mpws,t)	94.38 g
6	FACTOR DE CORRECCIÓN K @20°C	1.00090
7	PESO ESPECÍFICO DE LOS SOLIDOS (Gt)	2.64
8	GRAVEDAD ESPECIFICA (G_s)	2.65

PESO UNITARIO PARAFINADO

ITEM	DATOS	ENSAYOS
1	CONTENIDO DE HUMEDAD (***W*** %)	38.66 %
2	MASA DEL SUELO HUMEDO (Ws)	98.09 g
3	MASA DEL SUELO + PARAFINA AL AIRE (Ws+Wp)	99.86 g
4	MASA SUMERGIDO DE MUESTRA PARAFINADA	41.67 g
6	**DENSIDAD DE LA PARAFINA (ρ)**	0.87 gr/cm3
7	VOLÚMEN DE LA PARAFINA	2.03 cm3
8	DENSIDAD DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (g/cm3)	1.747 gr/cm3
9	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO HÚMEDA O ESTADO NATURAL (kN/m3)	17.13 KN/m3
10	PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE SUELO SECA CALCULADA (kN/m3)	12.35 KN/m3

OBSERVACIONES:

Anexo N°05: Ensayos de laboratorio – granulometría por sedimentación

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-01).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

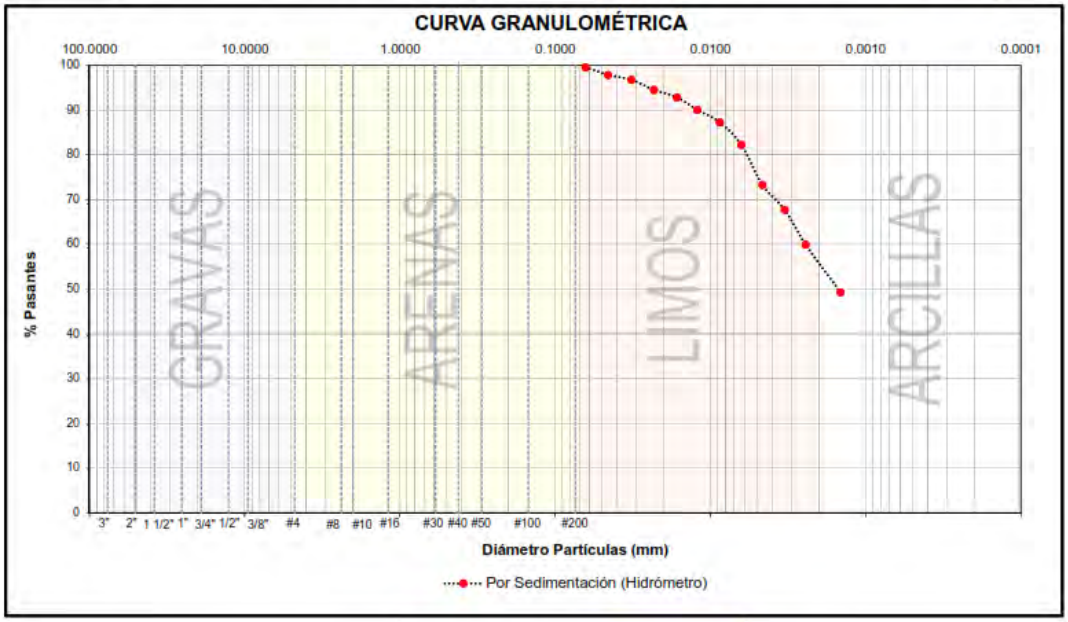
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPIRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	13/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	1
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-01
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.630			Factor de Corrección por Gravedad Especifica (a):			1.00

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R'+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de particulas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	54.25	0.33	-0.40	8.75	54.6	44.6	7.4	0.0636	14.8000	99.5
1	15.0	53.5	0.33	-0.40	8.75	53.8	43.8	7.6	0.0455	7.6000	97.8
2	15.0	53	0.33	-0.40	8.75	53.3	43.3	7.6	0.0322	3.8000	96.7
4	15.0	52	0.33	-0.40	8.75	52.3	42.3	7.8	0.0231	1.9500	94.5
8	15.0	51.25	0.33	-0.40	8.75	51.6	41.6	7.9	0.0164	0.9875	92.8
15	15.0	50	0.33	-0.40	8.75	50.3	40.3	8.1	0.0121	0.5400	90.0
30	15.0	48.75	0.33	-0.40	8.75	49.1	39.1	8.3	0.0087	0.2767	87.2
60	15.1	46.5	0.33	-0.40	8.75	46.8	36.8	8.8	0.0063	0.1467	82.2
120	15.3	42.5	0.33	-0.40	8.75	42.8	32.8	9.4	0.0046	0.0783	73.3
240	15.4	40	0.33	-0.39	8.75	40.3	30.3	9.7	0.0033	0.0404	67.7
480	15.5	36.5	0.33	-0.39	8.74	36.8	26.8	10.4	0.0024	0.0217	59.9
1440	15.0	31.75	0.33	-0.40	8.75	32.1	22.1	11.1	0.0015	0.0077	49.3

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	44.3 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	55.2 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-02).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

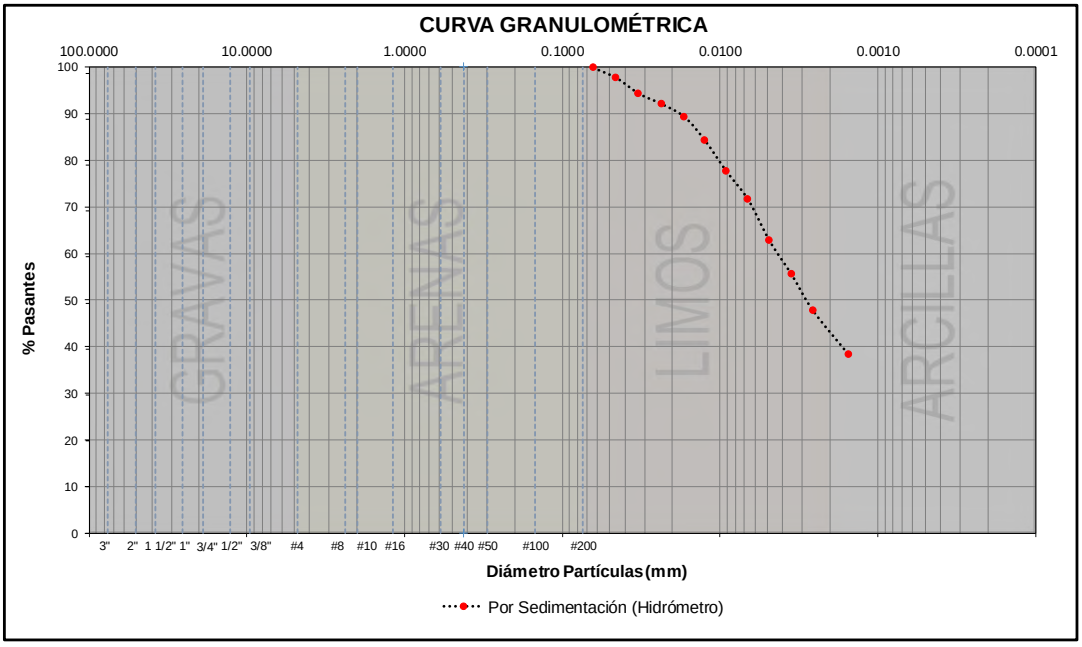
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	14/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	1
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-02
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.660			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	56.75	0.33	-0.40	8.75	57.1	45.0	7.0	0.0637	14.0000	99.8
1	15.0	55.75	0.33	-0.40	8.75	56.1	44.0	7.1	0.0454	7.1000	97.6
2	15.0	54.25	0.33	-0.40	8.75	54.6	42.5	7.4	0.0328	3.7000	94.2
4	15.0	53.25	0.33	-0.40	8.75	53.6	41.5	7.6	0.0235	1.9000	92.0
8	15.0	52	0.33	-0.40	8.75	52.3	40.3	7.8	0.0168	0.9750	89.3
15	15.0	49.75	0.33	-0.40	8.75	50.1	38.0	8.1	0.0125	0.5400	84.3
30	15.0	46.75	0.33	-0.40	8.75	47.1	35.0	8.6	0.0091	0.2867	77.6
60	15.2	44	0.33	-0.40	8.75	44.3	32.3	9.1	0.0066	0.1517	71.5
120	15.3	40	0.33	-0.40	8.75	40.3	28.3	9.7	0.0048	0.0808	62.7
240	15.4	36.75	0.33	-0.39	8.75	37.1	25.0	10.2	0.0035	0.0425	55.5
480	15.5	33.25	0.33	-0.39	8.74	33.6	21.5	10.9	0.0026	0.0227	47.7
1440	15.0	29	0.33	-0.40	8.75	29.3	17.3	11.5	0.0015	0.0080	38.3

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	57.2 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	42.6 %



Actividad =	0.7

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-03).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

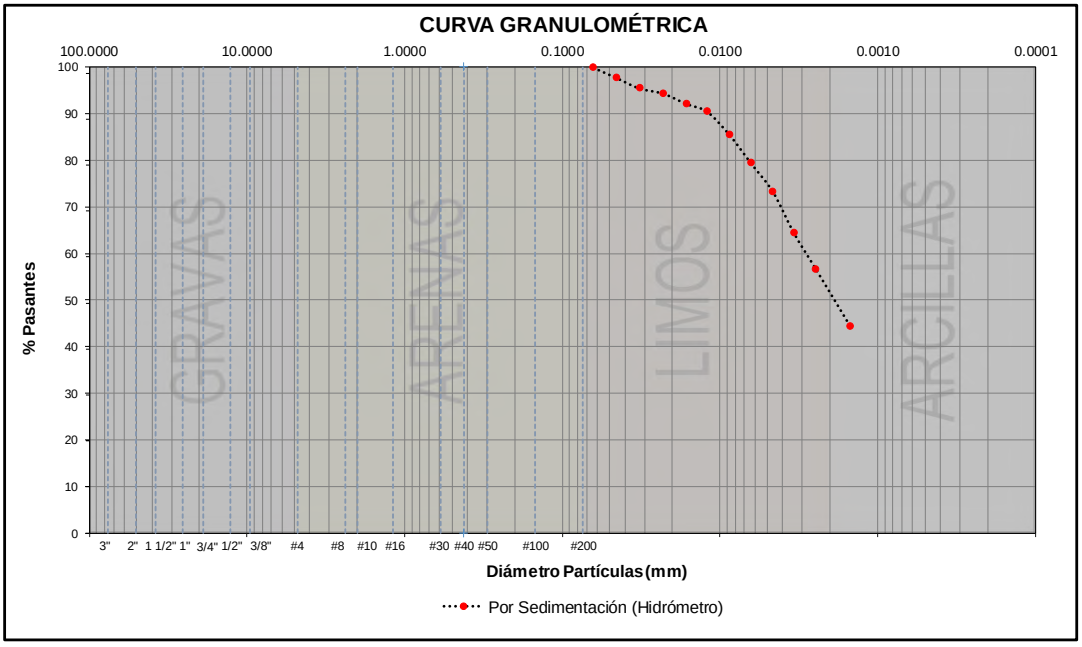
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	15/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	2
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-03
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.648			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):			1.00

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	57.5	0.33	-0.40	8.75	57.8	44.9	7.0	0.0630	14.0000	99.9
1	15.0	56.5	0.33	-0.40	8.75	56.8	43.9	7.1	0.0448	7.1000	97.6
2	15.0	55.5	0.33	-0.40	8.75	55.8	42.9	7.3	0.0322	3.6500	95.4
4	15.0	55	0.33	-0.40	8.75	55.3	42.4	7.3	0.0227	1.8250	94.3
8	15.1	54	0.33	-0.40	8.75	54.3	41.4	7.4	0.0162	0.9250	92.1
15	15.1	53.25	0.33	-0.40	8.75	53.6	40.7	7.6	0.0120	0.5067	90.4
30	15.2	51	0.33	-0.40	8.75	51.3	38.4	7.9	0.0086	0.2633	85.4
60	15.2	48.25	0.33	-0.40	8.75	48.6	35.7	8.4	0.0063	0.1400	79.3
120	15.4	45.5	0.33	-0.39	8.75	45.8	32.9	8.9	0.0046	0.0742	73.2
240	15.4	41.5	0.33	-0.39	8.75	41.8	28.9	9.6	0.0034	0.0400	64.3
480	15.5	38	0.33	-0.39	8.74	38.3	25.4	10.1	0.0024	0.0210	56.5
1440	15.0	32.5	0.33	-0.40	8.75	32.8	19.9	11.1	0.0015	0.0077	44.3

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	48.9 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	50.9 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-04).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

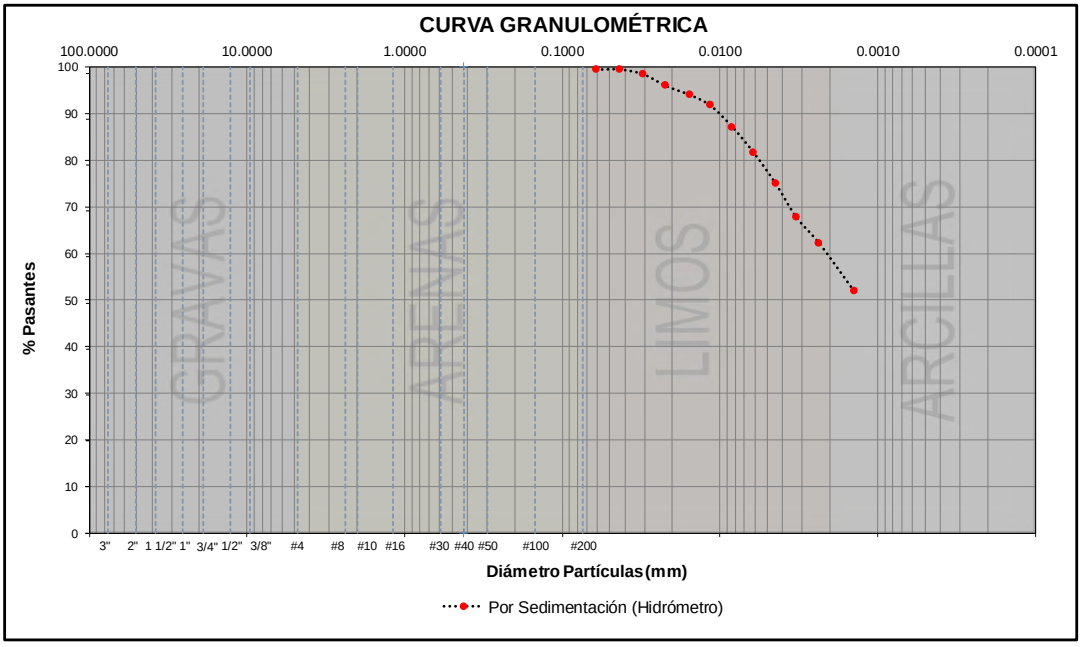
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	14/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	2
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-04
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	50.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.619			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):			1.01

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	13.7	60	0.33	-0.77	9.10	60.3	49.4	6.5	0.0610	13.0000	99.5
1	13.7	60	0.33	-0.77	9.10	60.3	49.4	6.5	0.0431	6.5000	99.5
2	13.7	59.5	0.33	-0.77	9.10	59.8	48.9	6.6	0.0307	3.3000	98.4
4	13.7	58.25	0.33	-0.77	9.10	58.6	47.6	6.8	0.0220	1.7000	95.9
8	13.3	58.25	0.33	-1.27	9.57	58.6	46.7	6.8	0.0156	0.8500	94.0
15	13.3	57	0.33	-1.20	9.50	57.3	45.5	7.0	0.0115	0.4667	91.7
30	13.1	55.25	0.33	-1.49	9.79	55.6	43.2	7.3	0.0083	0.2433	87.1
60	13.1	52.5	0.33	-1.49	9.79	52.8	40.5	7.8	0.0061	0.1300	81.5
120	13.1	49.25	0.33	-1.49	9.79	49.6	37.2	8.3	0.0044	0.0692	75.0
240	13.9	44	0.33	-0.63	8.97	44.3	33.6	9.1	0.0033	0.0379	67.8
480	14.1	41	0.33	-0.53	8.88	41.3	30.8	9.6	0.0023	0.0200	62.1
1440	14.0	36	0.33	-0.58	8.92	36.3	25.7	10.4	0.0014	0.0072	51.9

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	41.2 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	58.3 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-05).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/06/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

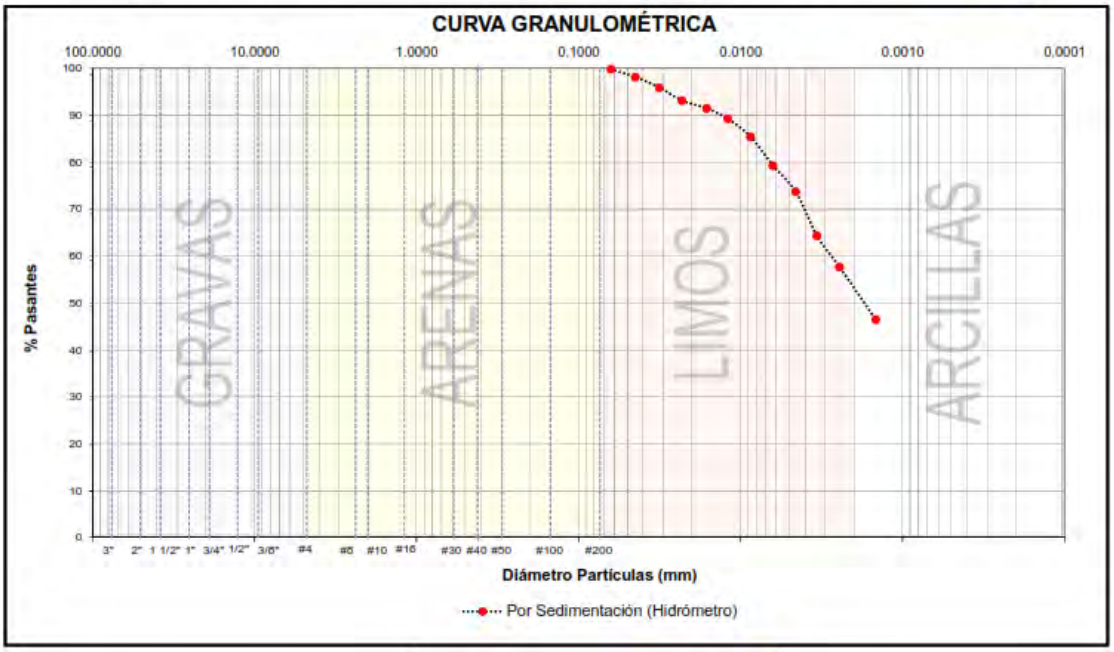
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACION CON LAS ECUACIONES EMPIRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	15/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	3
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-05
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MINIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PARTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.649			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Corrección Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R'+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Partículas	Velocidad de caida de la Partícula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.1	57.5	0.33	-0.40	8.75	57.8	44.9	7.0	0.0631	14.0000	99.8
1	15.1	56.75	0.33	-0.40	8.75	57.1	44.2	7.0	0.0446	7.0000	98.2
2	15.1	55.75	0.33	-0.40	8.75	56.1	43.2	7.1	0.0318	3.5500	95.9
4	15.1	54.5	0.33	-0.40	8.75	54.8	41.9	7.4	0.0229	1.8500	93.2
8	15.2	53.75	0.33	-0.40	8.75	54.1	41.2	7.4	0.0162	0.9250	91.5
15	15.2	52.75	0.33	-0.40	8.75	53.1	40.2	7.6	0.0120	0.5067	89.3
30	15.3	51	0.33	-0.40	8.75	51.3	38.4	7.9	0.0086	0.2633	85.4
60	15.3	48.25	0.33	-0.40	8.75	48.6	35.7	8.4	0.0063	0.1400	79.3
120	15.4	45.75	0.33	-0.39	8.75	46.1	33.2	8.8	0.0046	0.0733	73.7
240	15.4	41.5	0.33	-0.39	8.75	41.8	28.9	9.6	0.0034	0.0400	64.3
480	15.5	38.5	0.33	-0.39	8.74	38.8	25.9	10.1	0.0024	0.0210	57.6
1440	15.0	33.5	0.33	-0.40	8.75	33.8	20.9	10.9	0.0015	0.0076	46.5

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	47.3 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	52.6 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-06).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

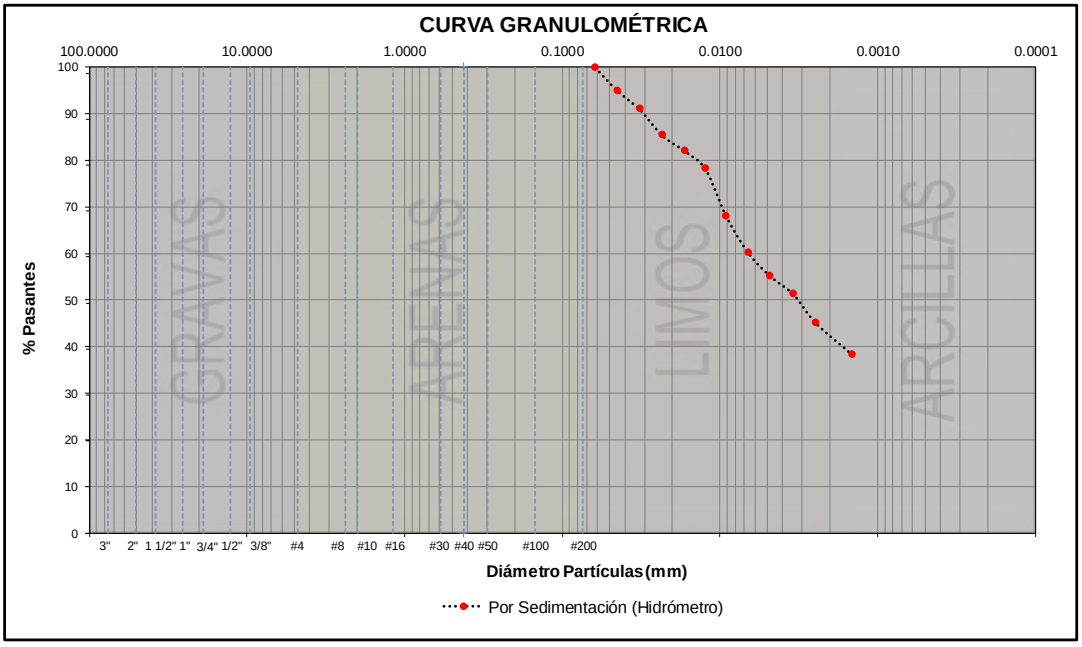
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**15/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**3**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	VS-MI-06
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.614			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.01	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	56.5	0.33	-0.40	8.75	56.8	44.6	7.1	0.0612	14.2000	99.9
1	15.0	54.25	0.33	-0.40	8.75	54.6	42.3	7.4	0.0442	7.4000	94.9
2	15.0	52.5	0.33	-0.40	8.75	52.8	40.6	7.8	0.0321	3.9000	90.9
4	15.0	50	0.33	-0.40	8.75	50.3	38.1	8.1	0.0231	2.0250	85.3
8	15.0	48.5	0.33	-0.40	8.75	48.8	36.6	8.4	0.0167	1.0500	82.0
15	15.1	46.75	0.33	-0.40	8.75	47.1	34.8	8.6	0.0123	0.5733	78.1
30	15.2	42.25	0.33	-0.40	8.75	42.6	30.3	9.4	0.0091	0.3133	68.0
60	15.2	38.75	0.33	-0.40	8.75	39.1	26.8	9.9	0.0066	0.1650	60.1
120	15.3	36.5	0.33	-0.40	8.75	36.8	24.6	10.4	0.0048	0.0867	55.1
240	15.4	34.75	0.33	-0.39	8.75	35.1	22.8	10.6	0.0034	0.0442	51.2
480	15.5	32	0.33	-0.39	8.74	32.3	20.1	11.1	0.0025	0.0231	45.0
1440	15.2	29	0.33	-0.40	8.75	29.3	17.1	11.5	0.0015	0.0080	38.3

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	58.0 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	41.9 %



Actividad =	0.7

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-07).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

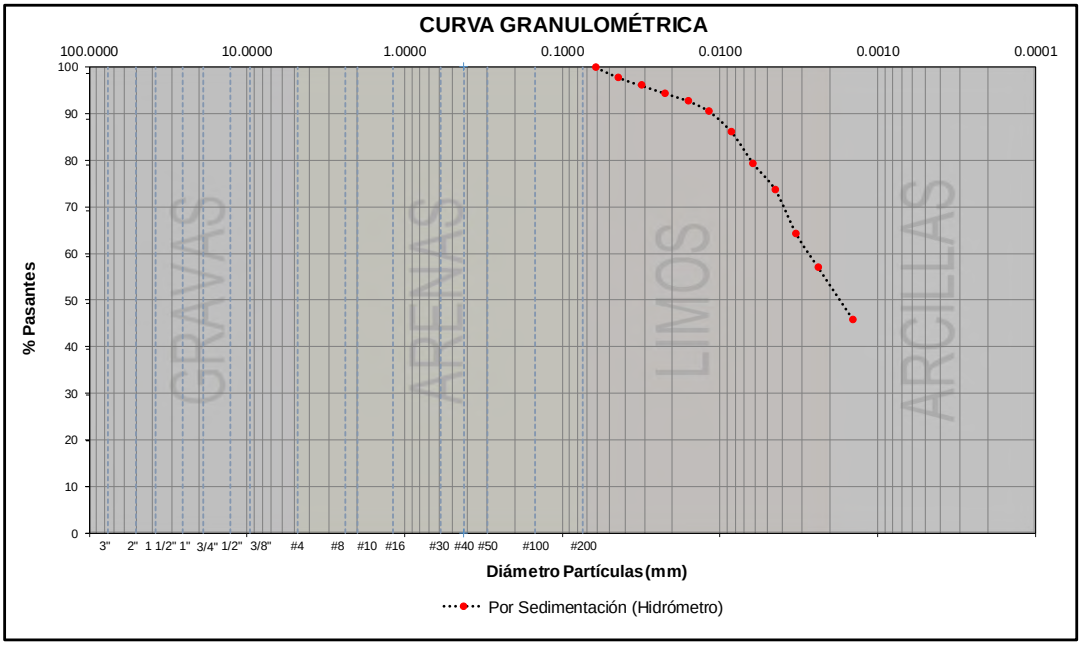
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**15/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**4**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	VS-MI-07
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.619			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.01	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	57.25	0.33	-0.40	8.75	57.6	44.6	7.0	0.0611	14.0000	99.9
1	15.0	56.25	0.33	-0.40	8.75	56.6	43.6	7.1	0.0435	7.1000	97.6
2	15.0	55.5	0.33	-0.40	8.75	55.8	42.9	7.3	0.0312	3.6500	96.0
4	15.0	54.75	0.33	-0.40	8.75	55.1	42.1	7.3	0.0221	1.8250	94.3
8	15.0	54	0.33	-0.40	8.75	54.3	41.4	7.4	0.0157	0.9250	92.6
15	15.1	53	0.33	-0.40	8.75	53.3	40.4	7.6	0.0116	0.5067	90.4
30	15.2	51	0.33	-0.40	8.75	51.3	38.4	7.9	0.0084	0.2633	85.9
60	15.2	48	0.33	-0.40	8.75	48.3	35.4	8.4	0.0061	0.1400	79.2
120	15.3	45.5	0.33	-0.40	8.75	45.8	32.9	8.9	0.0044	0.0742	73.6
240	15.4	41.25	0.33	-0.39	8.75	41.6	28.6	9.6	0.0033	0.0400	64.1
480	15.5	38	0.33	-0.39	8.74	38.3	25.4	10.1	0.0024	0.0210	56.8
1440	15.0	33	0.33	-0.40	8.75	33.3	20.4	10.9	0.0014	0.0076	45.6

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	47.4 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	52.5 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-08).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/05/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

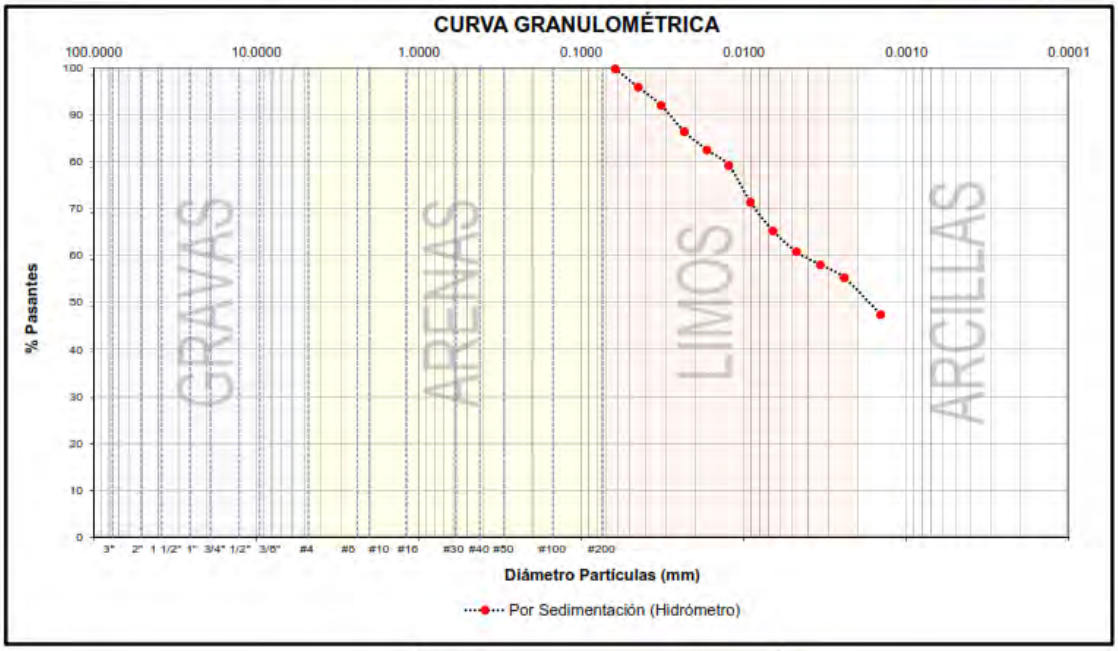
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	15/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	4
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-08
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad especifica de los solidos Gs:	2.629			Factor de Corrección por Gravedad Especifica (a):		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R'+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de particulas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.1	57	0.33	-0.40	8.75	57.3	44.7	7.0	0.0617	14.0000	99.9
1	15.1	55.25	0.33	-0.40	8.75	55.6	43.0	7.3	0.0446	7.3000	96.0
2	15.1	53.5	0.33	-0.40	8.75	53.8	41.2	7.6	0.0322	3.8000	92.1
4	15.1	51	0.33	-0.40	8.75	51.3	38.7	7.9	0.0232	1.9750	86.5
8	15.2	49.25	0.33	-0.40	8.75	49.6	37.0	8.3	0.0168	1.0375	82.6
15	15.2	47.75	0.33	-0.40	8.75	48.1	35.5	8.4	0.0123	0.5600	79.3
30	15.3	44.25	0.33	-0.40	8.75	44.6	32.0	9.1	0.0091	0.3033	71.4
60	15.3	41.5	0.33	-0.40	8.75	41.8	29.2	9.6	0.0066	0.1600	65.3
120	15.4	39.5	0.33	-0.39	8.75	39.8	27.2	9.9	0.0047	0.0825	60.8
240	15.4	38.25	0.33	-0.39	8.75	38.6	26.0	10.1	0.0034	0.0421	58.1
480	15.5	37	0.33	-0.39	8.74	37.3	24.8	10.2	0.0024	0.0213	55.3
1440	15.1	33.5	0.33	-0.40	8.75	33.8	21.2	10.9	0.0014	0.0076	47.4

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	47.9 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	52.0 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-09).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

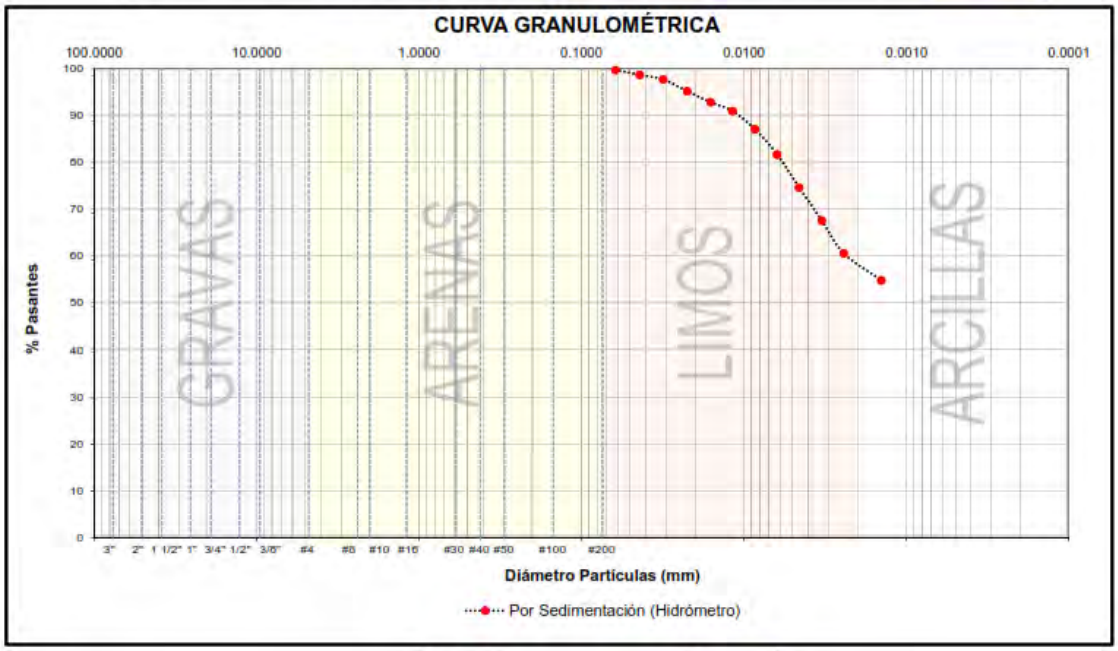
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	14/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	5
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-09
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	50.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.626			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.01	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R'+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de particulas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	14.0	58.25	0.33	-0.58	8.92	58.6	49.6	6.8	0.0618	13.6000	99.8
1	14.0	57.75	0.33	-0.58	8.92	58.1	49.1	6.8	0.0437	6.8000	98.7
2	14.0	57.25	0.33	-0.58	8.92	57.6	48.6	7.0	0.0313	3.5000	97.7
4	14.0	56	0.33	-0.58	8.92	56.3	47.4	7.1	0.0223	1.7750	95.2
8	14.1	54.75	0.33	-0.53	8.88	55.1	46.2	7.3	0.0160	0.9125	92.9
15	14.2	53.75	0.33	-0.50	8.84	54.1	45.3	7.4	0.0118	0.4933	91.0
30	14.3	51.75	0.33	-0.47	8.81	52.1	43.3	7.8	0.0085	0.2600	87.1
60	14.4	49	0.33	-0.44	8.79	49.3	40.6	8.3	0.0062	0.1383	81.7
120	14.4	45.5	0.33	-0.44	8.79	45.8	37.1	8.9	0.0046	0.0742	74.6
240	14.4	42	0.33	-0.44	8.79	42.3	33.6	9.4	0.0033	0.0392	67.6
480	14.5	38.5	0.33	-0.42	8.78	38.8	30.1	10.1	0.0024	0.0210	60.6
1440	14.2	35.75	0.33	-0.50	8.84	36.1	27.3	10.4	0.0014	0.0072	54.8

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	41.6 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	58.1 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-10).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

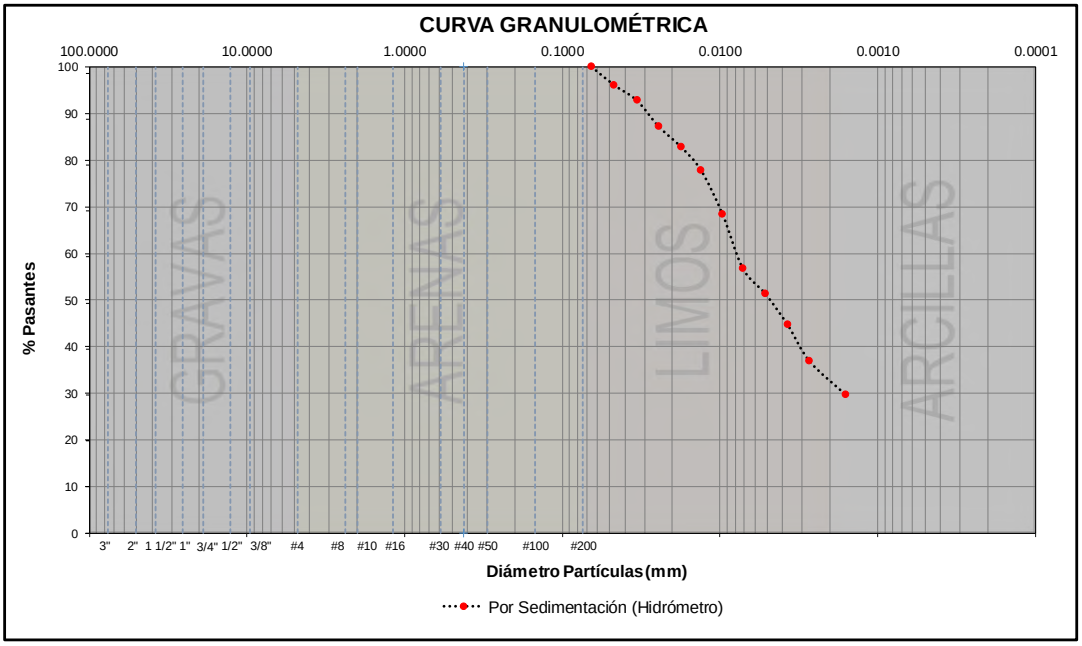
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**15/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**5**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	VS-MI-10
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.667			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.1	56	0.33	-0.40	8.75	56.3	45.2	7.1	0.0647	14.2000	99.9
1	15.1	54.25	0.33	-0.40	8.75	54.6	43.4	7.4	0.0467	7.4000	96.1
2	15.1	52.75	0.33	-0.40	8.75	53.1	41.9	7.6	0.0335	3.8000	92.7
4	15.2	50.25	0.33	-0.40	8.75	50.6	39.4	8.1	0.0244	2.0250	87.2
8	15.2	48.25	0.33	-0.40	8.75	48.6	37.4	8.4	0.0176	1.0500	82.8
15	15.2	46	0.33	-0.40	8.75	46.3	35.2	8.8	0.0131	0.5867	77.8
30	15.2	41.75	0.33	-0.40	8.75	42.1	30.9	9.4	0.0096	0.3133	68.4
60	15.3	36.5	0.33	-0.40	8.75	36.8	25.7	10.4	0.0071	0.1733	56.8
120	15.4	34	0.33	-0.39	8.75	34.3	23.2	10.7	0.0051	0.0892	51.3
240	15.3	31	0.33	-0.40	8.75	31.3	20.2	11.2	0.0037	0.0467	44.6
480	15.5	27.5	0.33	-0.39	8.74	27.8	16.7	11.9	0.0027	0.0248	36.9
1440	15.1	24.25	0.33	-0.40	8.75	24.6	13.4	12.4	0.0016	0.0086	29.7

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	67.6 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	32.3 %



Actividad =	0.9

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-11).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

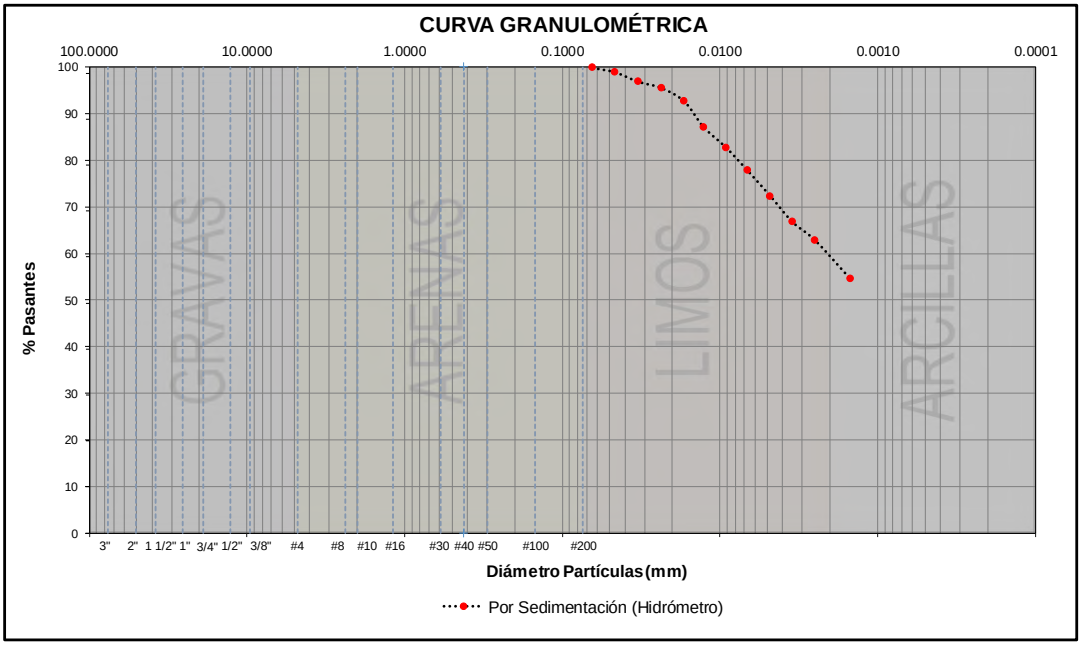
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**15/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**6**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	VS-MI-11
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	50.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.642			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	14.0	55.75	0.33	-0.58	8.92	56.1	49.8	7.1	0.0643	14.2000	99.8
1	14.0	55.25	0.33	-0.58	8.92	55.6	49.3	7.3	0.0461	7.3000	98.8
2	14.0	54.25	0.33	-0.58	8.92	54.6	48.3	7.4	0.0328	3.7000	96.8
4	14.1	53.5	0.33	-0.53	8.88	53.8	47.6	7.6	0.0235	1.9000	95.4
8	14.2	52	0.33	-0.50	8.84	52.3	46.2	7.8	0.0168	0.9750	92.6
15	14.2	49.25	0.33	-0.50	8.84	49.6	43.5	8.3	0.0127	0.5533	87.1
30	14.3	47	0.33	-0.47	8.81	47.3	41.3	8.6	0.0091	0.2867	82.7
60	14.3	44.5	0.33	-0.47	8.81	44.8	38.8	9.1	0.0066	0.1517	77.7
120	14.4	41.75	0.33	-0.44	8.79	42.1	36.1	9.4	0.0048	0.0783	72.2
240	14.4	39	0.33	-0.44	8.79	39.3	33.3	9.9	0.0035	0.0413	66.7
480	14.5	37	0.33	-0.42	8.78	37.3	31.3	10.2	0.0025	0.0213	62.8
1440	14.2	33	0.33	-0.50	8.84	33.3	27.2	10.9	0.0015	0.0076	54.5

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	41.0 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	58.8 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-12).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

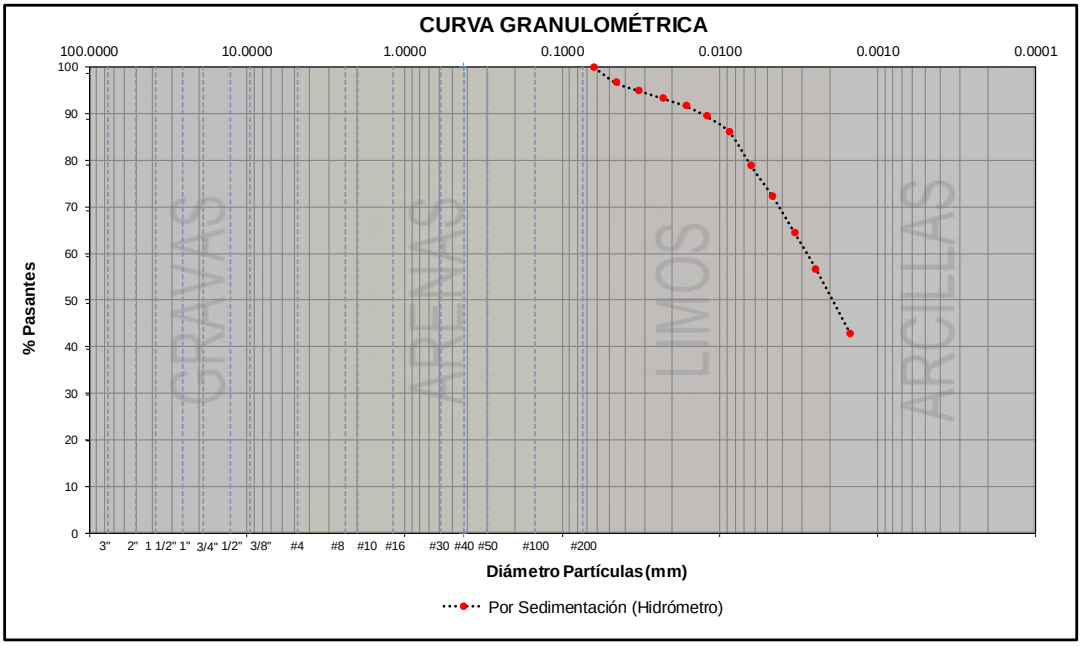
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**15/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**6**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	VS-MI-12
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.650			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	57.75	0.33	-0.40	8.75	58.1	44.9	6.8	0.0622	13.6000	99.9
1	15.0	56.25	0.33	-0.40	8.75	56.6	43.4	7.1	0.0450	7.1000	96.5
2	15.0	55.5	0.33	-0.40	8.75	55.8	42.7	7.3	0.0322	3.6500	94.9
4	15.1	54.75	0.33	-0.40	8.75	55.1	41.9	7.3	0.0228	1.8250	93.2
8	15.1	54	0.33	-0.40	8.75	54.3	41.2	7.4	0.0162	0.9250	91.5
15	15.1	53	0.33	-0.40	8.75	53.3	40.2	7.6	0.0120	0.5067	89.3
30	15.2	51.5	0.33	-0.40	8.75	51.8	38.7	7.9	0.0087	0.2633	86.0
60	15.2	48.25	0.33	-0.40	8.75	48.6	35.4	8.4	0.0063	0.1400	78.8
120	15.3	45.25	0.33	-0.40	8.75	45.6	32.4	8.9	0.0046	0.0742	72.1
240	15.4	41.75	0.33	-0.39	8.75	42.1	28.9	9.4	0.0033	0.0392	64.3
480	15.5	38.25	0.33	-0.39	8.74	38.6	25.5	10.1	0.0024	0.0210	56.6
1440	15.0	32	0.33	-0.40	8.75	32.3	19.2	11.1	0.0015	0.0077	42.6

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	49.7 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	50.1 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-13).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

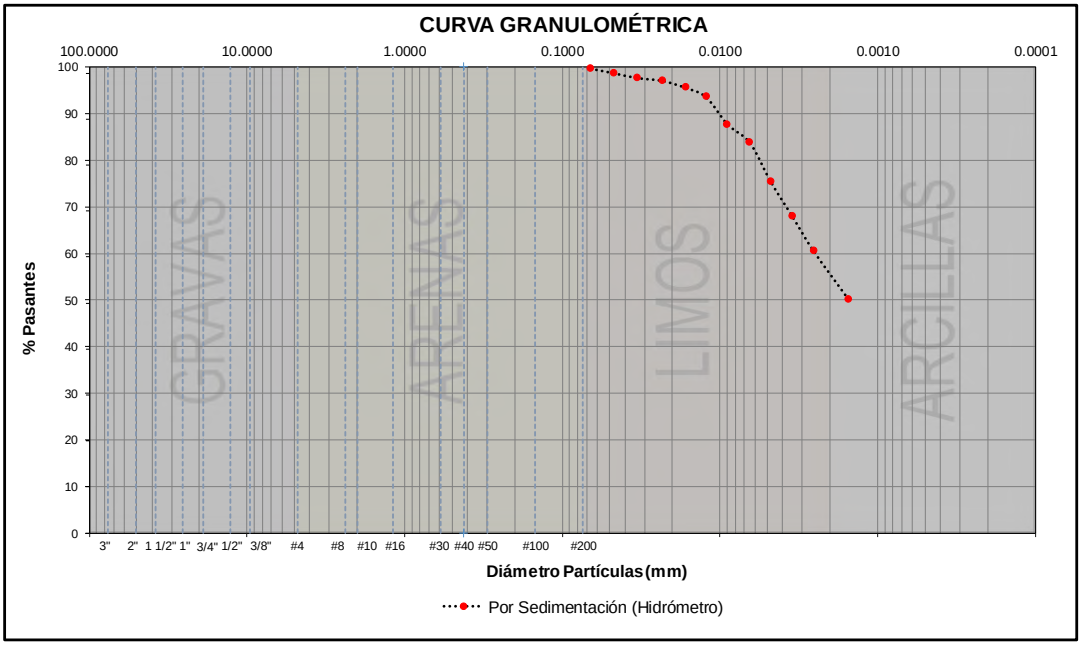
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**15/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**7**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	VS-MI-13
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	50.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.666			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	13.9	58.5	0.33	-0.63	8.97	58.8	50.0	6.8	0.0659	13.6000	99.6
1	13.9	58	0.33	-0.63	8.97	58.3	49.5	6.8	0.0466	6.8000	98.6
2	13.9	57.5	0.33	-0.63	8.97	57.8	49.0	7.0	0.0335	3.5000	97.6
4	14.1	57	0.33	-0.53	8.88	57.3	48.7	7.0	0.0232	1.7500	97.0
8	14.1	56.25	0.33	-0.53	8.88	56.6	47.9	7.1	0.0165	0.8875	95.5
15	14.1	55.25	0.33	-0.53	8.88	55.6	46.9	7.3	0.0122	0.4867	93.5
30	14.2	52.25	0.33	-0.50	8.84	52.6	44.0	7.8	0.0089	0.2600	87.7
60	14.2	50.25	0.33	-0.50	8.84	50.6	42.0	8.1	0.0064	0.1350	83.7
120	14.3	46	0.33	-0.47	8.81	46.3	37.8	8.8	0.0047	0.0733	75.3
240	14.4	42.25	0.33	-0.44	8.79	42.6	34.1	9.4	0.0035	0.0392	68.0
480	14.5	38.5	0.33	-0.42	8.78	38.8	30.4	10.1	0.0025	0.0210	60.6
1440	14.1	33.5	0.33	-0.53	8.88	33.8	25.2	10.9	0.0015	0.0076	50.2

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	44.6 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	55.0 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-14).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

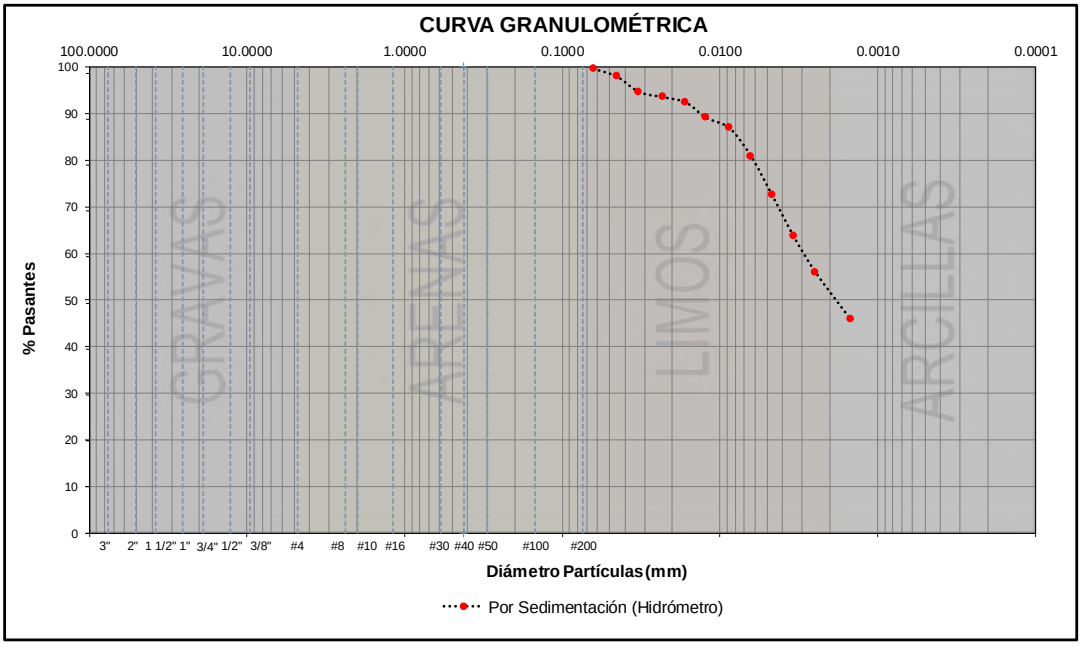
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**15/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**7**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	VS-MI-14
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.658			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	56.75	0.33	-0.40	8.75	57.1	44.9	7.0	0.0636	14.0000	99.7
1	15.0	56	0.33	-0.40	8.75	56.3	44.2	7.1	0.0453	7.1000	98.0
2	15.0	54.5	0.33	-0.40	8.75	54.8	42.7	7.4	0.0327	3.7000	94.7
4	15.0	54	0.33	-0.40	8.75	54.3	42.2	7.4	0.0231	1.8500	93.6
8	15.0	53.5	0.33	-0.40	8.75	53.8	41.7	7.6	0.0166	0.9500	92.5
15	15.0	52	0.33	-0.40	8.75	52.3	40.2	7.8	0.0123	0.5200	89.1
30	15.0	51	0.33	-0.40	8.75	51.3	39.2	7.9	0.0087	0.2633	86.9
60	15.0	48.25	0.33	-0.40	8.75	48.6	36.4	8.4	0.0064	0.1400	80.8
120	15.2	44.5	0.33	-0.40	8.75	44.8	32.7	9.1	0.0047	0.0758	72.5
240	15.5	40.5	0.33	-0.39	8.74	40.8	28.7	9.7	0.0034	0.0404	63.7
480	15.5	37	0.33	-0.39	8.74	37.3	25.2	10.2	0.0025	0.0213	55.9
1440	15.2	32.5	0.33	-0.40	8.75	32.8	20.7	11.1	0.0015	0.0077	45.9

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	48.6 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	51.0 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-15).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

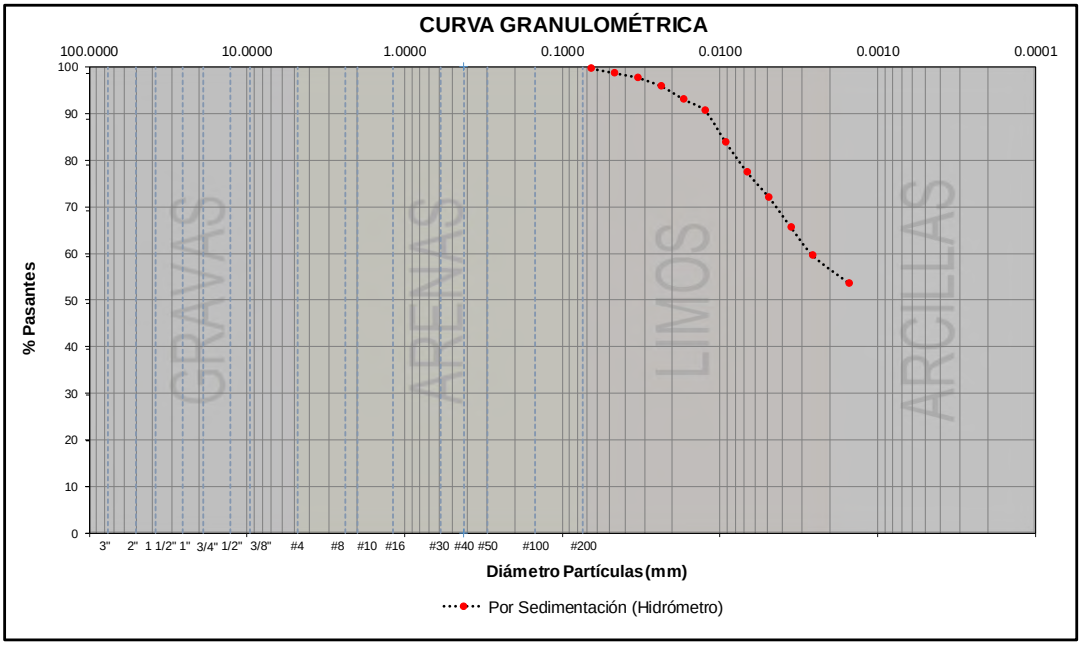
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	15/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	8
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-15
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	50.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.672			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		0.99	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	14.0	58.5	0.33	-0.58	8.92	58.8	50.1	6.8	0.0650	13.6000	99.7
1	14.0	58	0.33	-0.58	8.92	58.3	49.6	6.8	0.0460	6.8000	98.7
2	14.0	57.5	0.33	-0.58	8.92	57.8	49.1	7.0	0.0330	3.5000	97.7
4	14.1	56.5	0.33	-0.53	8.88	56.8	48.2	7.1	0.0235	1.7750	95.9
8	14.2	55	0.33	-0.50	8.84	55.3	46.7	7.3	0.0168	0.9125	93.0
15	14.2	53.75	0.33	-0.50	8.84	54.1	45.5	7.4	0.0124	0.4933	90.5
30	14.4	50.25	0.33	-0.44	8.79	50.6	42.1	8.1	0.0092	0.2700	83.8
60	14.4	47	0.33	-0.44	8.79	47.3	38.9	8.6	0.0067	0.1433	77.3
120	14.5	44.25	0.33	-0.42	8.78	44.6	36.1	9.1	0.0049	0.0758	71.9
240	14.6	41	0.33	-0.41	8.77	41.3	32.9	9.6	0.0035	0.0400	65.5
480	14.5	38	0.33	-0.42	8.78	38.3	29.9	10.1	0.0026	0.0210	59.5
1440	14.1	35.25	0.33	-0.53	8.88	35.6	26.9	10.6	0.0015	0.0074	53.6

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	43.3 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	56.3 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-16).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

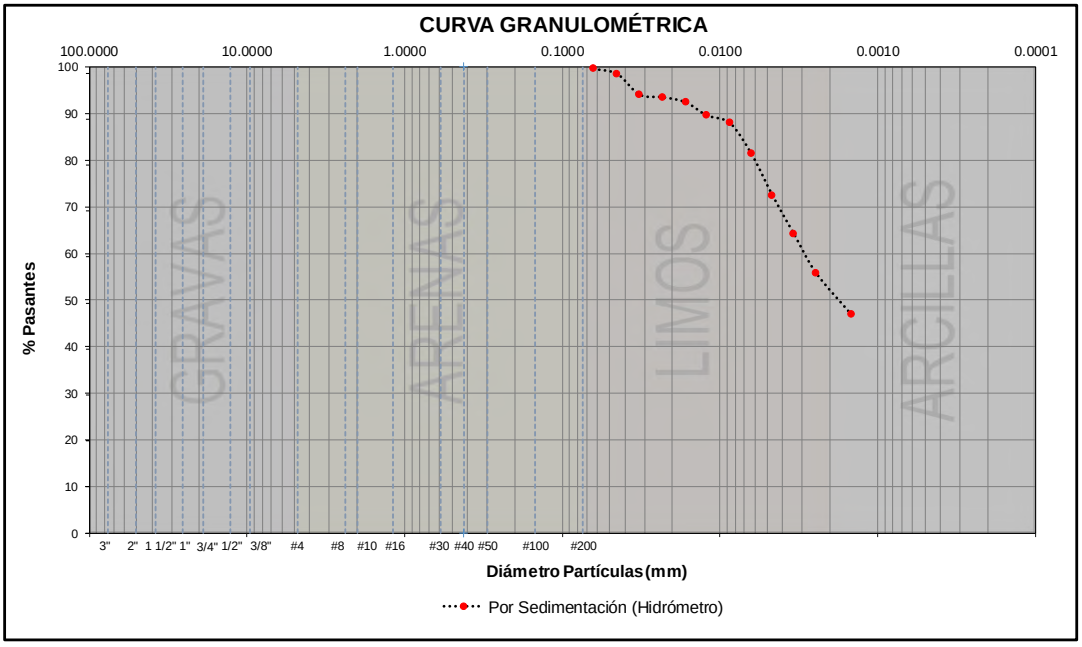
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	15/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	8
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-16
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.652			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	56.5	0.33	-0.40	8.75	56.8	44.8	7.1	0.0637	14.2000	99.6
1	15.0	56	0.33	-0.40	8.75	56.3	44.3	7.1	0.0450	7.1000	98.5
2	15.0	54	0.33	-0.40	8.75	54.3	42.3	7.4	0.0325	3.7000	94.0
4	15.0	53.75	0.33	-0.40	8.75	54.1	42.1	7.4	0.0230	1.8500	93.5
8	15.1	53.25	0.33	-0.40	8.75	53.6	41.6	7.6	0.0165	0.9500	92.4
15	15.1	52	0.33	-0.40	8.75	52.3	40.3	7.8	0.0122	0.5200	89.6
30	15.1	51.25	0.33	-0.40	8.75	51.6	39.6	7.9	0.0087	0.2633	87.9
60	15.1	48.25	0.33	-0.40	8.75	48.6	36.6	8.4	0.0063	0.1400	81.3
120	15.2	44.25	0.33	-0.40	8.75	44.6	32.6	9.1	0.0047	0.0758	72.4
240	15.5	40.5	0.33	-0.39	8.74	40.8	28.9	9.7	0.0034	0.0404	64.1
480	15.5	36.75	0.33	-0.39	8.74	37.1	25.1	10.2	0.0025	0.0213	55.8
1440	15.2	32.75	0.33	-0.40	8.75	33.1	21.1	10.9	0.0015	0.0076	46.8

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	48.0 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	51.6 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-17).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

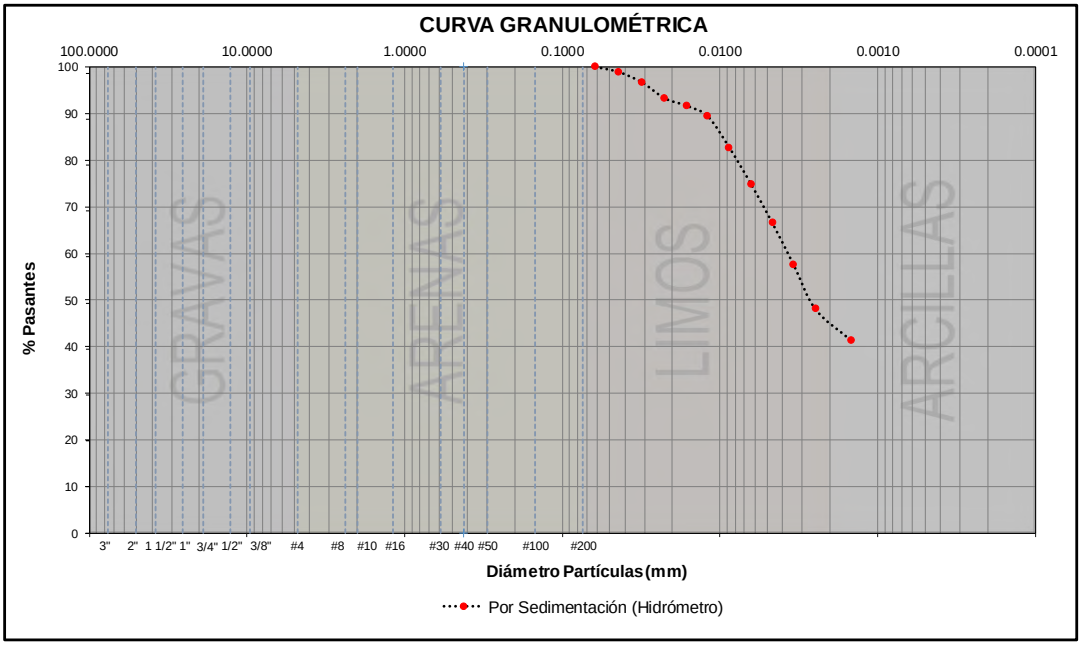
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	15/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	9
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-17
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.632			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	57.25	0.33	-0.40	8.75	57.6	44.8	7.0	0.0619	14.0000	99.9
1	15.0	56.75	0.33	-0.40	8.75	57.1	44.3	7.0	0.0438	7.0000	98.8
2	15.0	55.75	0.33	-0.40	8.75	56.1	43.3	7.1	0.0312	3.5500	96.6
4	15.0	54.25	0.33	-0.40	8.75	54.6	41.8	7.4	0.0225	1.8500	93.2
8	15.1	53.5	0.33	-0.40	8.75	53.8	41.0	7.6	0.0161	0.9500	91.6
15	15.1	52.5	0.33	-0.40	8.75	52.8	40.0	7.8	0.0119	0.5200	89.3
30	15.1	49.5	0.33	-0.40	8.75	49.8	37.0	8.3	0.0087	0.2767	82.6
60	15.2	46	0.33	-0.40	8.75	46.3	33.5	8.8	0.0063	0.1467	74.8
120	15.2	42.25	0.33	-0.40	8.75	42.6	29.8	9.4	0.0046	0.0783	66.5
240	15.3	38.25	0.33	-0.40	8.75	38.6	25.8	10.1	0.0034	0.0421	57.5
480	15.5	34	0.33	-0.39	8.74	34.3	21.5	10.7	0.0025	0.0223	48.1
1440	15.2	31	0.33	-0.40	8.75	31.3	18.5	11.2	0.0015	0.0078	41.4

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	55.0 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	44.9 %



Actividad =	0.7

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-18).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

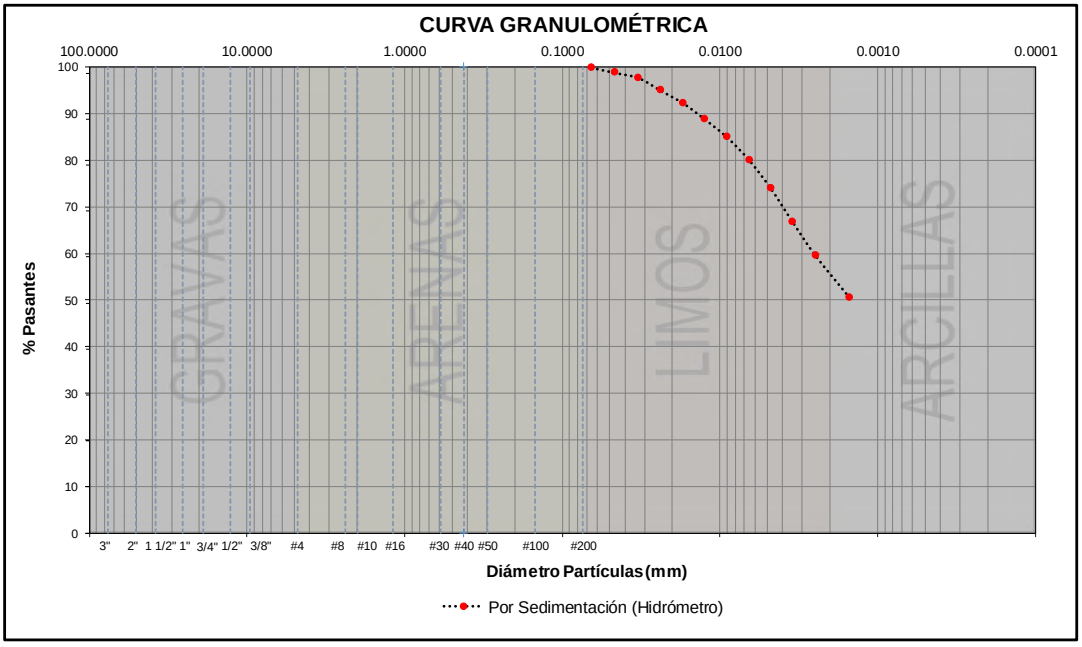
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**15/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**9**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	VS-MI-18
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.660			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	14.5	56.75	0.33	-0.42	8.78	57.1	45.0	7.0	0.0651	14.0000	99.9
1	14.5	56.25	0.33	-0.42	8.78	56.6	44.5	7.1	0.0464	7.1000	98.8
2	14.5	55.75	0.33	-0.42	8.78	56.1	44.0	7.1	0.0328	3.5500	97.6
4	14.6	54.5	0.33	-0.41	8.77	54.8	42.8	7.4	0.0237	1.8500	94.9
8	14.6	53.25	0.33	-0.41	8.77	53.6	41.6	7.6	0.0170	0.9500	92.2
15	14.7	51.75	0.33	-0.40	8.76	52.1	40.1	7.8	0.0125	0.5200	88.9
30	14.7	50	0.33	-0.40	8.76	50.3	38.3	8.1	0.0090	0.2700	85.0
60	14.7	47.75	0.33	-0.40	8.76	48.1	36.1	8.4	0.0065	0.1400	80.0
120	14.7	45	0.33	-0.40	8.76	45.3	33.3	8.9	0.0047	0.0742	73.9
240	14.7	41.75	0.33	-0.40	8.76	42.1	30.1	9.4	0.0034	0.0392	66.7
480	15.0	38.5	0.33	-0.40	8.75	38.8	26.8	10.1	0.0025	0.0210	59.5
1440	14.4	34.5	0.33	-0.44	8.79	34.8	22.8	10.7	0.0015	0.0074	50.5

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	44.7 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	55.1 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (VS-MI-19).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

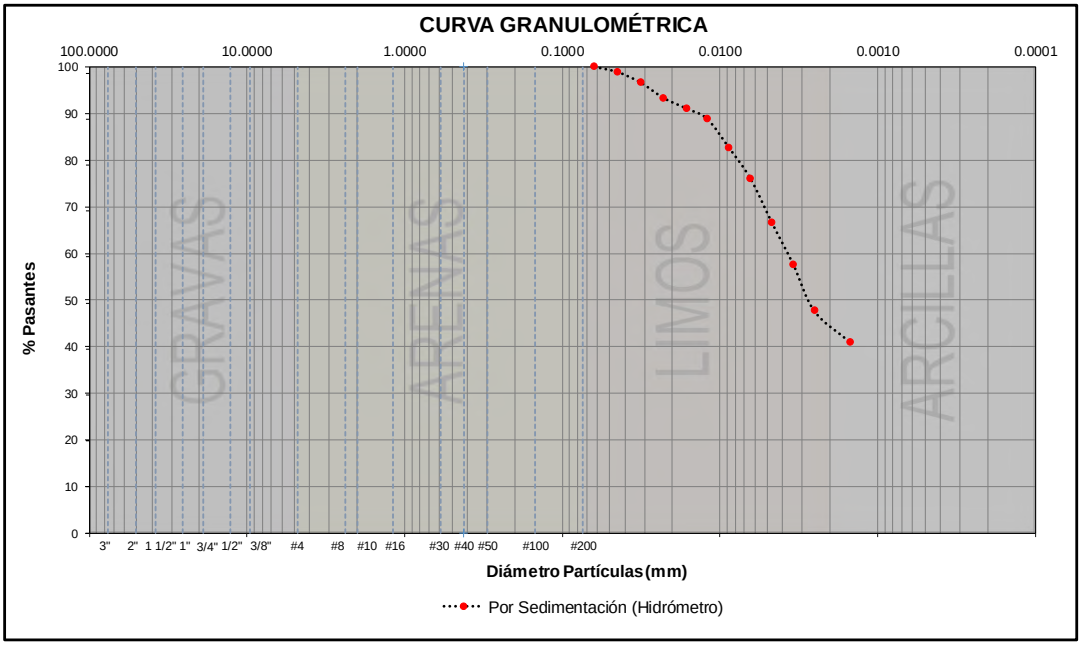
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	15/10/2025
LOCALIZACIÓN:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	MUESTRA No.:	10
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	VS-MI-19
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.635			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):			1.00

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	57	0.33	-0.40	8.75	57.3	44.8	7.0	0.0621	14.0000	99.9
1	15.0	56.5	0.33	-0.40	8.75	56.8	44.3	7.1	0.0443	7.1000	98.8
2	15.0	55.5	0.33	-0.40	8.75	55.8	43.3	7.3	0.0317	3.6500	96.6
4	15.0	54	0.33	-0.40	8.75	54.3	41.8	7.4	0.0226	1.8500	93.3
8	15.0	53	0.33	-0.40	8.75	53.3	40.8	7.6	0.0162	0.9500	91.0
15	15.0	52	0.33	-0.40	8.75	52.3	39.8	7.8	0.0120	0.5200	88.8
30	15.0	49.25	0.33	-0.40	8.75	49.6	37.1	8.3	0.0087	0.2767	82.7
60	15.1	46.25	0.33	-0.40	8.75	46.6	34.1	8.8	0.0064	0.1467	76.0
120	15.3	42	0.33	-0.40	8.75	42.3	29.8	9.4	0.0046	0.0783	66.5
240	15.3	38	0.33	-0.40	8.75	38.3	25.8	10.1	0.0034	0.0421	57.6
480	15.5	33.5	0.33	-0.39	8.74	33.8	21.3	10.9	0.0025	0.0227	47.6
1440	15.2	30.5	0.33	-0.40	8.75	30.8	18.3	11.4	0.0015	0.0079	40.9

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	55.7 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	44.3 %



Actividad =	0.7

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (HU-MI-20).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

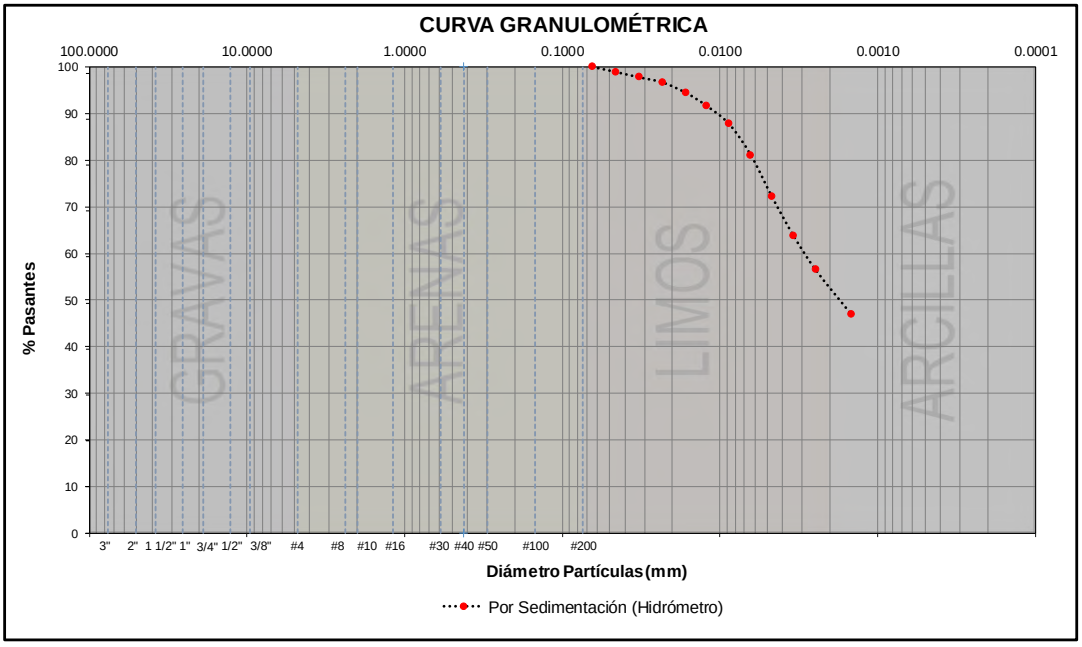
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**18/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**11**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	HU-MI-20
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.630			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	53.5	0.33	-0.40	8.75	53.8	44.8	7.6	0.0644	15.2000	100.0
1	15.0	53	0.33	-0.40	8.75	53.3	44.3	7.6	0.0455	7.6000	98.9
2	15.0	52.5	0.33	-0.40	8.75	52.8	43.8	7.8	0.0326	3.9000	97.7
4	15.0	52	0.33	-0.40	8.75	52.3	43.3	7.8	0.0231	1.9500	96.6
8	15.0	51	0.33	-0.40	8.75	51.3	42.3	7.9	0.0164	0.9875	94.4
15	15.0	49.75	0.33	-0.40	8.75	50.1	41.0	8.1	0.0121	0.5400	91.6
30	15.0	48	0.33	-0.40	8.75	48.3	39.3	8.4	0.0087	0.2800	87.7
60	15.2	45	0.33	-0.40	8.75	45.3	36.3	8.9	0.0064	0.1483	81.0
120	15.3	41	0.33	-0.40	8.75	41.3	32.3	9.6	0.0047	0.0800	72.1
240	15.4	37.25	0.33	-0.39	8.75	37.6	28.5	10.2	0.0034	0.0425	63.7
480	15.3	34	0.33	-0.40	8.75	34.3	25.3	10.7	0.0025	0.0223	56.4
1440	15.4	29.75	0.33	-0.39	8.75	30.1	21.0	11.4	0.0015	0.0079	47.0

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	48.0 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	52.0 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (HU-MI-21).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

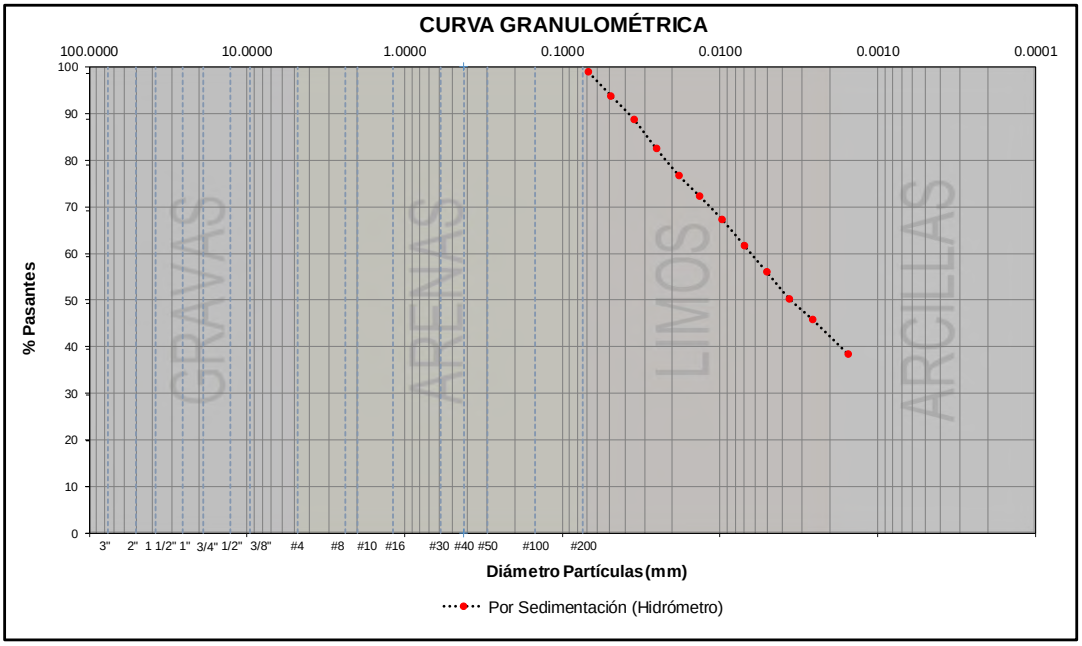
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	20/10/2025
LOCALIZACIÓN:	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	MUESTRA No.:	11
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	HU-M1-21
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	40.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.607			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.01	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.2	46.5	0.33	-0.40	8.75	46.8	39.1	8.8	0.0676	17.6000	98.7
1	15.2	44.5	0.33	-0.40	8.75	44.8	37.1	9.1	0.0486	9.1000	93.7
2	15.2	42.5	0.33	-0.40	8.75	42.8	35.1	9.4	0.0349	4.7000	88.6
4	15.2	40	0.33	-0.40	8.75	40.3	32.6	9.7	0.0251	2.4250	82.3
8	15.2	37.75	0.33	-0.40	8.75	38.1	30.3	10.1	0.0181	1.2625	76.6
15	15.2	36	0.33	-0.40	8.75	36.3	28.6	10.4	0.0134	0.6933	72.2
30	15.2	34	0.33	-0.40	8.75	34.3	26.6	10.7	0.0096	0.3567	67.2
60	15.3	31.75	0.33	-0.40	8.75	32.1	24.3	11.1	0.0069	0.1850	61.5
120	15.4	29.5	0.33	-0.39	8.75	29.8	22.1	11.5	0.0050	0.0958	55.8
240	15.3	27.25	0.33	-0.40	8.75	27.6	19.8	11.9	0.0036	0.0496	50.1
480	15.3	25.5	0.33	-0.40	8.75	25.8	18.1	12.2	0.0026	0.0254	45.7
1440	15.4	22.5	0.33	-0.39	8.75	22.8	15.1	12.7	0.0015	0.0088	38.1

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	57.1 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	41.6 %



Actividad =	0.7

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (HU-MI-22).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	20/10/2025
LOCALIZACIÓN:	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	MUESTRA No.:	12
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	HU-M1-22
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

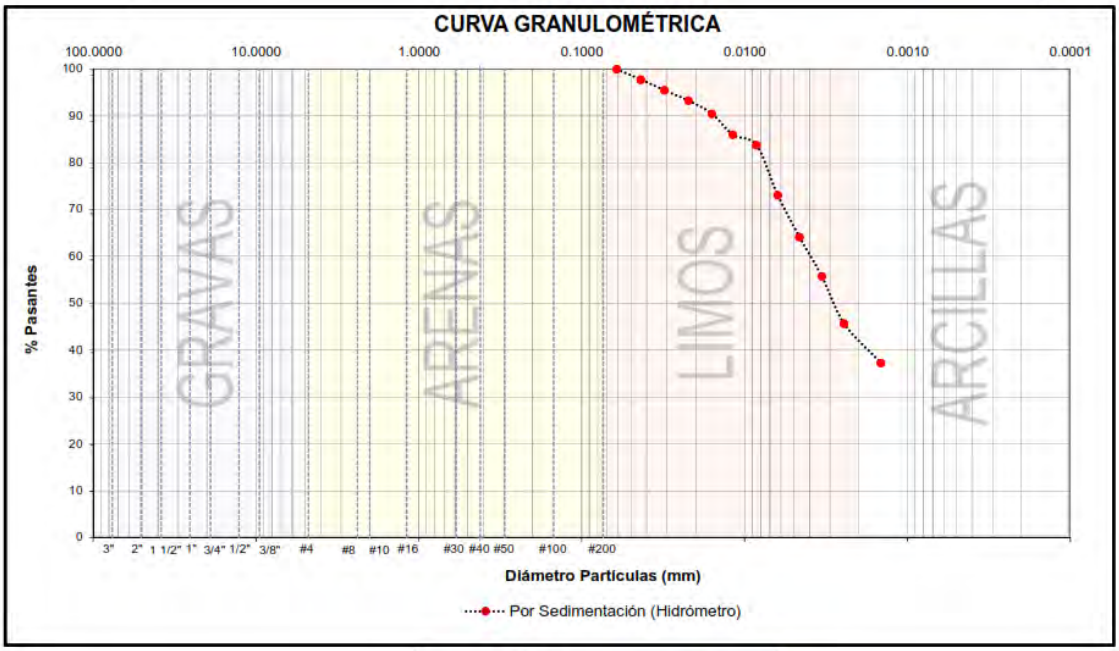
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.616			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.01	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.1	57	0.33	-0.40	8.75	57.3	44.6	7.0	0.0609	14.0000	99.9
1	15.1	56	0.33	-0.40	8.75	56.3	43.6	7.1	0.0434	7.1000	97.7
2	15.1	55	0.33	-0.40	8.75	55.3	42.6	7.3	0.0311	3.6500	95.4
4	15.1	54	0.33	-0.40	8.75	54.3	41.6	7.4	0.0221	1.8500	93.2
8	15.1	52.75	0.33	-0.40	8.75	53.1	40.4	7.6	0.0159	0.9500	90.4
15	15.2	50.75	0.33	-0.40	8.75	51.1	38.4	7.9	0.0118	0.5267	85.9
30	15.2	49.75	0.33	-0.40	8.75	50.1	37.4	8.1	0.0085	0.2700	83.7
60	15.2	45	0.33	-0.40	8.75	45.3	32.6	8.9	0.0063	0.1483	73.0
120	15.3	41	0.33	-0.40	8.75	41.3	28.6	9.6	0.0046	0.0800	64.1
240	15.4	37.25	0.33	-0.39	8.75	37.6	24.9	10.2	0.0034	0.0425	55.7
480	15.5	32.75	0.33	-0.39	8.74	33.1	20.4	10.9	0.0025	0.0227	45.6
1440	15.2	29	0.33	-0.40	8.75	29.3	16.6	11.5	0.0015	0.0080	37.2

0

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	58.1 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	41.8 %



Actividad =	0.8

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (HU-MI-23).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**20/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	HUACARPAY-LUCRE-CUSCO	**MUESTRA No.:**	**12**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	HU-MI-23
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO)		

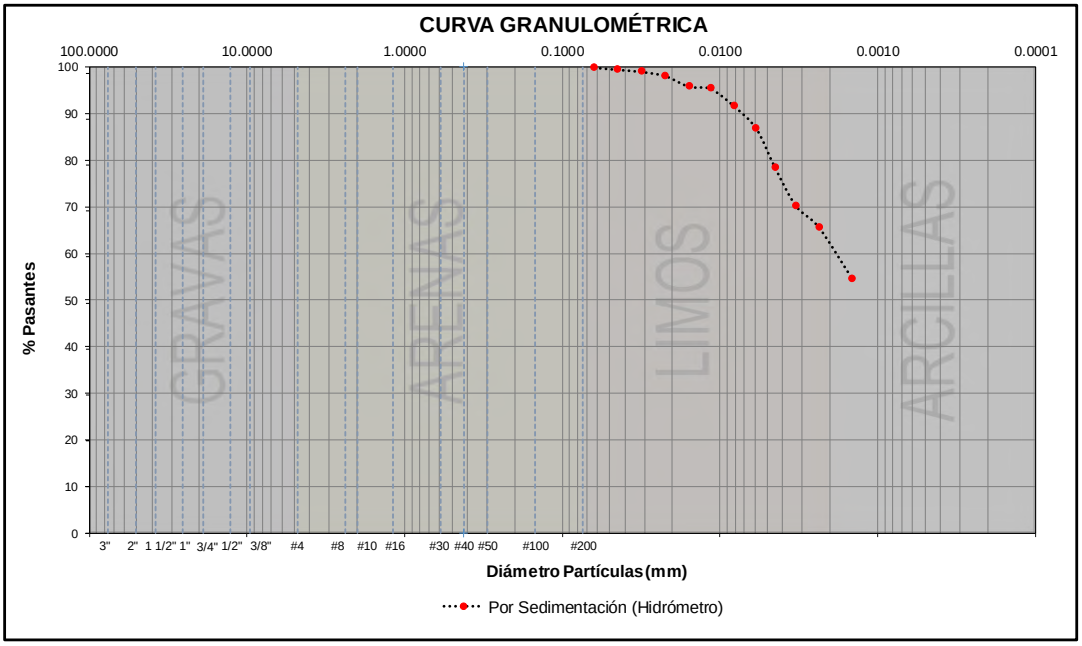
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	55.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.639			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	13.1	65	0.33	-1.49	9.79	65.3	54.8	6.5	0.0625	13.0000	99.9
1	13.1	64.75	0.33	-1.49	9.79	65.1	54.6	6.5	0.0442	6.5000	99.5
2	13.1	64.5	0.33	-1.49	9.79	64.8	54.3	6.5	0.0312	3.2500	99.0
4	13.1	64	0.33	-1.49	9.79	64.3	53.8	6.5	0.0221	1.6250	98.1
8	13.1	62.75	0.33	-1.49	9.79	63.1	52.6	6.5	0.0156	0.8125	95.8
15	13.1	62.5	0.33	-1.49	9.79	62.8	52.3	6.5	0.0114	0.4333	95.4
30	13.2	60.25	0.33	-1.41	9.71	60.6	50.2	6.5	0.0081	0.2167	91.5
60	14.0	56	0.33	-0.58	8.92	56.3	47.6	7.1	0.0058	0.1183	86.7
120	13.9	51.5	0.33	-0.63	8.97	51.8	43.0	7.9	0.0044	0.0658	78.4
240	13.9	47	0.33	-0.63	8.97	47.3	38.5	8.6	0.0033	0.0358	70.1
480	14.1	44.25	0.33	-0.53	8.88	44.6	35.9	9.1	0.0023	0.0190	65.5
1440	13.5	39	0.33	-0.96	9.28	39.3	29.9	9.9	0.0014	0.0069	54.4

0

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	38.6 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	61.3 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (HU-MI-24).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

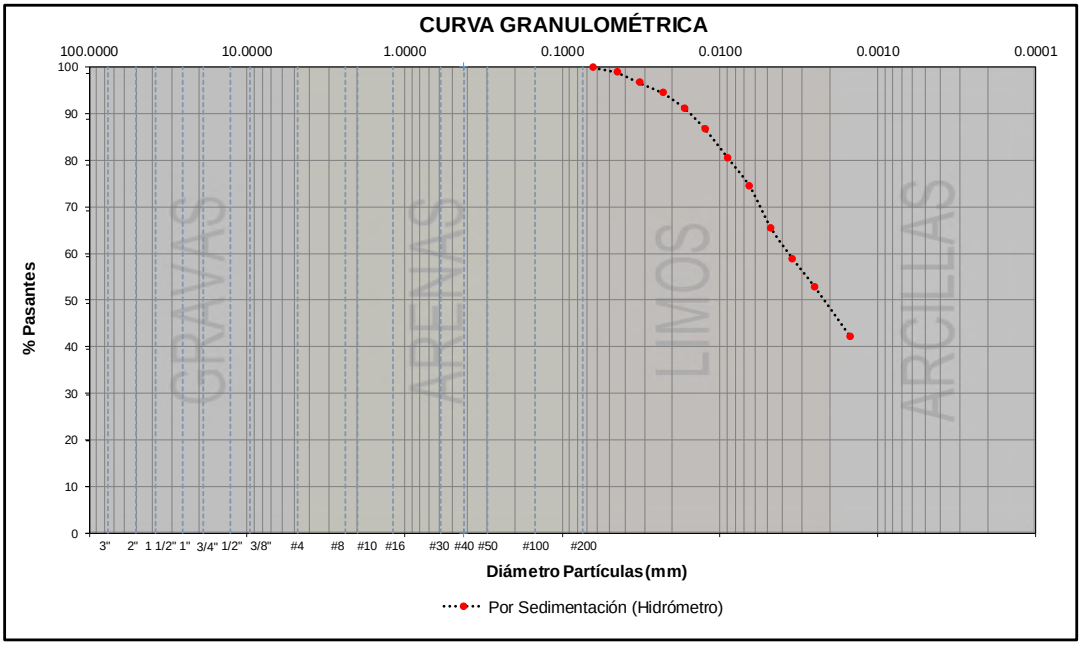
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**18/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**13**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	HU-MI-24
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIAL ORGANICO MÍNIMO)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.644			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.0	56.5	0.33	-0.40	8.75	56.8	44.9	7.1	0.0632	14.2000	99.9
1	15.0	56	0.33	-0.40	8.75	56.3	44.4	7.1	0.0447	7.1000	98.8
2	15.0	55	0.33	-0.40	8.75	55.3	43.4	7.3	0.0320	3.6500	96.5
4	15.0	54	0.33	-0.40	8.75	54.3	42.4	7.4	0.0228	1.8500	94.3
8	15.0	52.5	0.33	-0.40	8.75	52.8	40.9	7.8	0.0165	0.9750	91.0
15	15.0	50.5	0.33	-0.40	8.75	50.8	38.9	8.1	0.0123	0.5400	86.5
30	15.0	47.75	0.33	-0.40	8.75	48.1	36.1	8.4	0.0089	0.2800	80.4
60	15.2	45	0.33	-0.40	8.75	45.3	33.4	8.9	0.0065	0.1483	74.3
120	15.3	41	0.33	-0.40	8.75	41.3	29.4	9.6	0.0047	0.0800	65.4
240	15.4	38	0.33	-0.39	8.75	38.3	26.4	10.1	0.0034	0.0421	58.7
480	15.3	35.25	0.33	-0.40	8.75	35.6	23.6	10.6	0.0025	0.0221	52.6
1440	15.4	30.5	0.33	-0.39	8.75	30.8	18.9	11.4	0.0015	0.0079	42.0

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	52.5 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	47.4 %



Actividad =	0.7

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (HU-MI-25).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

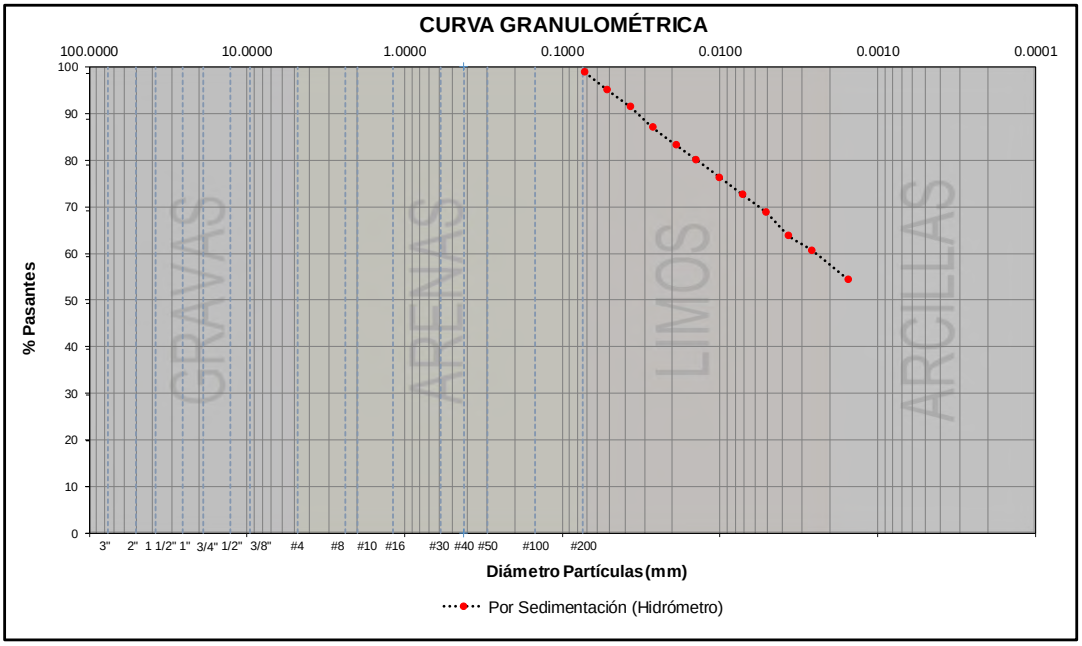
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	18/10/2025
LOCALIZACIÓN:	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	MUESTRA No.:	13
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	HU-MI-25
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR PLOMO OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	40.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.619			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.01	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.2	40	0.33	-0.40	8.75	40.3	39.3	9.7	0.0719	19.4000	98.9
1	15.2	38.5	0.33	-0.40	8.75	38.8	37.8	10.1	0.0519	10.1000	95.1
2	15.2	37	0.33	-0.40	8.75	37.3	36.3	10.2	0.0369	5.1000	91.3
4	15.2	35.25	0.33	-0.40	8.75	35.6	34.5	10.6	0.0266	2.6500	86.9
8	15.2	33.75	0.33	-0.40	8.75	34.1	33.0	10.7	0.0189	1.3375	83.1
15	15.3	32.5	0.33	-0.40	8.75	32.8	31.8	11.1	0.0140	0.7400	80.0
30	15.3	31	0.33	-0.40	8.75	31.3	30.3	11.2	0.0100	0.3733	76.2
60	15.4	29.5	0.33	-0.39	8.75	29.8	28.8	11.5	0.0071	0.1917	72.5
120	15.4	28	0.33	-0.39	8.75	28.3	27.3	11.7	0.0051	0.0975	68.7
240	15.4	26	0.33	-0.39	8.75	26.3	25.3	12.0	0.0036	0.0500	63.6
480	15.3	24.75	0.33	-0.40	8.75	25.1	24.0	12.2	0.0026	0.0254	60.5
1440	15.4	22.25	0.33	-0.39	8.75	22.6	21.5	12.7	0.0015	0.0088	54.2

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	41.9 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	56.9 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (HU-MI-26).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**18/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**14**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	HU-M1-26
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

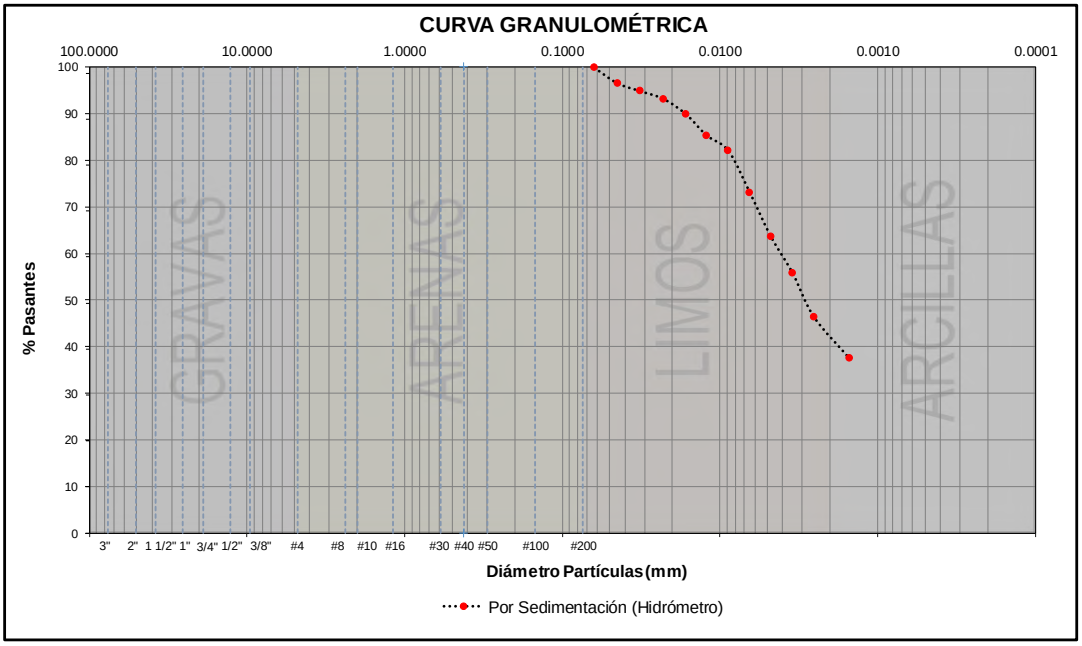
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.644			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.1	57.25	0.33	-0.40	8.75	57.6	44.8	7.0	0.0627	14.0000	99.7
1	15.1	55.75	0.33	-0.40	8.75	56.1	43.3	7.1	0.0447	7.1000	96.4
2	15.1	55	0.33	-0.40	8.75	55.3	42.6	7.3	0.0320	3.6500	94.7
4	15.1	54.25	0.33	-0.40	8.75	54.6	41.8	7.4	0.0228	1.8500	93.0
8	15.1	52.75	0.33	-0.40	8.75	53.1	40.3	7.6	0.0163	0.9500	89.7
15	15.2	50.75	0.33	-0.40	8.75	51.1	38.3	7.9	0.0122	0.5267	85.3
30	15.2	49.25	0.33	-0.40	8.75	49.6	36.8	8.3	0.0088	0.2767	81.9
60	15.2	45.25	0.33	-0.40	8.75	45.6	32.8	8.9	0.0065	0.1483	73.0
120	15.3	41	0.33	-0.40	8.75	41.3	28.6	9.6	0.0047	0.0800	63.6
240	15.4	37.5	0.33	-0.39	8.75	37.8	25.1	10.2	0.0035	0.0425	55.8
480	15.5	33.25	0.33	-0.39	8.74	33.6	20.8	10.9	0.0025	0.0227	46.4
1440	15.3	29.25	0.33	-0.40	8.75	29.6	16.8	11.5	0.0015	0.0080	37.4

0

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	57.9 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	41.8 %



Actividad =	0.8

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (HU-MI-27).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

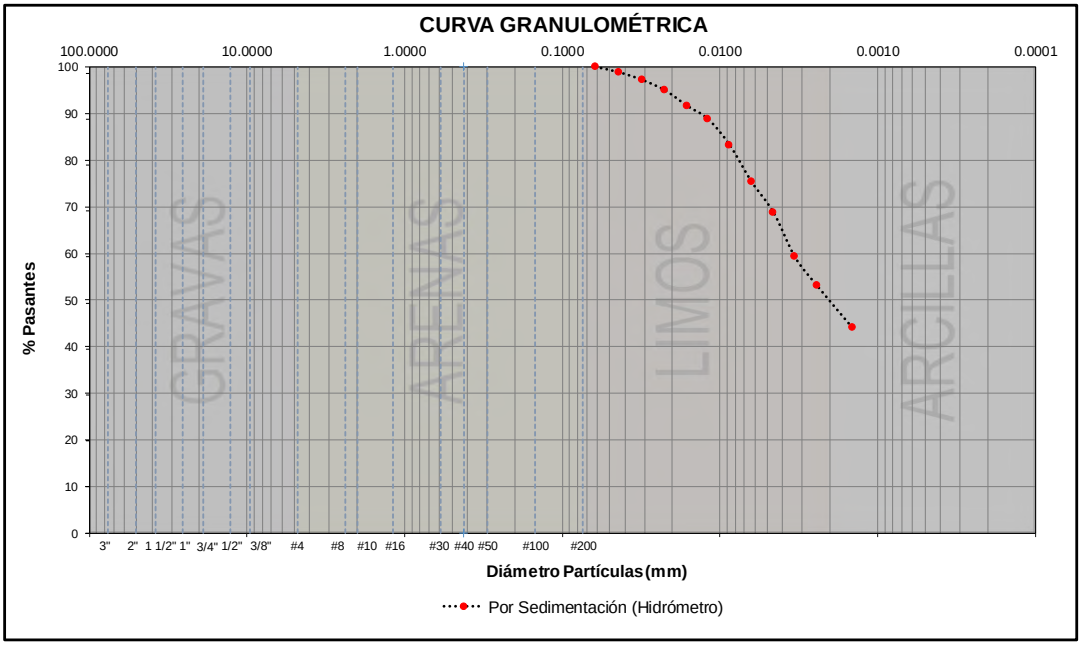
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	20/10/2025
LOCALIZACIÓN:	HUACARPAY - LUCRE - CUSCO	MUESTRA No.:	14
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	HU-M1-27
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.631			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Pártículas	Velocidad de caida de la Pártícula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	15.2	57	0.33	-0.40	8.75	57.3	44.8	7.0	0.0619	14.0000	100.0
1	15.2	56.5	0.33	-0.40	8.75	56.8	44.3	7.1	0.0441	7.1000	98.8
2	15.2	55.75	0.33	-0.40	8.75	56.1	43.5	7.1	0.0312	3.5500	97.2
4	15.2	54.75	0.33	-0.40	8.75	55.1	42.5	7.3	0.0223	1.8250	94.9
8	15.2	53.25	0.33	-0.40	8.75	53.6	41.0	7.6	0.0161	0.9500	91.6
15	15.2	52	0.33	-0.40	8.75	52.3	39.8	7.8	0.0119	0.5200	88.8
30	15.2	49.5	0.33	-0.40	8.75	49.8	37.3	8.3	0.0087	0.2767	83.2
60	15.4	46	0.33	-0.39	8.75	46.3	33.8	8.8	0.0063	0.1467	75.4
120	15.5	43	0.33	-0.39	8.74	43.3	30.8	9.2	0.0046	0.0767	68.7
240	15.6	38.75	0.33	-0.38	8.73	39.1	26.6	9.9	0.0034	0.0413	59.3
480	15.6	36	0.33	-0.38	8.73	36.3	23.8	10.4	0.0024	0.0217	53.2
1440	15.2	32	0.33	-0.40	8.75	32.3	19.8	11.1	0.0015	0.0077	44.2

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	50.8 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	49.2 %



Actividad =	0.7

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (AT-MI-28).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**21/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**15**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	AT-MI-28
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

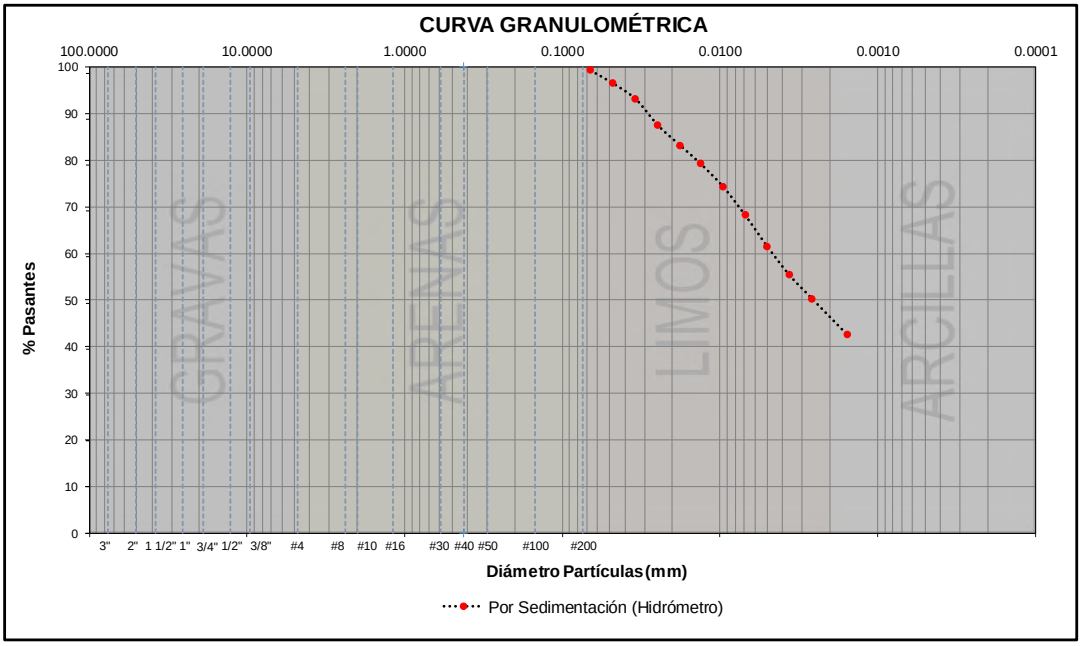
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.623			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.01	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	14.3	51	0.33	-0.47	8.81	51.3	44.3	7.9	0.0664	15.8000	99.1
1	14.3	49.75	0.33	-0.47	8.81	50.1	43.1	8.1	0.0475	8.1000	96.3
2	14.3	48.25	0.33	-0.47	8.81	48.6	41.6	8.4	0.0342	4.2000	93.0
4	14.3	45.75	0.33	-0.47	8.81	46.1	39.1	8.8	0.0248	2.2000	87.4
8	14.4	43.75	0.33	-0.44	8.79	44.1	37.1	9.1	0.0178	1.1375	83.0
15	14.4	42	0.33	-0.44	8.79	42.3	35.4	9.4	0.0132	0.6267	79.1
30	14.5	39.75	0.33	-0.42	8.78	40.1	33.2	9.7	0.0095	0.3233	74.1
60	14.6	37	0.33	-0.41	8.77	37.3	30.4	10.2	0.0069	0.1700	68.0
120	14.7	34	0.33	-0.40	8.76	34.3	27.4	10.7	0.0050	0.0892	61.4
240	14.8	31.25	0.33	-0.40	8.76	31.6	24.7	11.2	0.0036	0.0467	55.2
480	14.6	29	0.33	-0.41	8.77	29.3	22.4	11.5	0.0026	0.0240	50.2
1440	14.7	25.5	0.33	-0.40	8.76	25.8	18.9	12.2	0.0015	0.0085	42.4

0

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	53.3 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	45.8 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (AT-MI-29).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

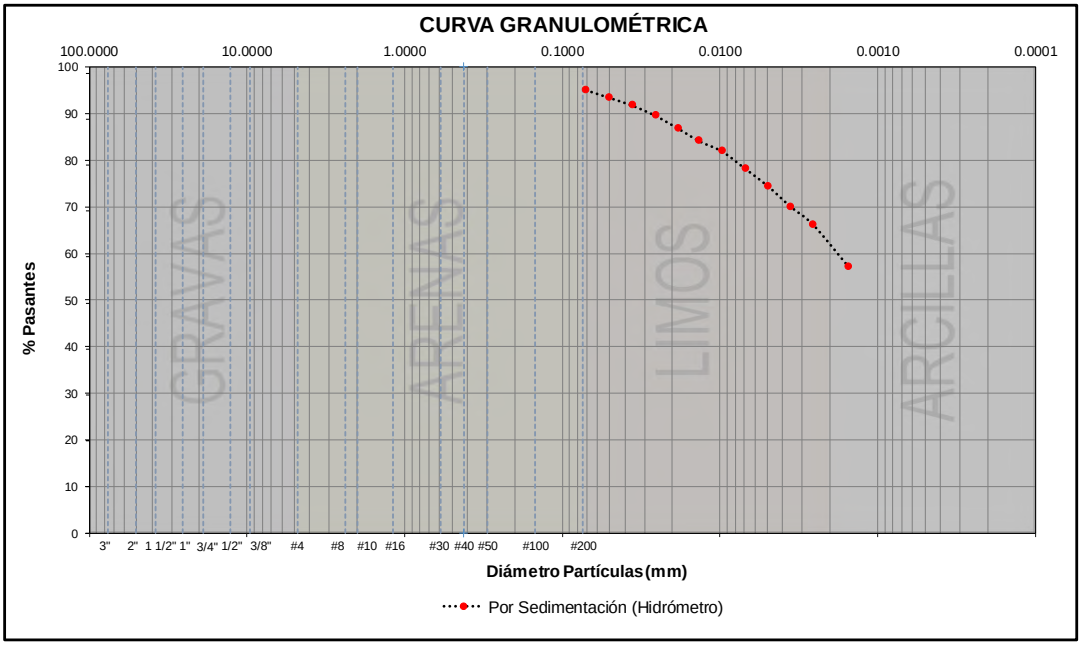
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**21/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**15**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	AT-MI-29
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.642			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	14.1	47.5	0.33	-0.53	8.88	47.8	42.7	8.6	0.0708	17.2000	95.1
1	14.1	46.75	0.33	-0.53	8.88	47.1	42.0	8.6	0.0500	8.6000	93.4
2	14.1	46	0.33	-0.53	8.88	46.3	41.2	8.8	0.0358	4.4000	91.7
4	14.1	45	0.33	-0.53	8.88	45.3	40.2	8.9	0.0254	2.2250	89.5
8	14.1	43.75	0.33	-0.53	8.88	44.1	39.0	9.1	0.0182	1.1375	86.7
15	14.2	42.5	0.33	-0.50	8.84	42.8	37.8	9.4	0.0135	0.6267	84.1
30	14.2	41.5	0.33	-0.50	8.84	41.8	36.8	9.6	0.0097	0.3200	81.9
60	14.3	39.75	0.33	-0.47	8.81	40.1	35.1	9.7	0.0069	0.1617	78.1
120	14.6	38	0.33	-0.41	8.77	38.3	33.4	10.1	0.0049	0.0842	74.4
240	14.7	36	0.33	-0.40	8.76	36.3	31.5	10.4	0.0036	0.0433	70.0
480	14.6	34.25	0.33	-0.41	8.77	34.6	29.7	10.7	0.0025	0.0223	66.1
1440	14.4	30.25	0.33	-0.44	8.79	30.6	25.6	11.4	0.0015	0.0079	57.1

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	33.8 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	61.3 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (AT-MI-30).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

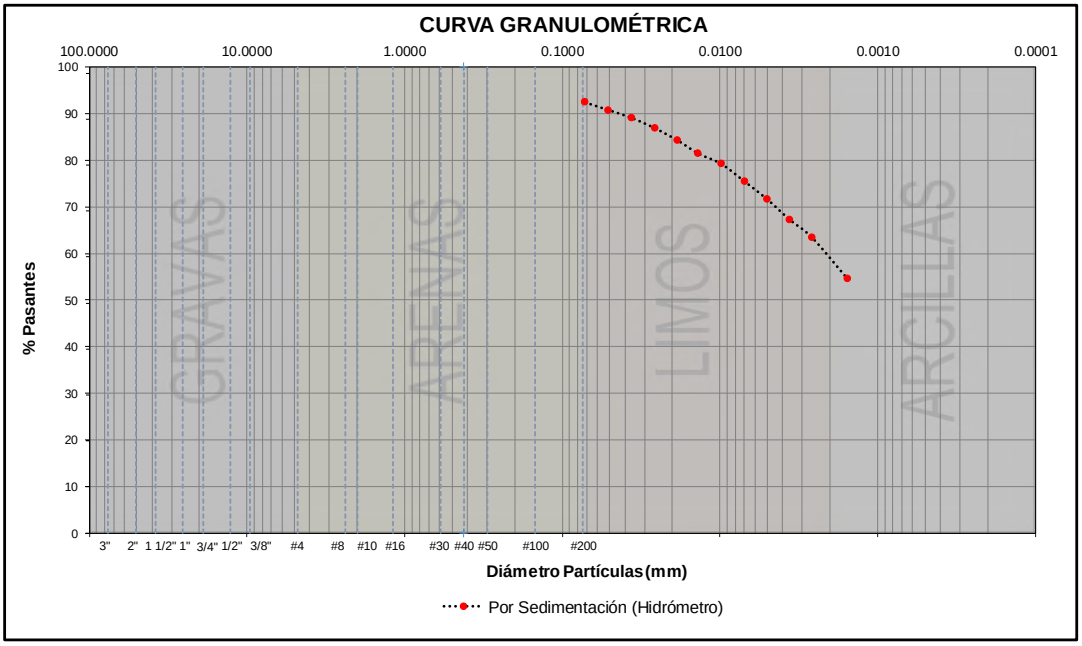
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	TIPO DE MUESTRA:	Inalterada
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	FECHA DE ENSAYO:	21/10/2025
LOCALIZACIÓN:	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	MUESTRA No.:	16
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	ATENCIÓN :	AT-MI-30
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CON BAJO CONTENIDO DE ARENA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRON AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	Agente Dispersante:	(NaPO3)6	Proporción:	8 g / 0.2 lt	Peso seco de los Solidos W, g:	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.653			Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Pártículas	Velocidad de caida de la Pártícula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	14.2	47.5	0.33	-0.50	8.84	47.8	41.6	8.6	0.0716	17.2000	92.3
1	14.2	46.75	0.33	-0.50	8.84	47.1	40.8	8.6	0.0506	8.6000	90.7
2	14.2	46	0.33	-0.50	8.84	46.3	40.1	8.8	0.0362	4.4000	89.0
4	14.2	45	0.33	-0.50	8.84	45.3	39.1	8.9	0.0258	2.2250	86.8
8	14.3	43.75	0.33	-0.47	8.81	44.1	37.9	9.1	0.0184	1.1375	84.1
15	14.3	42.5	0.33	-0.47	8.81	42.8	36.6	9.4	0.0137	0.6267	81.4
30	14.3	41.5	0.33	-0.47	8.81	41.8	35.6	9.6	0.0098	0.3200	79.2
60	14.4	39.75	0.33	-0.44	8.79	40.1	33.9	9.7	0.0069	0.1617	75.4
120	14.6	38	0.33	-0.41	8.77	38.3	32.2	10.1	0.0050	0.0842	71.6
240	14.7	36	0.33	-0.40	8.76	36.3	30.3	10.4	0.0036	0.0433	67.2
480	14.6	34.25	0.33	-0.41	8.77	34.6	28.5	10.7	0.0026	0.0223	63.3
1440	14.7	30.25	0.33	-0.40	8.76	30.6	24.5	11.4	0.0015	0.0079	54.4

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	34.0 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	58.4 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (AT-MI-31).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**21/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**16**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	AT-MI-31
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

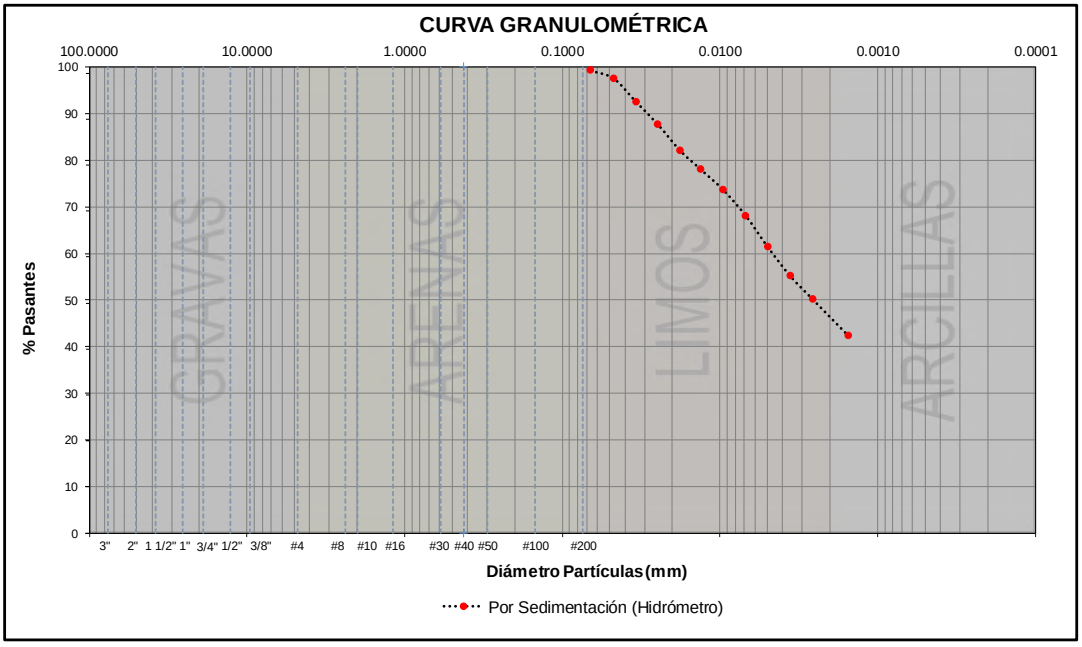
ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.615			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.01	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	14.4	51	0.33	-0.44	8.79	51.3	44.3	7.9	0.0658	15.8000	99.2
1	14.4	50.25	0.33	-0.44	8.79	50.6	43.5	8.1	0.0471	8.1000	97.5
2	14.4	48	0.33	-0.44	8.79	48.3	41.3	8.4	0.0339	4.2000	92.5
4	14.6	45.75	0.33	-0.41	8.77	46.1	39.1	8.8	0.0245	2.2000	87.6
8	14.6	43.25	0.33	-0.41	8.77	43.6	36.6	9.2	0.0177	1.1500	82.0
15	14.6	41.5	0.33	-0.41	8.77	41.8	34.8	9.6	0.0132	0.6400	78.0
30	14.7	39.5	0.33	-0.40	8.76	39.8	32.8	9.9	0.0095	0.3300	73.6
60	14.7	37	0.33	-0.40	8.76	37.3	30.3	10.2	0.0068	0.1700	68.0
120	14.7	34	0.33	-0.40	8.76	34.3	27.3	10.7	0.0049	0.0892	61.3
240	14.8	31.25	0.33	-0.40	8.76	31.6	24.6	11.2	0.0036	0.0467	55.1
480	14.6	29	0.33	-0.41	8.77	29.3	22.3	11.5	0.0026	0.0240	50.0
1440	14.7	25.5	0.33	-0.40	8.76	25.8	18.8	12.2	0.0015	0.0085	42.2

0

Finos:	Limos (0,074 - 0,002 mm) :	53.4 %	Arcillas (< 0,002 mm) * :	45.8 %



Actividad =	0.6

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Procesamiento de ensayo de granulometría por sedimentación (AT-MI-32).

	INFORME DE ENSAYO	Código	FPR-FIC-03
	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS POR SEDIMENTACIÓN DE LOS SUELOS ASTM D 7928-21	Versión	A
		Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

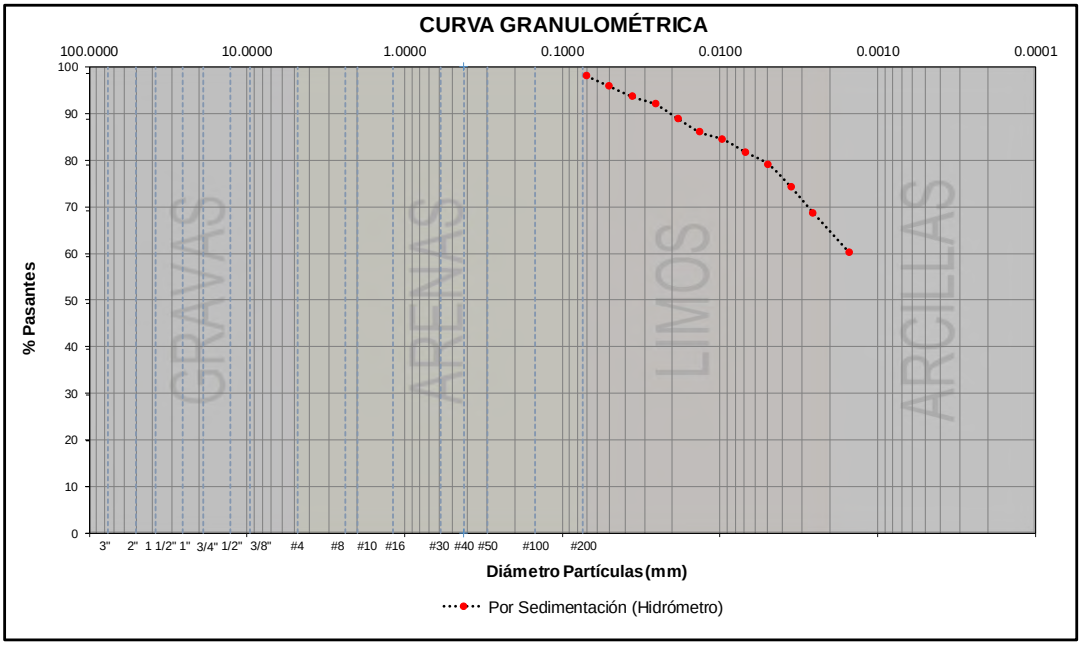
ALUMNO :	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA	**TIPO DE MUESTRA:**	**Inalterada**
TESIS:	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	**FECHA DE ENSAYO:**	**21/10/2025**
LOCALIZACIÓN:	ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO	**MUESTRA No.:**	**17**
MÉTODO DE ENSAYO :	GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN	**ATENCIÓN :**	AT-MI-32
DESCRIPCIÓN MUESTRA :	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)		

ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN (HIDRÓMETRO) PÁRTICULAR < 0,075mm

Hidrómetro:	152-H	**Agente Dispersante:**	(NaPO3)6	**Proporción:**	8 g / 0.2 lt	**Peso seco de los Solidos W, g:**	45.0
Gravedad específica de los solidos Gs:	2.645			**Factor de Corrección por Gravedad Específica (a):**		1.00	

Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lect. real Hidrómetro (R')	Factor de Correción Hidrómetro			Corregida por menisco R" = R´+ cm	Lectura Hidrometro por corrección compuesta R	Profundidad Efectiva (L),	Diámetro Párticulas	Velocidad de caida de la Párticula de suelo (cm/min)	% de partículas en supención
			cm	ct	cd		R"-Cd±Ct	cm	mm		
0.5	14.1	48.25	0.33	-0.53	8.88	48.6	44.1	8.4	0.0701	16.8000	98.1
1	14.1	47.25	0.33	-0.53	8.88	47.6	43.1	8.6	0.0502	8.6000	95.8
2	14.1	46.25	0.33	-0.53	8.88	46.6	42.1	8.8	0.0359	4.4000	93.6
4	14.1	45.5	0.33	-0.53	8.88	45.8	41.3	8.9	0.0255	2.2250	91.9
8	14.2	44	0.33	-0.50	8.84	44.3	39.9	9.1	0.0182	1.1375	88.8
15	14.2	42.75	0.33	-0.50	8.84	43.1	38.6	9.2	0.0134	0.6133	86.0
30	14.3	42	0.33	-0.47	8.81	42.3	38.0	9.4	0.0096	0.3133	84.4
60	14.3	40.75	0.33	-0.47	8.81	41.1	36.7	9.6	0.0068	0.1600	81.7
120	14.5	39.5	0.33	-0.42	8.78	39.8	35.5	9.9	0.0049	0.0825	79.1
240	14.6	37.25	0.33	-0.41	8.77	37.6	33.3	10.2	0.0035	0.0425	74.1
480	14.6	34.75	0.33	-0.41	8.77	35.1	30.8	10.6	0.0025	0.0221	68.5
1440	14.4	31	0.33	-0.44	8.79	31.3	27.0	11.2	0.0015	0.0078	60.1

Finos:	**Limos (0,074 - 0,002 mm) :**	34.0 %	**Arcillas (< 0,002 mm) * :**	64.1 %



Actividad =	0.5

OBSERVACIONES:

Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.

Anexo N°06: Ensayos de laboratorio – expansión controlada del suelo

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-01).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación	:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	Atención	: VS-MI-01
Alumno	:	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA		
Calicata	:	1		
Fecha	:	13/10/2025		
Tipo de Muestra	:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.63	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.28
	Altura (mm)	19.95
	Área (cm2)	29.49
	Volumen (cm3)	58.84
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	6
	Factor de carga	12.01
	Masa anillo (g)	42.94
	Presión Preliminar (Kpa)	1.07

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(38)
Profundidad:	1.50

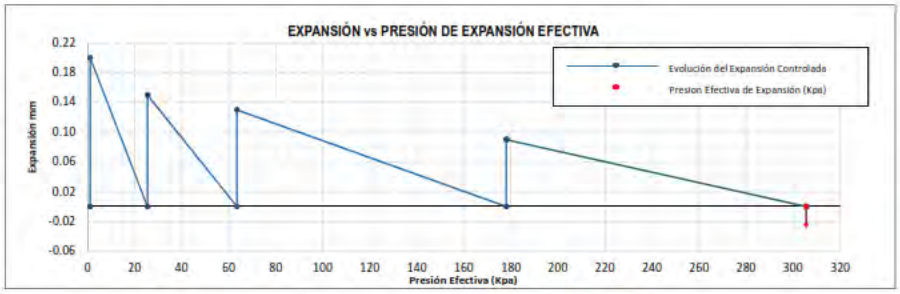
b) Propiedades Fisicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	153.620	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	165.250	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	110.680	ANTES DEL ENS
Muestra (g)	122.310	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.635	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.29%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.50%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
N° recipiente		N° recipiente	F-29
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	22.72
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	104.59
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	85.13
Humedad (%)	17.86%	Humedad (%)	31.18%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

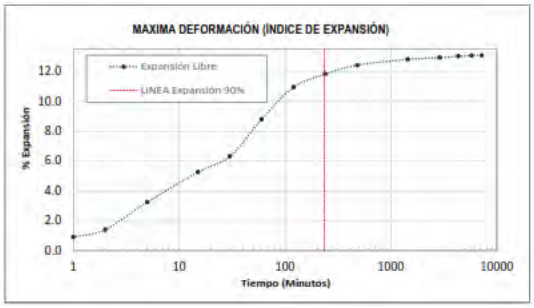
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	20	0.200	637	7652.09	25.44
8	15	0.150	1589	19088.17	63.47
33	13	0.130	4457	53540.57	178.02
965	9	0.090	7650	91897.10	305.56
	-2.50	-0.0250			



Presion de expansión =	305.56 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	18.0	0.180	0.90
2	28.0	0.280	1.40
5	65.0	0.650	3.26
15	105.0	1.050	5.26
30	126.0	1.260	6.32
60	175.5	1.755	8.80
120	218.5	2.185	10.95
240	236.0	2.360	11.83
480	248.0	2.480	12.43
1440	255.7	2.557	12.82
2880	258.0	2.580	12.93
4320	260.0	2.600	13.03
5760	260.8	2.608	13.07
7200	261.1	2.611	13.09



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	233.07 min
- Indice de Expansión:	13.09%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-02).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 1
Fecha : 14/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-02

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.66	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.2
	Altura (mm)	19.94
	Área (cm2)	29.42
	Volumen (cm3)	58.66
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	7
	Factor de carga	12.10
	Masa anillo (g)	43.51
	Presión Preliminar (Kpa)	1.07

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(32)
Profundidad:	2.50

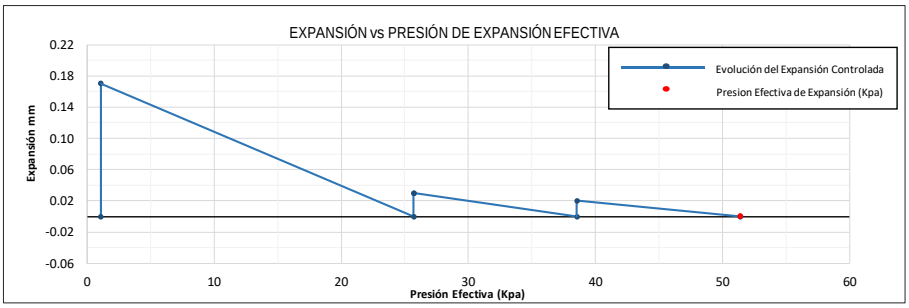
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	155.810	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	159.830	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	112.300	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	116.320	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.668	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.49%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.53%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	K-8850
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	22.32
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	103.99
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	83.74
Humedad (%)	30.69%	Humedad (%)	32.97%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

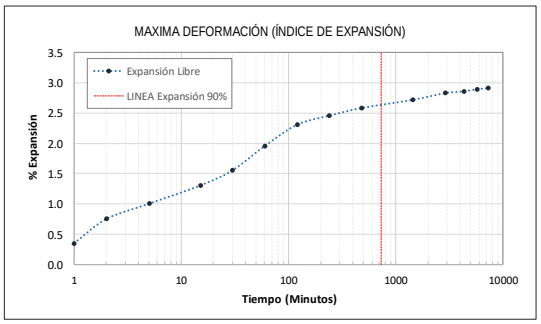
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
2	17	0.170	637	7704.56	25.68
8	3	0.030	956	11562.89	38.55
34	2	0.020	1275	15421.22	51.41
974	0	0.000			



Presion de expansión =	51.41 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	7.0	0.070	0.35
2	15.0	0.150	0.75
5	20.0	0.200	1.00
15	26.0	0.260	1.30
30	31.0	0.310	1.55
60	39.0	0.390	1.96
120	46.0	0.460	2.31
240	49.0	0.490	2.46
480	51.5	0.515	2.58
1440	54.2	0.542	2.72
2880	56.4	0.564	2.83
4320	57.0	0.570	2.86
5760	57.7	0.577	2.89
7200	58.0	0.580	2.91



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	728.89 min
- Indice de Expansión:	2.91%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-03).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 2
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-03

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.65	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.28
	Altura (mm)	19.95
	Área (cm2)	29.49
	Volumen (cm3)	58.84
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	6
	Factor de carga	12.01
	Masa anillo (g)	42.94
	Presión Preliminar (Kpa)	1.07

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(31)
Profundidad:	1.50

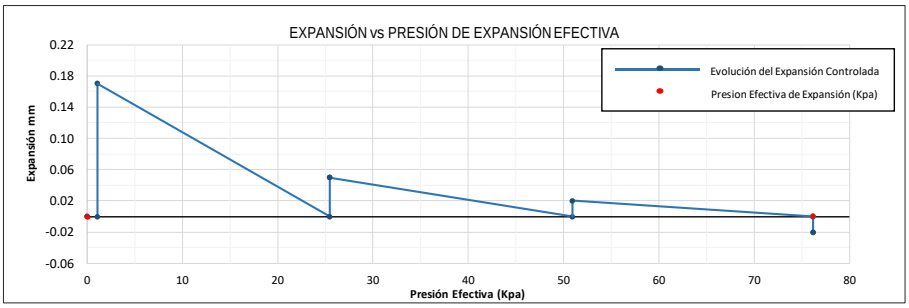
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	154.420	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	159.130	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	111.480	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	116.190	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.657	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.52%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.54%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	K-651
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	23.49
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	89.03
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	72.40
Humedad (%)	32.65%	Humedad (%)	34.00%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

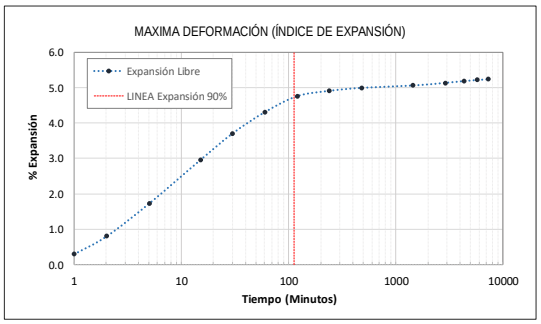
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	17	0.170	637	7652.09	25.44
25	5	0.050	1275	15316.18	50.93
860	2	0.020	1907	22908.20	76.17
1440	-2	-0.020			



Presion de expansión =	76.17 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	6.0	0.060	0.30
2	16.0	0.160	0.80
5	34.5	0.345	1.73
15	59.0	0.590	2.96
30	74.0	0.740	3.71
60	86.0	0.860	4.31
120	95.0	0.950	4.76
240	98.0	0.980	4.91
480	99.7	0.997	5.00
1440	101.0	1.010	5.06
2880	102.5	1.025	5.14
4320	103.5	1.035	5.19
5760	104.1	1.041	5.22
7200	104.5	1.045	5.24



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	113.67 min
- Indice de Expansión:	5.24%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-04).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 2
Fecha : 14/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-04

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.62	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.38
	Altura (mm)	19.89
	Área (cm2)	29.59
	Volumen (cm3)	58.85
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	4
	Factor de carga	12.01
	Masa anillo (g)	42.95
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(33)
Profundidad:	2.50

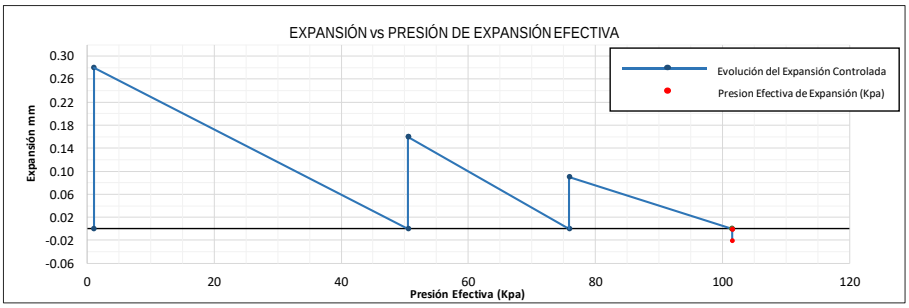
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	158.370	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	166.250	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	115.420	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	123.300	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.626	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.43%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.50%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	F-29
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	22.72
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	104.59
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	85.13
Humedad (%)	26.48%	Humedad (%)	31.18%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

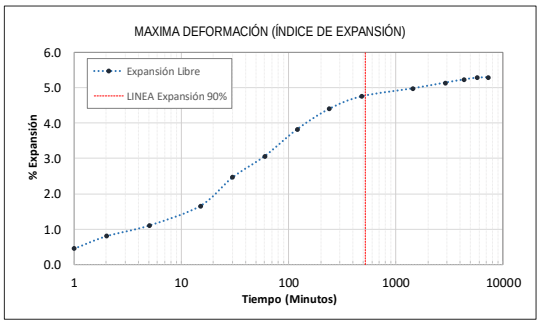
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
2	28	0.280	1270	15252.60	50.55
8	16	0.160	1907	22902.92	75.90
15	9	0.090	2550	30625.30	101.50
864	-2	-0.020			



Presion de expansión =	101.50 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	9.0	0.090	0.45
2	16.0	0.160	0.80
5	22.0	0.220	1.11
15	33.0	0.330	1.66
30	49.0	0.490	2.46
60	61.0	0.610	3.07
120	76.0	0.760	3.82
240	87.5	0.875	4.40
480	94.5	0.945	4.75
1440	99.0	0.990	4.98
2880	102.2	1.022	5.14
4320	104.0	1.040	5.23
5760	105.0	1.050	5.28
7200	105.2	1.052	5.29



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	518.40 min
- Indice de Expansión:	5.29%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-05).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Atención : VS-MI-05
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 3
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.65	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.2
	Altura (mm)	19.93
	Área (cm2)	29.42
	Volumen (cm3)	58.63
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	1
	Factor de carga	12.28
	Masa anillo (g)	43.01
	Presión Preliminar (Kpa)	1.05

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(33)
Profundidad:	1.50

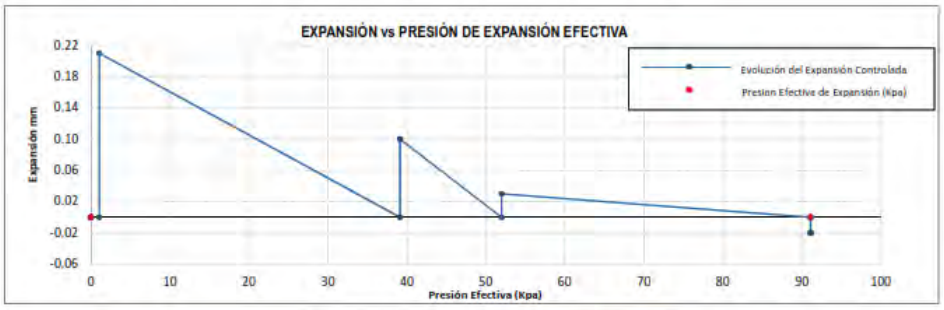
b) Propiedades Fisicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	150.490	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	153.270	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	107.480	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	110.260	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.658	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.51%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.53%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	L-03
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	23.46
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	102.08
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	82.46
Humedad (%)	31.96%	Humedad (%)	33.25%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

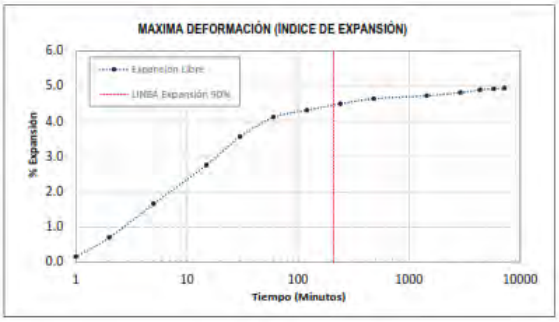
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
2	21	0.210	956	11737.21	39.13
30	10	0.100	1270	15592.32	51.98
1123	3	0.030	2226	27329.53	91.11
2440	-2	-0.020			



Presion de expansión = 91.11 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	3.0	0.030	0.15
2	14.0	0.140	0.70
5	33.0	0.330	1.66
15	55.0	0.550	2.76
30	71.0	0.710	3.56
60	82.0	0.820	4.11
120	86.0	0.860	4.32
240	89.6	0.896	4.50
480	92.5	0.925	4.64
1440	94.2	0.942	4.73
2880	96.0	0.960	4.82
4320	97.5	0.975	4.89
5760	98.1	0.981	4.92
7200	98.5	0.985	4.94



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	208.33 min
- Indice de Expansión:	4.94%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-06).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 3
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-06

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.62	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.23
	Altura (mm)	19.89
	Área (cm2)	29.45
	Volumen (cm3)	58.57
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	5
	Factor de carga	12.05
	Masa anillo (g)	42.91
	Presión Preliminar (Kpa)	1.09

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(34)
Profundidad:	2.50

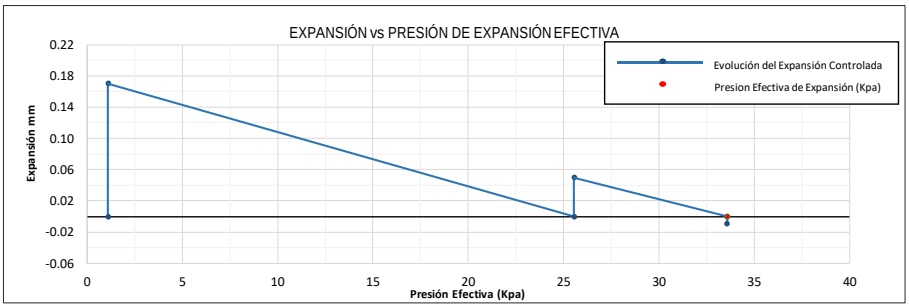
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	158.270	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	161.080	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	115.360	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	118.170	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.623	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.53%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.55%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	F-056
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	23.41
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	107.46
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	86.07
Humedad (%)	33.03%	Humedad (%)	34.14%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

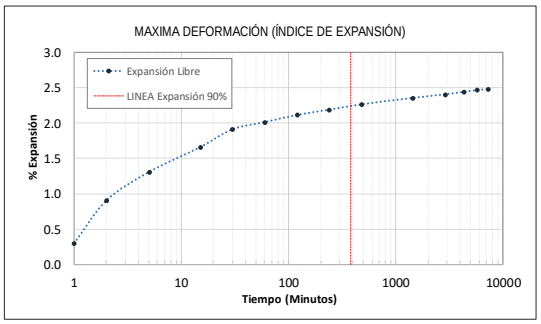
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	17	0.170	637	7673.79	25.56
12	5	0.050	837	10083.15	33.58
60	-1	-0.010			



Presion de expansión =	33.58 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	6.0	0.060	0.30
2	18.0	0.180	0.90
5	26.0	0.260	1.31
15	33.0	0.330	1.66
30	38.0	0.380	1.91
60	40.0	0.400	2.01
120	42.0	0.420	2.11
240	43.5	0.435	2.19
480	45.0	0.450	2.26
1440	46.8	0.468	2.35
2880	47.8	0.478	2.40
4320	48.5	0.485	2.44
5760	49.0	0.490	2.46
7200	49.3	0.493	2.48



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	379.20 min
- Indice de Expansión:	2.48%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-07).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 4
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-07

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.62	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.28
	Altura (mm)	19.94
	Área (cm2)	29.49
	Volumen (cm3)	58.81
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	8
	Factor de carga	11.98
	Masa anillo (g)	42.9
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(33)
Profundidad:	1.50

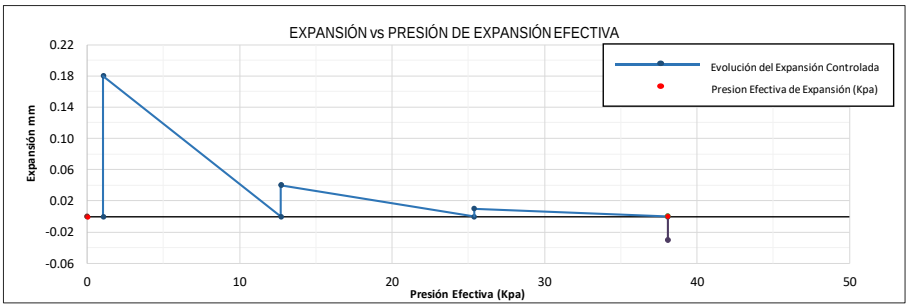
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	154.750	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	159.450	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	111.850	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	116.550	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.628	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.54%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.59%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	K-878
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	24.73
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	90.13
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	72.56
Humedad (%)	33.40%	Humedad (%)	36.73%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

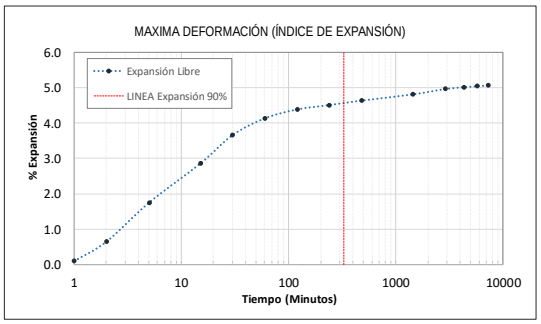
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	18	0.180	319	3821.62	12.71
29	4	0.040	637	7631.26	25.37
964	1	0.010	956	11452.88	38.08
1272	-3	-0.030			



Presion de expansión =	38.08 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	2.0	0.020	0.10
2	13.0	0.130	0.65
5	35.0	0.350	1.76
15	57.0	0.570	2.86
30	73.0	0.730	3.66
60	82.5	0.825	4.14
120	87.5	0.875	4.39
240	90.0	0.900	4.51
480	92.5	0.925	4.64
1440	96.0	0.960	4.81
2880	99.0	0.990	4.96
4320	100.0	1.000	5.02
5760	100.6	1.006	5.05
7200	101.0	1.010	5.07



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	326.40 min
- Indice de Expansión:	5.07%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-08).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación	:	VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO	Atención :	VS-MI-08
Alumno	:	DIEGO ALBERTO VERGARA VERA		
Calicata	:	4		
Fecha	:	15/10/2025		
Tipo de Muestra	:	ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)		

a) Características Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Específica	2.63	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.34
	Altura (mm)	19.95
	Área (cm2)	29.55
	Volumen (cm3)	58.95
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	3
	Factor de carga	12.20
	Masa anillo (g)	42.96
	Presión Preliminar (Kpa)	1.03

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(34)
Profundidad:	2.50

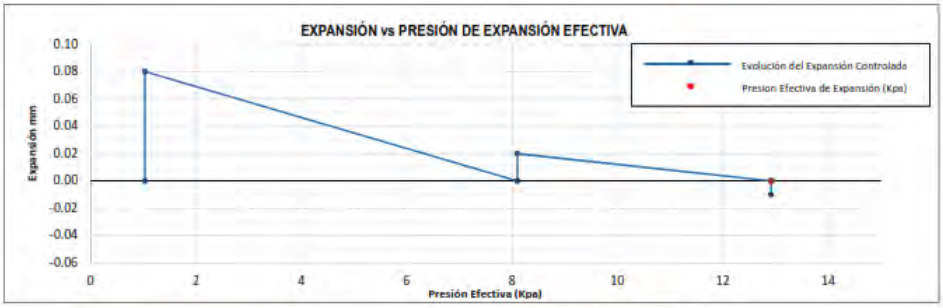
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	158.090	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	160.220	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	115.130	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	117.260	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.638	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.54%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.55%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
N° recipiente		N° recipiente	K-873
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	23.16
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	99.56
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	80.17
Humedad (%)	33.80%	Humedad (%)	34.01%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

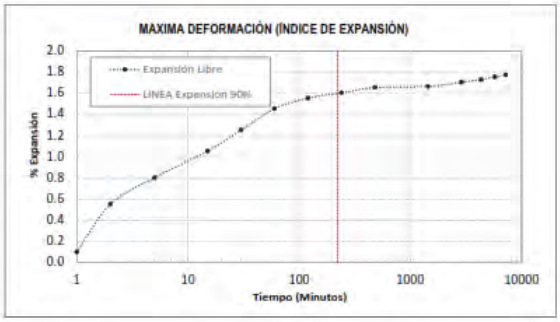
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
10	8	0.080	200	2439.82	8.10
1440	2	0.020	319	3891.51	12.91
1650	-1	-0.010			



Presion de expansión =	12.91 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	2.0	0.020	0.10
2	11.0	0.110	0.55
5	16.0	0.160	0.80
15	21.0	0.210	1.05
30	25.0	0.250	1.25
60	29.0	0.290	1.45
120	31.0	0.310	1.55
240	32.0	0.320	1.60
480	33.0	0.330	1.65
1440	33.2	0.332	1.66
2880	34.0	0.340	1.70
4320	34.5	0.345	1.73
5760	35.0	0.350	1.75
7200	35.4	0.354	1.77



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	223.20 min
- Indice de Expansión:	1.77%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-09).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Atención : VS-MI-09
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 5
Fecha : 14/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.63	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.28
	Altura (mm)	19.94
	Área (cm2)	29.49
	Volumen (cm3)	58.81
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	8
	Factor de carga	11.98
	Masa anillo (g)	42.9
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(35)
Profundidad:	1.50

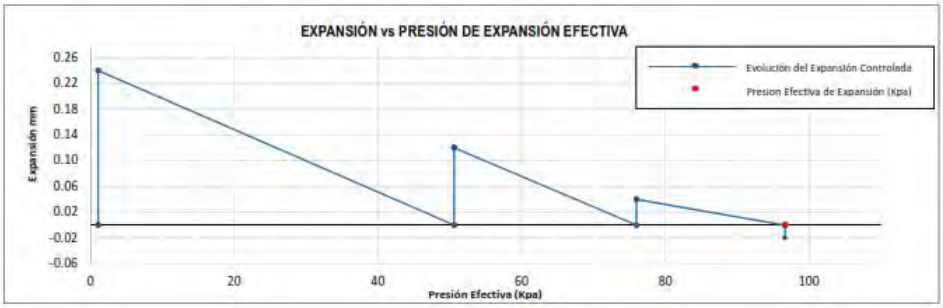
b) Propiedades Fisicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	159.460	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	162.060	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	116.560	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	119.160	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.634	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.48%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.52%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	K-869
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	22.34
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	105.20
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	84.97
Humedad (%)	29.81%	Humedad (%)	32.30%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

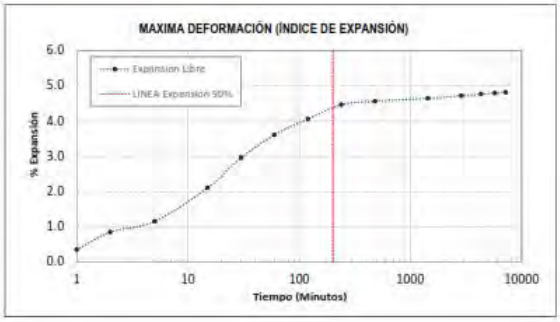
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
3	24	0.240	1270	15214.60	50.59
10	12	0.120	1907	22845.86	75.96
24	4	0.040	2426	29063.48	96.64
696	-2	-0.020			



Presion de expansión = 96.64 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	7.0	0.070	0.35
2	17.0	0.170	0.85
5	23.0	0.230	1.15
15	42.0	0.420	2.11
30	59.0	0.590	2.96
60	72.0	0.720	3.61
120	81.0	0.810	4.06
240	89.0	0.890	4.46
480	91.0	0.910	4.56
1440	92.6	0.926	4.64
2880	94.0	0.940	4.71
4320	95.0	0.950	4.76
5760	95.6	0.956	4.79
7200	96.0	0.960	4.81



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	201.00 min
- Indice de Expansión:	4.81%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-10).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 5
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-10

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.67	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.3
	Altura (mm)	19.93
	Área (cm2)	29.51
	Volumen (cm3)	58.82
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	9
	Factor de carga	10.19
	Masa anillo (g)	42.96
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(34)
Profundidad:	2.50

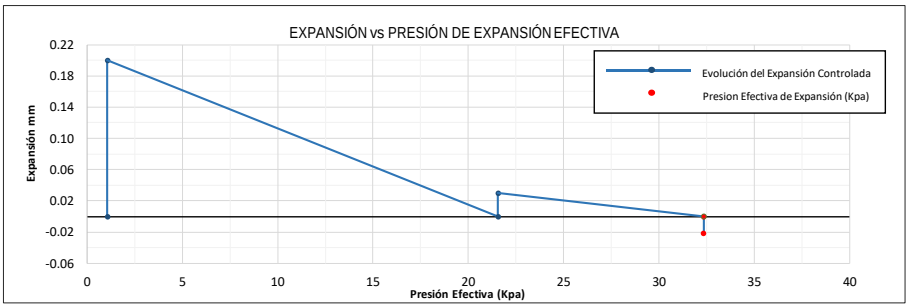
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	156.810	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	162.320	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	113.850	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	119.360	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.676	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.53%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.55%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	F-16	Nº recipiente	F-29
Peso Recipiente (g)	22.51	Peso Recipiente (g)	22.72
Recipiente + M. Humeda (g)	101.28	Recipiente + M. Humeda (g)	104.59
Recipiente + M. Seca (g)	81.71	Recipiente + M. Seca (g)	83.61
Humedad (%)	33.06%	Humedad (%)	34.46%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

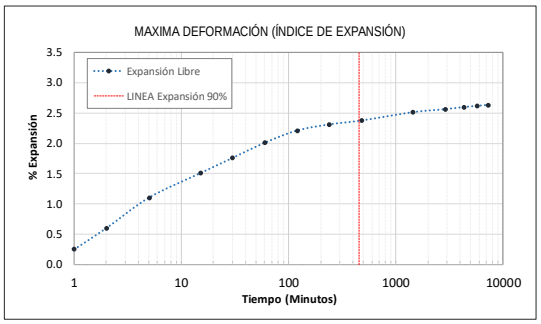
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	20	0.200	637	6487.94	21.56
8	3	0.030	956	9737.00	32.35
33	-2	-0.022			



Presion de expansión =	32.35 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	5.0	0.050	0.25
2	12.0	0.120	0.60
5	22.0	0.220	1.10
15	30.0	0.300	1.51
30	35.0	0.350	1.76
60	40.0	0.400	2.01
120	44.0	0.440	2.21
240	46.0	0.460	2.31
480	47.3	0.473	2.37
1440	50.0	0.500	2.51
2880	51.0	0.510	2.56
4320	51.7	0.517	2.59
5760	52.1	0.521	2.61
7200	52.4	0.524	2.63



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	454.15 min
- Indice de Expansión:	2.63%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-11).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 6
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-11

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.64	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.23
	Altura (mm)	19.89
	Área (cm2)	29.45
	Volumen (cm3)	58.57
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	5
	Factor de carga	12.05
	Masa anillo (g)	42.91
	Presión Preliminar (Kpa)	1.09

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(35)
Profundidad:	1.50

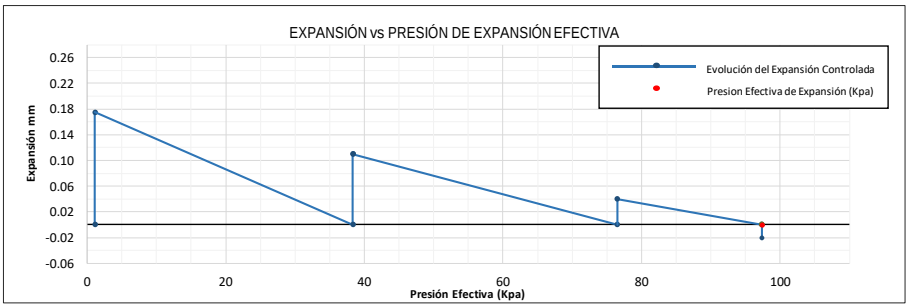
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	160.370	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	162.060	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	117.460	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	119.150	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.650	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.48%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.51%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	K-571
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	23.14
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	102.28
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	83.06
Humedad (%)	30.14%	Humedad (%)	32.08%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

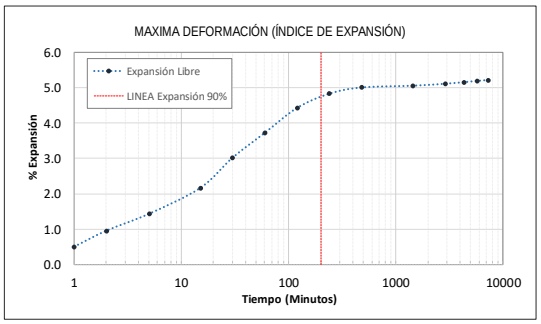
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
4	18	0.175	956	11516.71	38.36
15	11	0.110	1907	22973.19	76.51
30	4	0.040	2426	29225.46	97.33
820	-2	-0.020			



Presion de expansión =	97.33 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	10.0	0.100	0.50
2	19.0	0.190	0.96
5	28.5	0.285	1.43
15	43.0	0.430	2.16
30	60.0	0.600	3.02
60	74.0	0.740	3.72
120	88.0	0.880	4.42
240	96.0	0.960	4.83
480	99.5	0.995	5.00
1440	100.5	1.005	5.05
2880	101.6	1.016	5.11
4320	102.5	1.025	5.15
5760	103.2	1.032	5.19
7200	103.7	1.037	5.21



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	199.95 min
- Indice de Expansión:	5.21%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-12).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 6
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-12

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.65	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.42
	Altura (mm)	19.97
	Área (cm2)	29.63
	Volumen (cm3)	59.17
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	2
	Factor de carga	12.23
	Masa anillo (g)	42.92
	Presión Preliminar (Kpa)	1.03

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(33)
Profundidad:	2.50

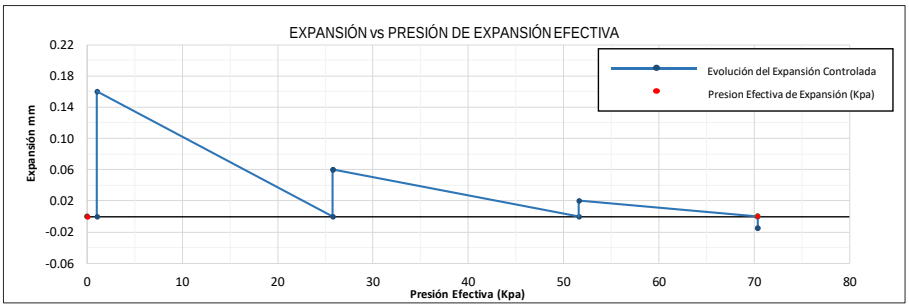
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	156.700	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	160.090	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	113.780	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	117.170	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.659	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.51%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.54%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	K-443
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	23.15
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	96.03
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	77.64
Humedad (%)	32.17%	Humedad (%)	33.75%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

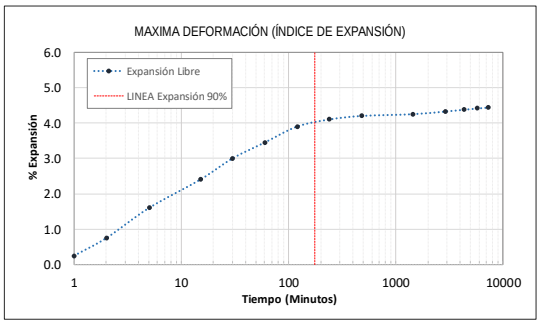
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	16	0.160	637	7787.48	25.78
25	6	0.060	1275	15587.19	51.59
860	2	0.020	1739	21259.71	70.37
1440	-2	-0.015			



Presion de expansión =	70.37 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	5.0	0.050	0.25
2	15.0	0.150	0.75
5	32.0	0.320	1.60
15	48.0	0.480	2.40
30	60.0	0.600	3.00
60	69.0	0.690	3.46
120	78.0	0.780	3.91
240	82.0	0.820	4.11
480	84.0	0.840	4.21
1440	85.0	0.850	4.26
2880	86.5	0.865	4.33
4320	87.5	0.875	4.38
5760	88.2	0.882	4.42
7200	88.7	0.887	4.44



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	174.90 min
- Indice de Expansión:	4.44%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-13).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 7
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-13

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.67	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.2
	Altura (mm)	19.94
	Área (cm2)	29.42
	Volumen (cm3)	58.66
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	7
	Factor de carga	12.10
	Masa anillo (g)	43.51
	Presión Preliminar (Kpa)	1.07

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(35)
Profundidad:	1.50

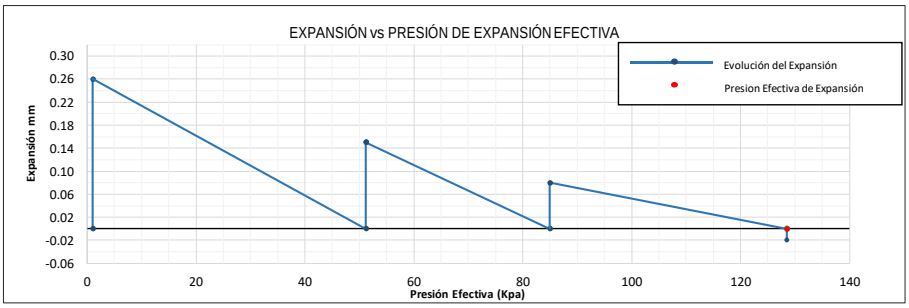
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	159.140	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	161.280	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	115.630	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	117.770	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.673	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.41%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.43%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	F-32
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	24.65
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	103.43
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	86.60
Humedad (%)	25.66%	Humedad (%)	27.17%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

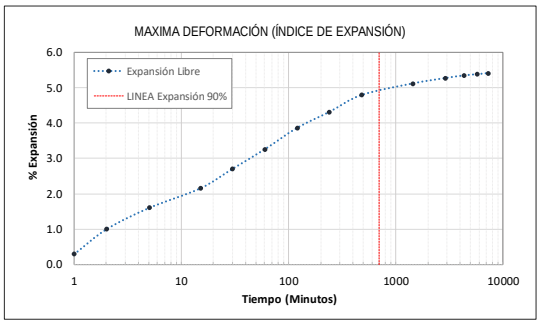
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	26	0.260	1270	15360.75	51.21
10	15	0.150	2107	25484.33	84.96
18	8	0.080	3187	38547.01	128.50
1440	-2	-0.020			



Presion de expansión =	128.50 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	6.0	0.060	0.30
2	20.0	0.200	1.00
5	32.0	0.320	1.60
15	43.0	0.430	2.16
30	54.0	0.540	2.71
60	65.0	0.650	3.26
120	77.0	0.770	3.86
240	86.0	0.860	4.31
480	95.5	0.955	4.79
1440	102.0	1.020	5.12
2880	105.0	1.050	5.27
4320	106.5	1.065	5.34
5760	107.2	1.072	5.38
7200	107.8	1.078	5.41



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	704.49 min
- Indice de Expansión:	5.41%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-14).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 7
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-14

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.66	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.2
	Altura (mm)	19.93
	Área (cm2)	29.42
	Volumen (cm3)	58.63
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	1
	Factor de carga	12.28
	Masa anillo (g)	43.01
	Presión Preliminar (Kpa)	1.05

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(36)
Profundidad:	2.50

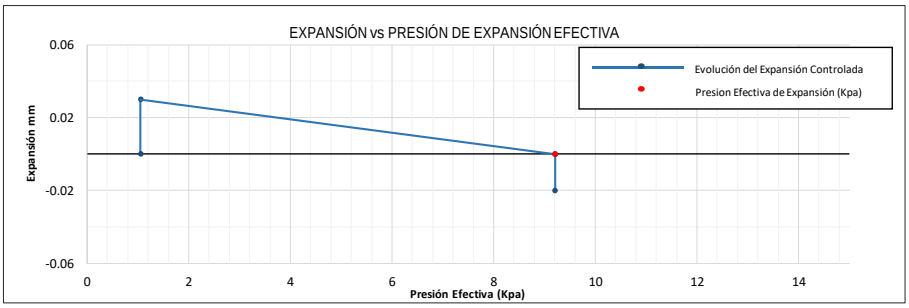
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	155.650	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	156.100	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	112.640	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	113.090	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.667	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.56%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.58%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	N-6	Nº recipiente	K-874
Peso Recipiente (g)	26.45	Peso Recipiente (g)	23.33
Recipiente + M. Humeda (g)	127.65	Recipiente + M. Humeda (g)	101.51
Recipiente + M. Seca (g)	101.46	Recipiente + M. Seca (g)	80.56
Humedad (%)	34.92%	Humedad (%)	36.61%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

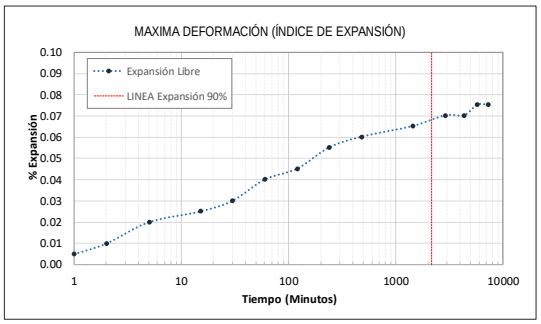
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
15	3	0.030	225	2762.42	9.21
1440	-2	-0.020			



Presion de expansión =	9.21 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	0.1	0.001	0.01
2	0.2	0.002	0.01
5	0.4	0.004	0.02
15	0.5	0.005	0.03
30	0.6	0.006	0.03
60	0.8	0.008	0.04
120	0.9	0.009	0.05
240	1.1	0.011	0.06
480	1.2	0.012	0.06
1440	1.3	0.013	0.07
2880	1.4	0.014	0.07
4320	1.4	0.014	0.07
5760	1.5	0.015	0.08
7200	1.5	0.015	0.08



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	2160.00 min
- Indice de Expansión:	0.08%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-15).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 8
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-15

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.67	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.28
	Altura (mm)	19.95
	Área (cm2)	29.49
	Volumen (cm3)	58.84
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	6
	Factor de carga	12.01
	Masa anillo (g)	42.94
	Presión Preliminar (Kpa)	1.07

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(34)
Profundidad:	1.50

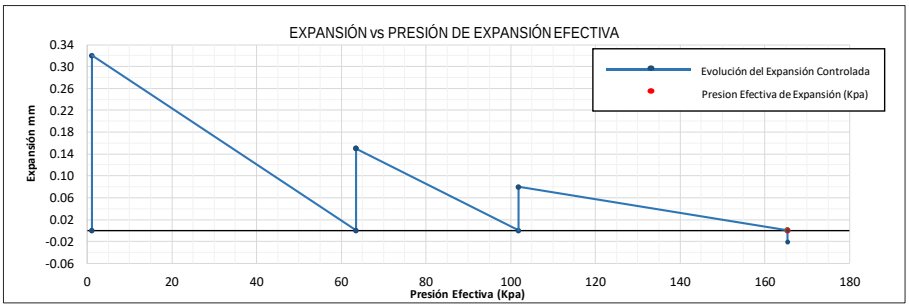
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	160.080	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	161.290	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	117.140	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	118.350	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.679	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.39%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.47%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	K-871
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	22.18
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	89.56
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	74.12
Humedad (%)	24.53%	Humedad (%)	29.73%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

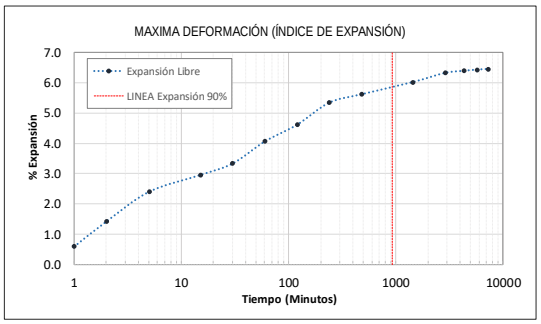
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	32	0.320	1589	19088.17	63.47
6	15	0.150	2550	30632.37	101.85
18	8	0.080	4139	49720.53	165.32
920	-2	-0.020			



Presion de expansión =	165.32 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	12.0	0.120	0.60
2	28.5	0.285	1.43
5	48.0	0.480	2.41
15	59.0	0.590	2.96
30	66.5	0.665	3.33
60	81.0	0.810	4.06
120	92.0	0.920	4.61
240	106.5	1.065	5.34
480	112.0	1.120	5.61
1440	120.0	1.200	6.02
2880	126.0	1.260	6.32
4320	127.4	1.274	6.39
5760	128.2	1.282	6.43
7200	128.6	1.286	6.45



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	928.80 min
- Indice de Expansión:	6.45%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-16).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 8
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-16

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.65	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.38
	Altura (mm)	19.89
	Área (cm2)	29.59
	Volumen (cm3)	58.85
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	4
	Factor de carga	12.01
	Masa anillo (g)	42.95
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(35)
Profundidad:	2.50

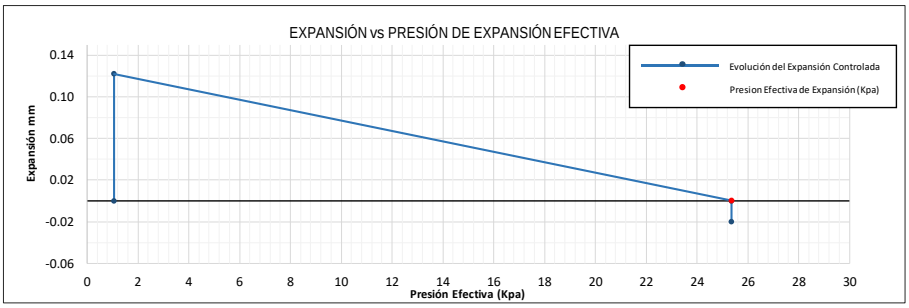
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	155.420	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	156.120	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	112.470	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	113.170	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.661	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.53%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.56%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	L-26	Nº recipiente	F-075
Peso Recipiente (g)	26.59	Peso Recipiente (g)	23.24
Recipiente + M. Humeda (g)	148.26	Recipiente + M. Humeda (g)	99.45
Recipiente + M. Seca (g)	117.90	Recipiente + M. Seca (g)	79.71
Humedad (%)	33.25%	Humedad (%)	34.96%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

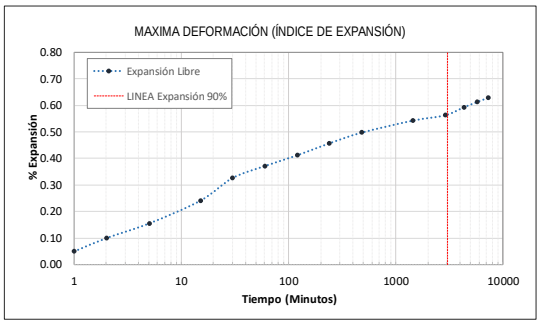
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
14	12	0.122	637	7650.32	25.35
960	-2	-0.020			



Presion de expansión =	25.35 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	1.0	0.010	0.05
2	2.0	0.020	0.10
5	3.1	0.031	0.16
15	4.8	0.048	0.24
30	6.5	0.065	0.33
60	7.4	0.074	0.37
120	8.2	0.082	0.41
240	9.1	0.091	0.46
480	9.9	0.099	0.50
1440	10.8	0.108	0.54
2880	11.2	0.112	0.56
4320	11.8	0.118	0.59
5760	12.2	0.122	0.61
7200	12.5	0.125	0.63



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	3060.00 min
- Indice de Expansión:	0.63%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-17).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 9
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-17

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.63	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.28
	Altura (mm)	19.95
	Área (cm2)	29.49
	Volumen (cm3)	58.84
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	6
	Factor de carga	12.01
	Masa anillo (g)	42.94
	Presión Preliminar (Kpa)	1.07

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(35)
Profundidad:	1.50

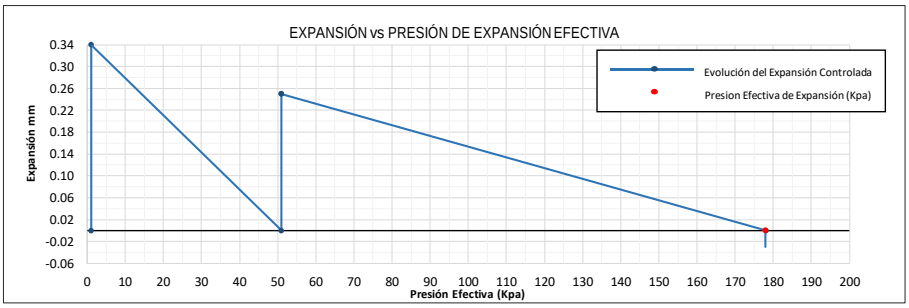
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	159.310	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	165.480	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	116.370	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	122.540	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.637	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.34%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.42%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	L-003
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	22.06
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	96.73
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	81.14
Humedad (%)	21.18%	Humedad (%)	26.39%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

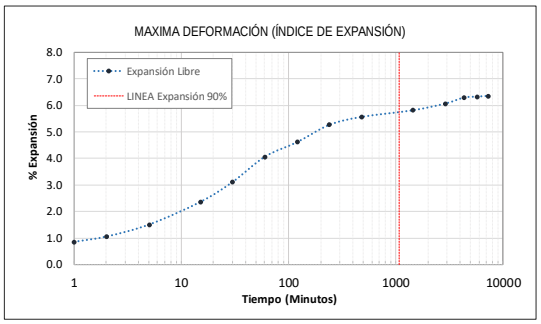
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	34	0.340	1275	15316.18	50.93
35	25	0.250	4457	53540.57	178.02
1440	-3	-0.030			



Presion de expansión =	178.02 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	17.0	0.170	0.85
2	21.0	0.210	1.05
5	30.0	0.300	1.50
15	47.0	0.470	2.36
30	62.0	0.620	3.11
60	81.0	0.810	4.06
120	92.0	0.920	4.61
240	105.0	1.050	5.26
480	111.0	1.110	5.56
1440	116.0	1.160	5.81
2880	121.0	1.210	6.07
4320	125.5	1.255	6.29
5760	126.3	1.263	6.33
7200	126.8	1.268	6.36



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	1079.04 min
- Indice de Expansión:	6.36%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-18).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 9
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-18

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.66	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.2
	Altura (mm)	19.93
	Área (cm2)	29.42
	Volumen (cm3)	58.63
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	1
	Factor de carga	12.28
	Masa anillo (g)	43.01
	Presión Preliminar (Kpa)	1.05

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(35)
Profundidad:	2.50

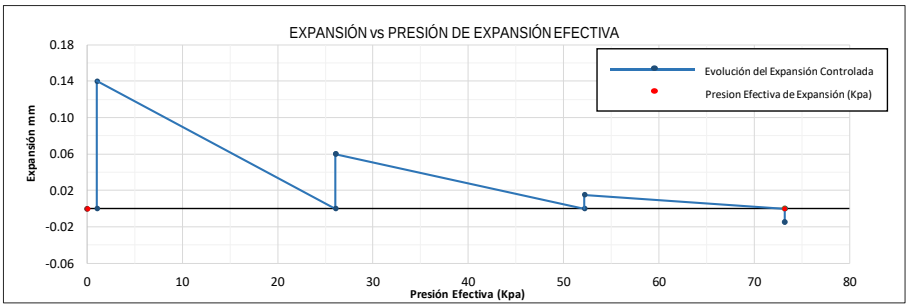
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	158.420	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	159.860	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	115.410	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	116.850	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.669	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.51%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.53%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	K-220
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	23.19
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	100.25
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	80.96
Humedad (%)	32.29%	Humedad (%)	33.39%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

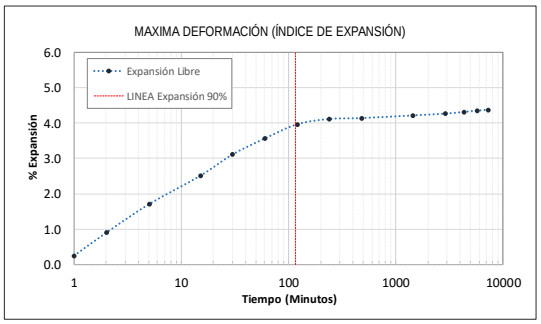
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	14	0.140	637	7820.71	26.07
15	6	0.060	1275	15653.71	52.18
820	2	0.015	1789	21964.30	73.22
1440	-2	-0.015			



Presion de expansión =	73.22 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	5.0	0.050	0.25
2	18.0	0.180	0.90
5	34.0	0.340	1.71
15	50.0	0.500	2.51
30	62.0	0.620	3.11
60	71.0	0.710	3.56
120	79.0	0.790	3.96
240	82.0	0.820	4.11
480	82.5	0.825	4.14
1440	84.0	0.840	4.21
2880	85.0	0.850	4.26
4320	86.0	0.860	4.32
5760	86.7	0.867	4.35
7200	87.2	0.872	4.38



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	116.10 min
- Indice de Expansión:	4.38%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (VS-MI-19).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : VILLA EL SOL - SAN JERÓNIMO - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 10
Fecha : 15/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : VS-MI-19

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.64	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.34
	Altura (mm)	19.95
	Área (cm2)	29.55
	Volumen (cm3)	58.95
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	3
	Factor de carga	12.20
	Masa anillo (g)	42.96
	Presión Preliminar (Kpa)	1.03

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(36)
Profundidad:	1.50

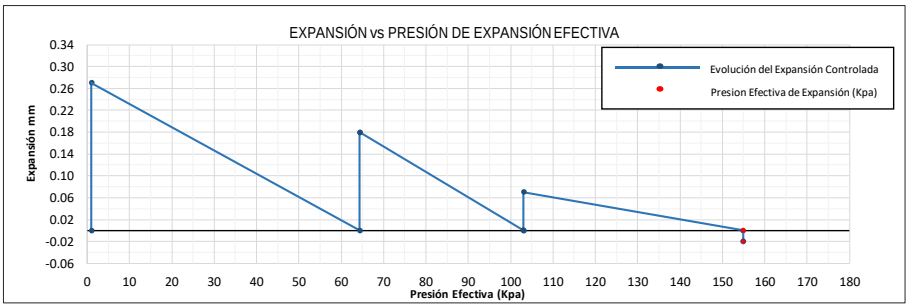
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	159.310	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	165.480	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	116.350	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	122.520	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.642	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.41%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.50%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	Ñ-3	Nº recipiente	L-04
Peso Recipiente (g)	29.36	Peso Recipiente (g)	21.42
Recipiente + M. Humeda (g)	154.33	Recipiente + M. Humeda (g)	119.81
Recipiente + M. Seca (g)	128.66	Recipiente + M. Seca (g)	96.40
Humedad (%)	25.85%	Humedad (%)	31.22%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

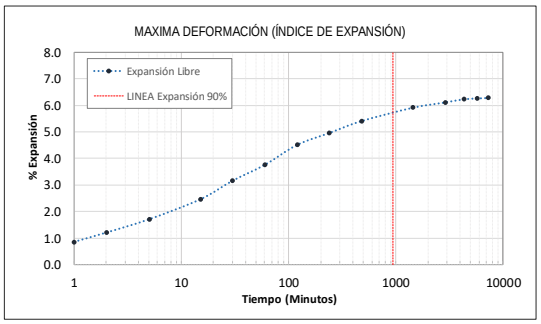
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	27	0.270	1589	19384.34	64.33
29	18	0.180	2545	31046.67	103.03
964	7	0.070	3825	46661.49	154.85
1440	-2	-0.020			



Presion de expansión =	154.85 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	17.0	0.170	0.85
2	24.0	0.240	1.20
5	34.0	0.340	1.70
15	49.0	0.490	2.46
30	63.0	0.630	3.16
60	75.0	0.750	3.76
120	90.0	0.900	4.51
240	99.0	0.990	4.96
480	108.0	1.080	5.41
1440	118.0	1.180	5.91
2880	122.0	1.220	6.12
4320	124.4	1.244	6.24
5760	125.0	1.250	6.27
7200	125.4	1.254	6.29



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	946.56 min
- Indice de Expansión:	6.29%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (HU-MI-20).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : HUACARPAY - LUCRE - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 11
Fecha : 18/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)

Atención : HU-MI-20

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.63	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.2
	Altura (mm)	19.93
	Área (cm2)	29.42
	Volumen (cm3)	58.63
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	1
	Factor de carga	12.28
	Masa anillo (g)	43.01
	Presión Preliminar (Kpa)	1.05

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(39)
Profundidad:	1.80

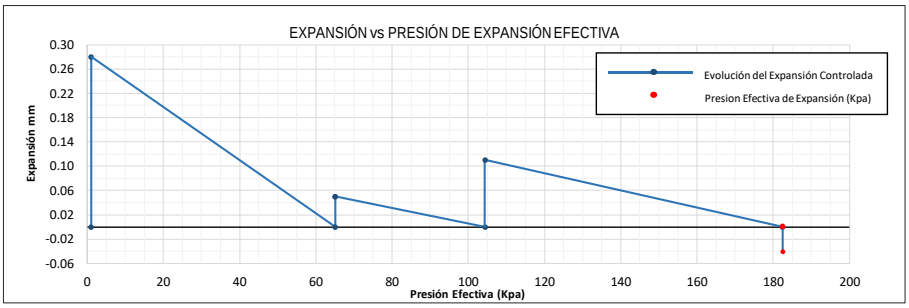
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	157.670	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	166.970	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	114.660	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	123.960	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.636	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.35%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.56%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	F-083	Nº recipiente	Ñ-9
Peso Recipiente (g)	22.62	Peso Recipiente (g)	28.11
Recipiente + M. Humeda (g)	115.22	Recipiente + M. Humeda (g)	99.27
Recipiente + M. Seca (g)	98.51	Recipiente + M. Seca (g)	80.92
Humedad (%)	22.02%	Humedad (%)	34.75%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

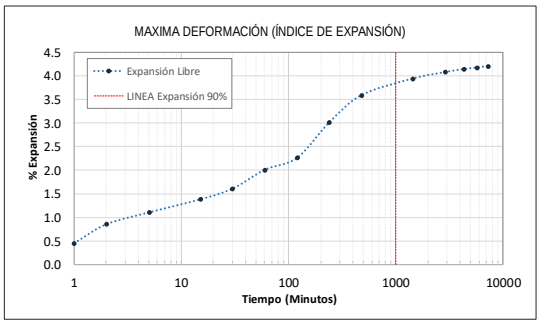
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	28	0.280	1589	19508.82	65.04
44	5	0.050	2550	31307.41	104.37
780	11	0.110	4457	54720.45	182.42
2880	-4	-0.040			



Presion de expansión =	182.42 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	9.0	0.090	0.45
2	17.0	0.170	0.85
5	22.0	0.220	1.10
15	27.5	0.275	1.38
30	32.0	0.320	1.61
60	40.0	0.400	2.01
120	45.0	0.450	2.26
240	60.0	0.600	3.01
480	71.5	0.715	3.59
1440	78.5	0.785	3.94
2880	81.2	0.812	4.07
4320	82.5	0.825	4.14
5760	83.2	0.832	4.17
7200	83.7	0.837	4.20



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	1005.26 min
- Indice de Expansión:	4.20%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (HU-MI-21).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : HUACARPAY - LUCRE - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 11
Fecha : 20/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)

Atención : HU-M1-21

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.61	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.34
	Altura (mm)	19.95
	Área (cm2)	29.55
	Volumen (cm3)	58.95
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	3
	Factor de carga	12.20
	Masa anillo (g)	42.96
	Presión Preliminar (Kpa)	1.03

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(34)
Profundidad:	2.80

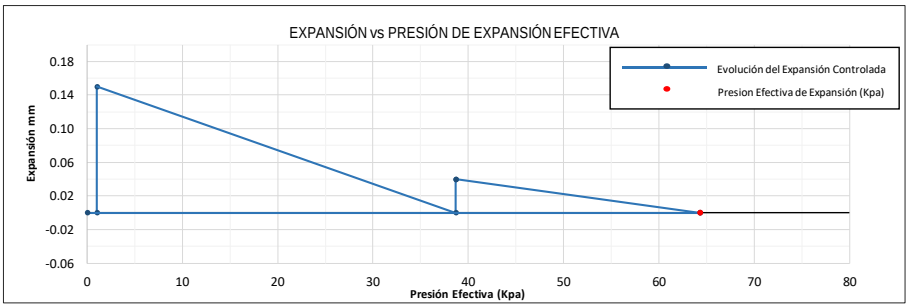
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	148.200	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	153.170	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	105.240	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	110.210	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.614	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.47%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.69%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	F-039	Nº recipiente	L-25
Peso Recipiente (g)	22.4	Peso Recipiente (g)	27.49
Recipiente + M. Humeda (g)	76.71	Recipiente + M. Humeda (g)	106.61
Recipiente + M. Seca (g)	64.56	Recipiente + M. Seca (g)	82.99
Humedad (%)	28.82%	Humedad (%)	42.56%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

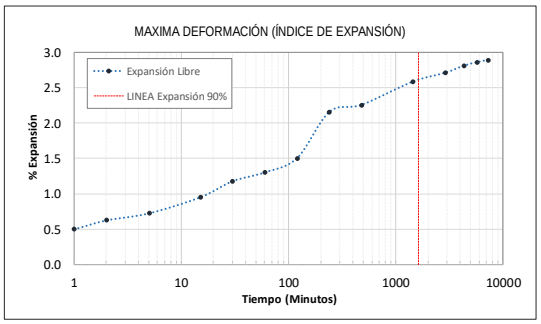
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
2	15	0.150	956	11662.32	38.70
19	4	0.040	1589	19384.34	64.33
2800	0	0.000			



Presion de expansión =	64.33 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	10.0	0.100	0.50
2	12.5	0.125	0.63
5	14.5	0.145	0.73
15	19.0	0.190	0.95
30	23.5	0.235	1.18
60	26.0	0.260	1.30
120	30.0	0.300	1.50
240	43.0	0.430	2.16
480	45.0	0.450	2.26
1440	51.5	0.515	2.58
2880	54.0	0.540	2.71
4320	56.0	0.560	2.81
5760	57.0	0.570	2.86
7200	57.6	0.576	2.89



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	1635.84 min
- Indice de Expansión:	2.89%

OBSERVACIONES:

Se sometió a un secado a la interperie en bloque antes del tallado, considerando que en su estado natural, no iba a sufrir cambios de volumente (expansión).

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (HU-MI-22).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : HUACARPAY - LUCRE - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 12
Fecha : 20/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)

Atención : HU-M1-22

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.62	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.38
	Altura (mm)	19.89
	Área (cm2)	29.59
	Volumen (cm3)	58.85
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	4
	Factor de carga	12.01
	Masa anillo (g)	42.95
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(36)
Profundidad:	1.50

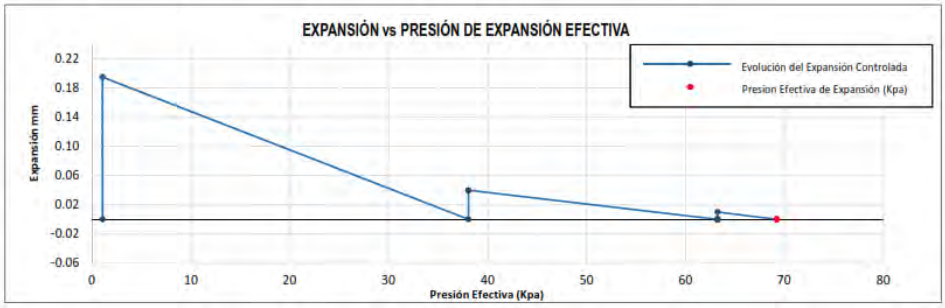
b) Propiedades Fisicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	157.540	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	160.390	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	114.590	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	117.440	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.623	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.46%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.50%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
N° recipiente	L-26	N° recipiente	L-04
Peso Recipiente (g)	28.82	Peso Recipiente (g)	21.42
Recipiente + M. Humeda (g)	158.45	Recipiente + M. Humeda (g)	119.81
Recipiente + M. Seca (g)	129.89	Recipiente + M. Seca (g)	96.40
Humedad (%)	28.26%	Humedad (%)	31.22%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

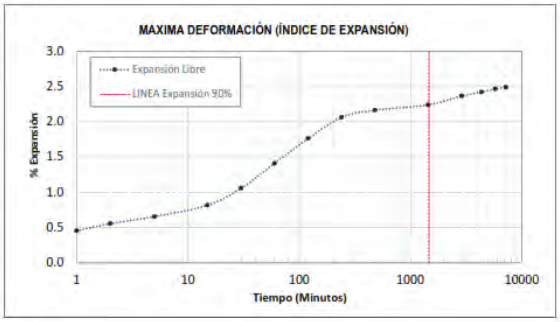
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
2	20	0.195	956	11481.49	38.05
15	4	0.040	1589	19083.77	63.25
1050	1	0.010	1739	20885.26	69.22
2880	0	0.000			



Presion de expansión = 69.22 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	9.0	0.090	0.45
2	11.0	0.110	0.55
5	13.0	0.130	0.65
15	16.2	0.162	0.81
30	21.0	0.210	1.06
60	28.0	0.280	1.41
120	35.0	0.350	1.76
240	41.0	0.410	2.06
480	43.0	0.430	2.16
1440	44.5	0.445	2.24
2880	47.0	0.470	2.36
4320	48.1	0.481	2.42
5760	49.0	0.490	2.46
7200	49.5	0.495	2.49



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	1468.80 min
- Indice de Expansión:	2.49%

OBSERVACIONES:

Se sometió a un secado a la interperie de 24 horas en bloque antes del tallado, considerando que en su estado natural, no iba a sufrir cambios de volumente (expansión).

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (HU-MI-23).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : HUACARPAY-LUCRE-CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 12
Fecha : 20/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO)

Atención : HU-MI-23

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.64	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.28
	Altura (mm)	19.95
	Área (cm2)	29.49
	Volumen (cm3)	58.84
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	6
	Factor de carga	12.01
	Masa anillo (g)	42.94
	Presión Preliminar (Kpa)	1.07

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(33)
Profundidad:	2.50

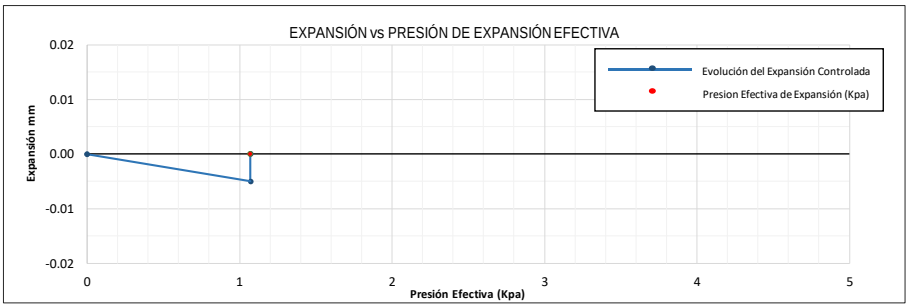
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	155.560	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	158.720	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	112.620	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	115.780	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.647	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.49%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.52%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	Ñ-1
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	18.03
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	62.23
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	51.45
Humedad (%)	30.29%	Humedad (%)	32.26%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

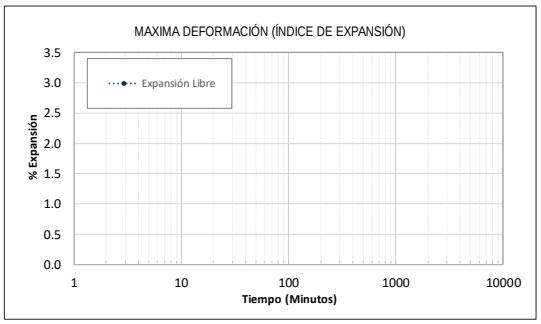
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1440	-1	-0.005	0	0.00	0.00



Presion de expansión =	1.07 KPa	Esfuerzo de Preconsolidación

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1			
2			
5			
15			
30			
60			
120			
240			
480			
1440			
2880			
4320			
5760			
7200			



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	---
- Indice de Expansión:	---

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (HU-MI-24).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : HUACARPAY - LUCRE - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 13
Fecha : 18/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIAL ORGANICO MÍNIMO)

Atención : HU-MI-24

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.65	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.42
	Altura (mm)	19.97
	Área (cm2)	29.63
	Volumen (cm3)	59.17
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	2
	Factor de carga	12.23
	Masa anillo (g)	42.92
	Presión Preliminar (Kpa)	1.03

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(38)
Profundidad:	1.80

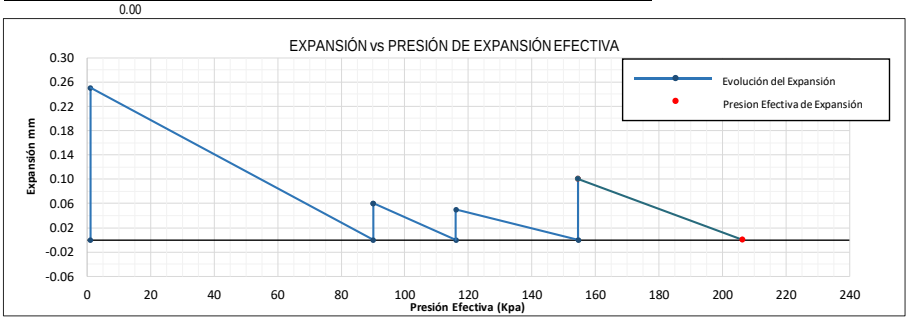
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	157.160	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	164.620	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	114.240	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	121.700	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.648	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.28%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.50%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	K-900	Nº recipiente	Ñ-2
Peso Recipiente (g)	22.29	Peso Recipiente (g)	29.05
Recipiente + M. Humeda (g)	112.63	Recipiente + M. Humeda (g)	109.70
Recipiente + M. Seca (g)	99.30	Recipiente + M. Seca (g)	90.60
Humedad (%)	17.31%	Humedad (%)	31.03%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

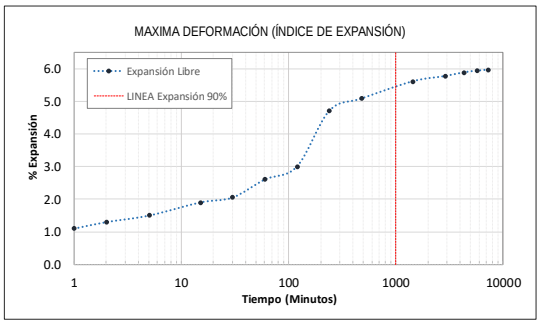
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
1	25	0.250	2226	27213.41	90.07
15	6	0.060	2869	35074.24	116.09
28	5	0.050	3820	46700.46	154.57
780	10	0.100	5100	62348.78	206.37
2880	0.00				
	0.00				



Presion de expansión =	206.37 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	22.0	0.220	1.10
2	26.0	0.260	1.30
5	30.0	0.300	1.50
15	38.0	0.380	1.90
30	41.0	0.410	2.05
60	52.0	0.520	2.60
120	60.0	0.600	3.00
240	94.0	0.940	4.71
480	101.5	1.015	5.08
1440	112.0	1.120	5.61
2880	115.2	1.152	5.77
4320	117.5	1.175	5.88
5760	118.5	1.185	5.93
7200	119.1	1.191	5.96



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	1000.23 min
- Indice de Expansión:	5.96%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (HU-MI-25).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : HUACARPAY - LUCRE - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 13
Fecha : 18/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR PLOMO OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)

Atención : HU-MI-25

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.62	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.38
	Altura (mm)	19.89
	Área (cm2)	29.59
	Volumen (cm3)	58.85
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	4
	Factor de carga	12.01
	Masa anillo (g)	42.95
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(31)
Profundidad:	2.80

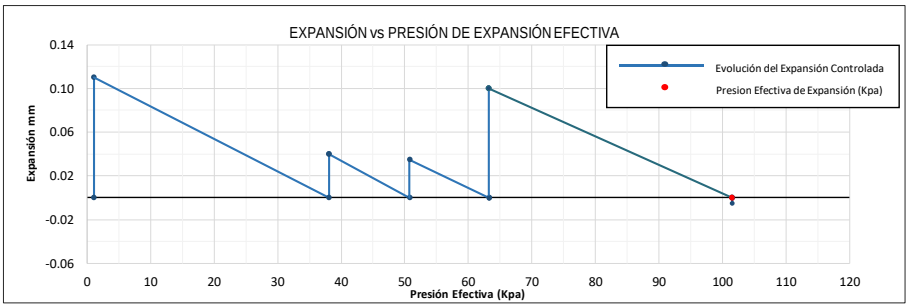
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	156.430	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	162.170	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	113.480	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	119.220	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.626	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.43%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.59%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	L-01	Nº recipiente	L-30
Peso Recipiente (g)	21.28	Peso Recipiente (g)	29.04
Recipiente + M. Humeda (g)	98.65	Recipiente + M. Humeda (g)	115.10
Recipiente + M. Seca (g)	82.21	Recipiente + M. Seca (g)	92.14
Humedad (%)	26.98%	Humedad (%)	36.39%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

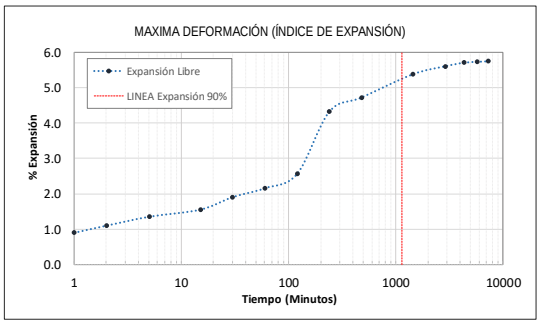
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
2	11	0.110	956	11481.49	38.05
9	4	0.040	1275	15312.65	50.75
27	4	0.035	1589	19083.77	63.25
71	10	0.100	2550	30625.30	101.50
2440	-0.50				



Presion de expansión =	101.50 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	18.0	0.180	0.90
2	22.0	0.220	1.11
5	27.0	0.270	1.36
15	31.0	0.310	1.56
30	38.0	0.380	1.91
60	43.0	0.430	2.16
120	51.0	0.510	2.56
240	86.0	0.860	4.32
480	94.0	0.940	4.73
1440	107.0	1.070	5.38
2880	111.5	1.115	5.61
4320	113.5	1.135	5.71
5760	114.0	1.140	5.73
7200	114.3	1.143	5.75



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	1135.02 min
- Indice de Expansión:	5.75%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (HU-MI-26).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : HUACARPAY - LUCRE - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 14
Fecha : 18/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)

Atención : HU-M1-26

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.65	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.28
	Altura (mm)	19.94
	Área (cm2)	29.49
	Volumen (cm3)	58.81
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	8
	Factor de carga	11.98
	Masa anillo (g)	42.9
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(37)
Profundidad:	1.50

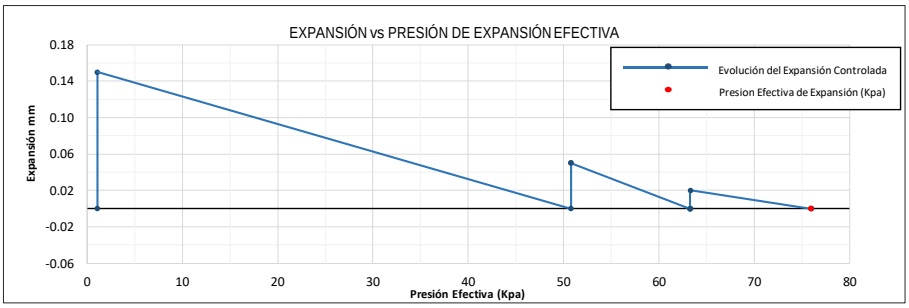
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	155.480	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	158.730	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	112.580	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	115.830	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.652	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.45%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.50%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	L-04	Nº recipiente	L-03
Peso Recipiente (g)	26.49	Peso Recipiente (g)	22.75
Recipiente + M. Humeda (g)	127.99	Recipiente + M. Humeda (g)	122.76
Recipiente + M. Seca (g)	105.91	Recipiente + M. Seca (g)	99.08
Humedad (%)	27.80%	Humedad (%)	31.02%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

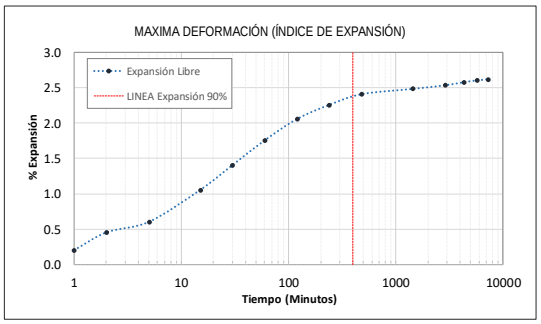
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
2	15	0.150	1275	15274.50	50.79
15	5	0.050	1589	19036.22	63.30
1050	2	0.020	1908	22857.84	76.00
2880	0	0.000			



Presion de expansión =	76.00 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	4.0	0.040	0.20
2	9.0	0.090	0.45
5	12.0	0.120	0.60
15	21.0	0.210	1.05
30	28.0	0.280	1.40
60	35.0	0.350	1.76
120	41.0	0.410	2.06
240	45.0	0.450	2.26
480	48.0	0.480	2.41
1440	49.5	0.495	2.48
2880	50.5	0.505	2.53
4320	51.4	0.514	2.58
5760	51.9	0.519	2.60
7200	52.2	0.522	2.62



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	398.40 min
- Indice de Expansión:	2.62%

OBSERVACIONES:

Se sometió a un secado a la interperie de 24 horas en bloque antes del tallado, considerando que en su estado natural, no iba a sufrir cambios de volumente (expansión).

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (HU-MI-27).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : HUACARPAY - LUCRE - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 14
Fecha : 20/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO, (CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA)

Atención : HU-M1-27

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.63	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.23
	Altura (mm)	19.89
	Área (cm2)	29.45
	Volumen (cm3)	58.57
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	5
	Factor de carga	12.05
	Masa anillo (g)	42.91
	Presión Preliminar (Kpa)	1.09

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(38)
Profundidad:	2.50

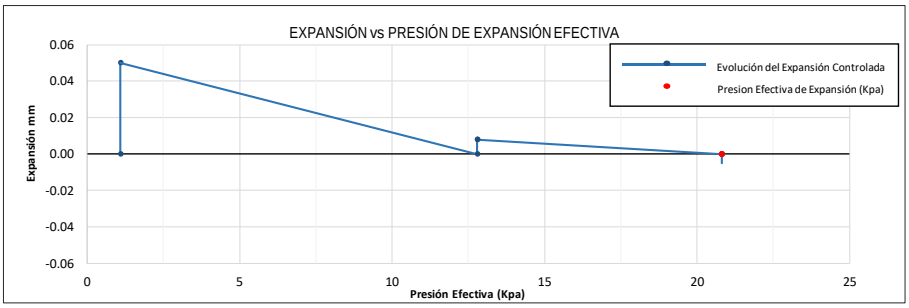
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	155.640	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	157.170	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	112.730	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	114.260	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.639	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.47%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.50%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente	Ñ-1	Nº recipiente	K-896
Peso Recipiente (g)	27.12	Peso Recipiente (g)	24.54
Recipiente + M. Humeda (g)	105.28	Recipiente + M. Humeda (g)	91.05
Recipiente + M. Seca (g)	87.58	Recipiente + M. Seca (g)	75.17
Humedad (%)	29.28%	Humedad (%)	31.36%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

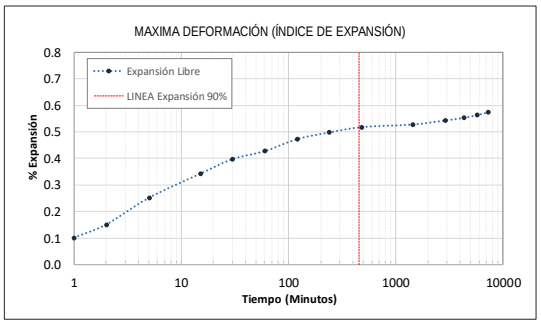
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
5	5	0.050	319	3842.92	12.80
1440	1	0.008	519	6252.27	20.82
1480	-0.5	-0.005			



Presion de expansión =	20.82 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	2.0	0.020	0.10
2	3.0	0.030	0.15
5	5.0	0.050	0.25
15	6.8	0.068	0.34
30	7.9	0.079	0.40
60	8.5	0.085	0.43
120	9.4	0.094	0.47
240	9.9	0.099	0.50
480	10.3	0.103	0.52
1440	10.5	0.105	0.53
2880	10.8	0.108	0.54
4320	11.0	0.110	0.55
5760	11.2	0.112	0.56
7200	11.4	0.114	0.57



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	456.00 min
- Indice de Expansión:	0.57%

OBSERVACIONES:

Se sometió a un secado a la interperie de 24 horas en bloque antes del tallado, considerando que en su estado natural, no iba a sufrir cambios de volumente (expansión).

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (AT-MI-28).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 15
Fecha : 21/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : AT-MI-28

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.63	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.23
	Altura (mm)	19.89
	Área (cm2)	29.45
	Volumen (cm3)	58.57
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	5
	Factor de carga	12.05
	Masa anillo (g)	42.91
	Presión Preliminar (Kpa)	1.09

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(29)
Profundidad:	1.80

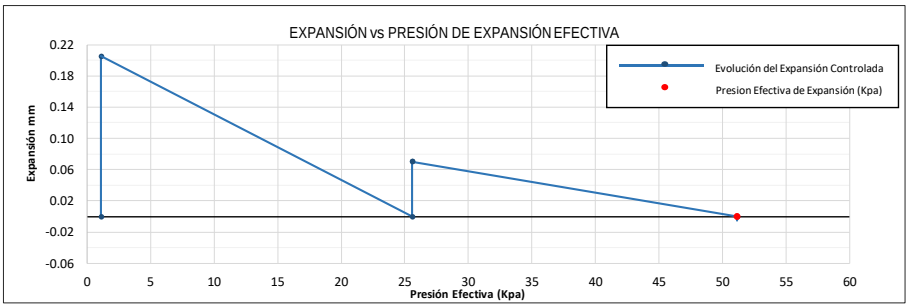
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	146.480	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	151.160	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	103.570	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	108.250	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.632	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.55%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.68%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	Ñ-24
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	24.53
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	87.76
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	68.94
Humedad (%)	33.92%	Humedad (%)	42.38%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

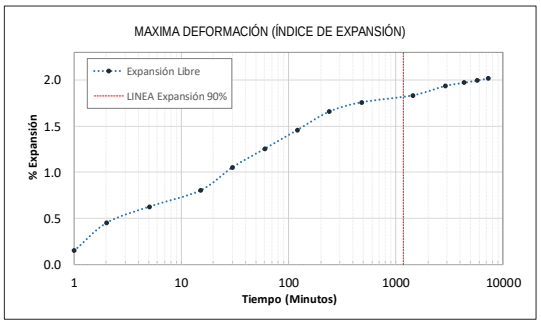
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
4	21	0.205	638	7685.84	25.60
17	7	0.070	1275	15359.63	51.15
964	-1	-0.005			



Presion de expansión =	51.15 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	3.0	0.030	0.15
2	9.0	0.090	0.45
5	12.5	0.125	0.63
15	16.0	0.160	0.80
30	21.0	0.210	1.06
60	25.0	0.250	1.26
120	29.0	0.290	1.46
240	33.0	0.330	1.66
480	35.0	0.350	1.76
1440	36.5	0.365	1.84
2880	38.5	0.385	1.94
4320	39.2	0.392	1.97
5760	39.7	0.397	2.00
7200	40.1	0.401	2.02



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	1177.60 min
- Indice de Expansión:	2.02%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (AT-MI-29).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO
Atención : AT-MI-29
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 15
Fecha : 21/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.64	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.28
	Altura (mm)	19.94
	Área (cm2)	29.49
	Volumen (cm3)	58.81
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	8
	Factor de carga	11.98
	Masa anillo (g)	42.9
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-5(36)
Profundidad:	2.80

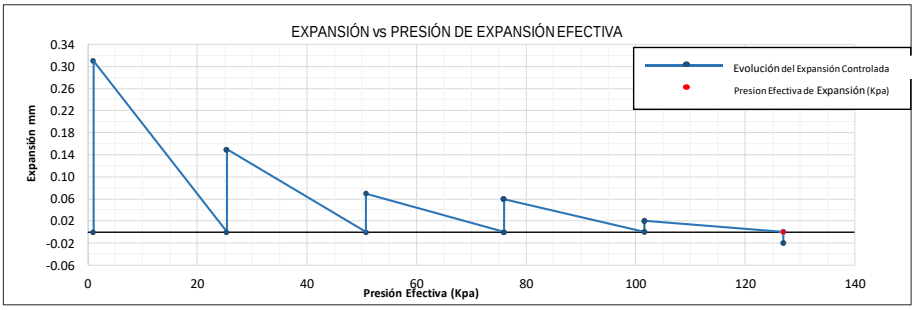
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	150.810	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	154.620	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	107.910	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	111.720	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.653	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.63%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.61%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	F-073
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	23.27
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	68.53
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	56.00
Humedad (%)	39.68%	Humedad (%)	38.28%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

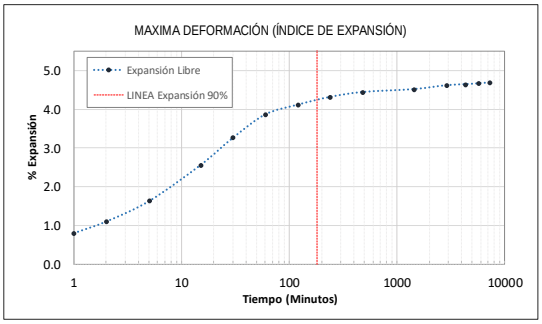
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
4	31	0.310	637	7631.26	25.37
8	15	0.150	1275	15274.50	50.79
28	7	0.070	1907	22845.86	75.96
86	6	0.060	2550	30549.00	101.58
1440	2.00	0.020	3187	38180.26	126.95
2880.00	-2.00				



Presion de expansión =	126.95 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	16.0	0.160	0.80
2	22.0	0.220	1.10
5	32.5	0.325	1.63
15	51.0	0.510	2.56
30	65.0	0.650	3.26
60	77.0	0.770	3.86
120	82.0	0.820	4.11
240	86.0	0.860	4.31
480	88.5	0.885	4.44
1440	90.0	0.900	4.51
2880	92.0	0.920	4.61
4320	92.5	0.925	4.64
5760	93.0	0.930	4.66
7200	93.4	0.934	4.68



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	181.80 min
- Indice de Expansión:	4.68%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (AT-MI-30).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 16
Fecha : 21/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CON BAJO CONTENIDO DE ARENA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)

Atención : AT-MI-30

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.66	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.3
	Altura (mm)	19.93
	Área (cm2)	29.51
	Volumen (cm3)	58.82
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	9
	Factor de carga	10.19
	Masa anillo (g)	42.96
	Presión Preliminar (Kpa)	1.06

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-5(33)
Profundidad:	2.80

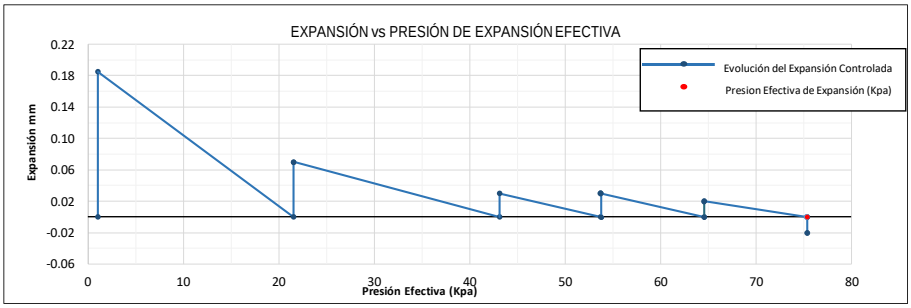
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	146.510	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	150.230	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	103.550	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	107.270	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.664	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.64%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.70%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	F-105
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	22.37
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	79.82
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	62.34
Humedad (%)	40.11%	Humedad (%)	43.73%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

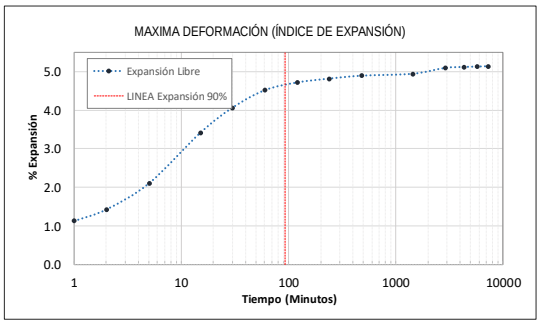
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
4	19	0.185	637	6487.94	21.56
14	7	0.070	1275	12986.06	43.15
20	3	0.030	1589	16184.19	53.78
30	3	0.030	1907	19423.07	64.54
74	2.00	0.020	2226	22672.13	75.34
2880.00	-2.00				



Presion de expansión =	75.34 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	22.5	0.225	1.13
2	28.5	0.285	1.43
5	42.0	0.420	2.11
15	68.0	0.680	3.41
30	81.0	0.810	4.06
60	90.0	0.900	4.52
120	94.0	0.940	4.72
240	96.0	0.960	4.82
480	97.5	0.975	4.89
1440	98.5	0.985	4.94
2880	101.5	1.015	5.09
4320	102.0	1.020	5.12
5760	102.2	1.022	5.13
7200	102.4	1.024	5.14



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	92.40 min
- Indice de Expansión:	5.14%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (AT-MI-31).

	ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
		Version	A
	ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
		PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 16
Fecha : 21/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO, (FRAGMENTOS METEORIZADOS MÍNIMOS)

Atención : AT-MI-31

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.62	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.2
	Altura (mm)	19.94
	Área (cm2)	29.42
	Volumen (cm3)	58.66
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	7
	Factor de carga	12.10
	Masa anillo (g)	43.51
	Presión Preliminar (Kpa)	1.07

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-6(31)
Profundidad:	1.80

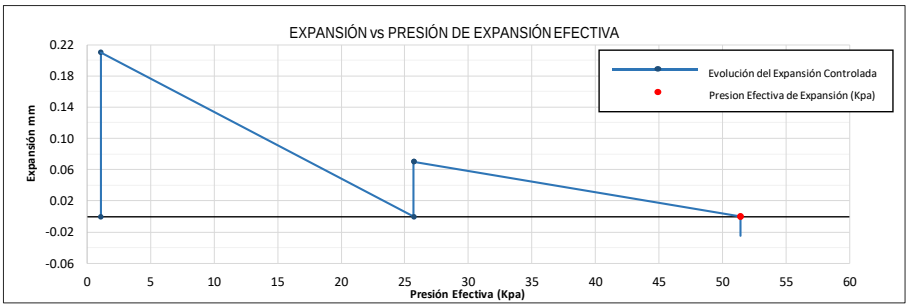
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	145.780	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	148.980	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	102.270	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	105.470	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.624	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.56%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.75%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	F-112
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	24.31
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	74.97
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	58.84
Humedad (%)	34.82%	Humedad (%)	46.71%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

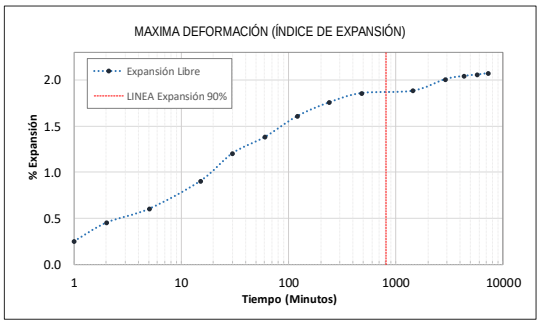
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
5	21	0.210	637	7704.56	25.68
10	7	0.070	1275	15421.22	51.41
1140	-3	-0.025			



Presion de expansión =	51.41 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	5.0	0.050	0.25
2	9.0	0.090	0.45
5	12.0	0.120	0.60
15	18.0	0.180	0.90
30	24.0	0.240	1.20
60	27.5	0.275	1.38
120	32.0	0.320	1.60
240	35.0	0.350	1.76
480	37.0	0.370	1.86
1440	37.5	0.375	1.88
2880	40.0	0.400	2.01
4320	40.7	0.407	2.04
5760	41.0	0.410	2.06
7200	41.3	0.413	2.07



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	806.40 min
- Indice de Expansión:	2.07%

OBSERVACIONES:

Procesamiento de ensayo de expansión controlada del suelo (AT-MI-32).

ENSAYO DE HINCHAMIENTO UNIDIMENDIONAL Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025	Codigo	FPR-FIC-04
	Version	A
ENSAYO DE EXPANSIÓN O COLAPSO UNIDIMENSIONAL PARA SUELOS Ensayo de Hinchamiento Unidimensional ASTM D 4546	Fecha	01/08/2025
	PÁGINA 1 DE 1	

Ubicación : ALTO QOSQO - SAN SEBASTIÁN - CUSCO
Atención : AT-MI-32
Alumno : DIEGO ALBERTO VERGARA VERA
Calicata : 17
Fecha : 21/10/2025
Tipo de Muestra : ARCILLA CH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN AMARILLENTO OSCURO, (PARTICULAS FRAGMENTADAS MÍNIMAS)

a) Caracteristicas Generales:

Estado de la Muestra	Muestra Intacta - Inalterada	
Método de Prueba	Método "C"	
Gravedad Especifica	2.65	
Dimensiones de la Muestra	Diámetro (mm)	61.42
	Altura (mm)	19.97
	Área (cm2)	29.63
	Volumen (cm3)	59.17
Datos de la cámara y anillo	# de cámara	2
	Factor de carga	12.23
	Masa anillo (g)	42.92
	Presión Preliminar (Kpa)	1.03

Clasificación (SUCS)	CH
Clasificación (AASHTO)	A-7-5(36)
Profundidad:	2.80

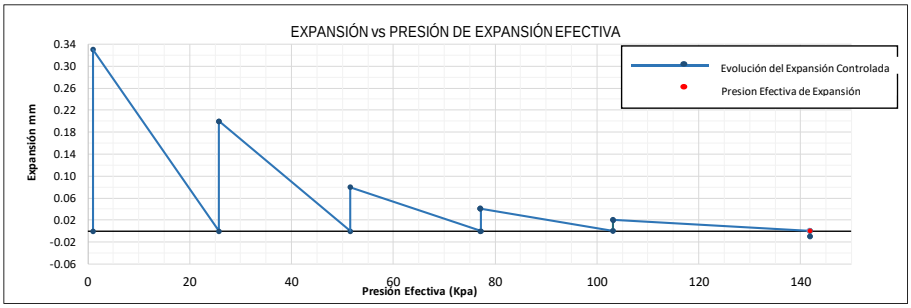
b) Propiedades Físicas y Geométricas:

Datos		
Masa Anillo + Muestra (g)	151.020	ANTES DEL ENS.
Masa Anillo + Muestra (g)	153.450	DESPUES DEL ENS.
Muestra (g)	108.100	ANTES DEL ENS.
Muestra (g)	110.530	DESPUES DEL ENS.
Relacion de vacios e	1.655	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.62%	ANTES DEL ENS.
Saturación S	0.65%	DESPUES DEL ENS.

Control de humedades			
Condición Inicial		Condición Final	
Nº recipiente		Nº recipiente	F-015
Peso Recipiente (g)		Peso Recipiente (g)	22.49
Recipiente + M. Humeda (g)		Recipiente + M. Humeda (g)	86.90
Recipiente + M. Seca (g)		Recipiente + M. Seca (g)	68.26
Humedad (%)	38.66%	Humedad (%)	40.73%

c) Lecturas de carga y deformación (EXPANSIÓN CONTROLADA:

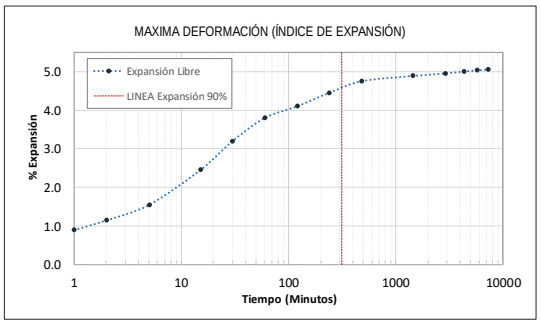
Minutos	Lectura (0.01mm)	Δh (mm)	Carga Aplicada Cero (g)	Carga por factor brazo (g)	Presión Efectiva (Kpa)
5	33	0.330	637	7787.48	25.78
9	20	0.200	1275	15587.19	51.59
32	8	0.080	1907	23313.55	77.16
75	4	0.040	2550	31174.39	103.18
1440	2.00	0.020	3506	42861.73	141.87
2800.00	-1.00				



Presion de expansión =	141.87 KPa

d) Expansión Libre vs. Tiempo:

Minutos	Lectura (0.01mm	Δh (mm)	% Expansión
1	18.0	0.180	0.90
2	23.0	0.230	1.15
5	31.0	0.310	1.55
15	49.0	0.490	2.45
30	64.0	0.640	3.20
60	76.0	0.760	3.81
120	82.0	0.820	4.11
240	89.0	0.890	4.46
480	95.0	0.950	4.76
1440	97.7	0.977	4.89
2880	99.0	0.990	4.96
4320	100.0	1.000	5.01
5760	100.6	1.006	5.04
7200	101.0	1.010	5.06



e)Resultados Expansión Libre

- Tiempo del 90% de Expansión:	316.00 min
- Indice de Expansión:	5.06%

OBSERVACIONES:

Anexo N°07: Cálculo estadístico del Índice de concordancia Willmott

Índice de concordancia Willmott (Nayak y Christensen – Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA NAYAK Y CHRISTENSEN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Nayak y Christensen Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	146.53	25290.28	54.87	213.90	72238.33
	VS-MI-02	51.41	46.55	23.62	45.11	40.25	7285.54
	VS-MI-03	76.17	50.27	670.57	41.38	15.49	3234.25
	VS-MI-04	101.50	75.54	673.92	16.12	9.84	673.92
	VS-MI-05	91.11	55.49	1268.90	36.17	0.55	1348.32
	VS-MI-06	33.58	44.26	113.97	47.40	58.08	11125.25
	VS-MI-07	38.08	52.71	214.05	38.95	53.58	8560.45
	VS-MI-08	12.91	52.80	1590.77	38.86	78.74	13830.31
	VS-MI-09	96.64	69.87	716.40	21.79	4.98	716.40
	VS-MI-10	32.35	36.83	20.02	54.83	59.30	13025.96
	VS-MI-11	97.33	69.30	785.88	22.36	5.68	785.88
	VS-MI-12	70.37	51.99	337.66	39.67	21.29	3715.74
	VS-MI-13	128.50	77.87	2563.89	13.79	36.85	2563.89
	VS-MI-14	9.21	51.44	1783.06	40.22	82.45	15047.98
	VS-MI-15	165.32	85.70	6339.73	5.96	73.66	6339.73
	VS-MI-16	25.35	53.59	797.02	38.07	66.30	10893.95
	VS-MI-17	178.02	78.18	9968.54	13.48	86.37	9968.54
	VS-MI-18	73.22	59.85	178.71	31.80	18.43	2523.88
	VS-MI-19	154.85	60.78	8849.29	30.88	63.19	8849.29
		Promedio (X')= 91.66	Promedio (Y')= 64.19	∑ = 62186.30			∑ = 192727.62
							d = 0.68

Índice de concordancia Willmott (Nayak y Christensen – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA NAYAK Y CHRISTENSEN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Nayak y Christensen Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	96.81	7329.16	6.60	92.21	9761.68
	HU-MI-21	64.33	48.64	246.01	41.57	25.89	4551.15
	HU-MI-22	69.22	51.90	299.96	38.32	21.00	3518.37
	HU-MI-23	1.07	69.31	4656.15	20.91	89.14	12111.82
	HU-MI-24	206.37	119.32	7577.12	29.10	116.15	21098.57
	HU-MI-25	101.50	69.83	1002.56	20.38	11.28	1002.56
	HU-MI-26	76.00	53.39	511.31	36.83	14.21	2604.96
	HU-MI-27	20.82	61.52	1656.43	28.69	69.39	9620.95
		Promedio (X')= 90.22	Promedio (Y')= 71.34	∑ = 23278.70			∑ = 64270.08
							d = 0.64

Índice de concordancia Willmott (Nayak y Christensen – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA NAYAK Y CHRISTENSEN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Nayak y Christensen Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	41.95	84.64	47.39	38.19	7323.54
	AT-MI-29	126.95	54.65	5226.83	34.69	37.61	5226.83
	AT-MI-30	75.34	49.96	643.81	39.38	14.01	2850.29
	AT-MI-31	51.41	42.76	74.85	46.58	37.93	7143.31
	AT-MI-32	141.87	57.06	7192.39	32.28	52.52	7192.39
Promedio (X')= 89.34 Promedio (Y')= 49.28 ∑ = 13222.52							∑ = 29736.36
							d = 0.56

Índice de concordancia Willmott (Sabtan – Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA SABTAN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Sabtan Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	202.69	10580.83	111.04	213.90	105584.62
	VS-MI-02	51.41	192.61	19938.81	100.96	40.25	19938.81
	VS-MI-03	76.17	189.46	12835.09	97.80	15.49	12835.09
	VS-MI-04	101.50	191.06	8021.11	99.40	9.84	11933.65
	VS-MI-05	91.11	194.01	10587.84	102.35	0.55	10587.84
	VS-MI-06	33.58	195.67	26271.86	104.01	58.08	26271.86
	VS-MI-07	38.08	193.58	24180.50	101.92	53.58	24180.50
	VS-MI-08	12.91	195.96	33504.04	104.30	78.74	33504.04
	VS-MI-09	96.64	197.26	10125.37	105.60	4.98	12228.46
	VS-MI-10	32.35	195.19	26515.67	103.53	59.30	26515.67
	VS-MI-11	97.33	196.60	9854.35	104.95	5.68	12237.07
	VS-MI-12	70.37	192.97	15031.64	101.31	21.29	15031.64
	VS-MI-13	128.50	196.09	4567.20	104.43	36.85	19958.53
	VS-MI-14	9.21	198.68	35897.81	107.02	82.45	35897.81
	VS-MI-15	165.32	196.36	963.41	104.70	73.66	31814.32
	VS-MI-16	25.35	196.59	29322.90	104.94	66.30	29322.90
	VS-MI-17	178.02	197.46	377.70	105.80	86.37	36927.29
	VS-MI-18	73.22	197.51	15446.40	105.85	18.43	15446.40
	VS-MI-19	154.85	198.54	1908.95	106.88	63.19	28923.50
Promedio (X')= 91.66 Promedio (Y')= 195.70 ∑ = 295931.51							∑ = 509140.02
							d = 0.42

Índice de concordancia Willmott (Sabtan – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA SABTAN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Sabtan Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	202.89	419.06	112.68	92.21	41976.92
	HU-MI-21	64.33	193.54	16695.12	103.32	25.89	16695.12
	HU-MI-22	69.22	198.24	16645.82	108.02	21.00	16645.82
	HU-MI-23	1.07	192.68	36715.19	102.47	89.14	36715.19
	HU-MI-24	206.37	201.73	21.49	111.51	116.15	51830.91
	HU-MI-25	101.50	189.15	7683.56	98.94	11.28	12148.42
	HU-MI-26	76.00	199.70	15301.27	109.49	14.21	15301.27
	HU-MI-27	20.82	202.08	32852.62	111.86	69.39	32852.62
Promedio (X')= 90.22 Promedio (Y')= 197.50 ∑ = 126334.14							∑ = 224166.28
							d = 0.44

Índice de concordancia Willmott (Sabtan – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA SABTAN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Sabtan Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	183.21	17438.29	93.87	38.19	17438.29
	AT-MI-29	126.95	199.32	5237.68	109.98	37.61	21781.18
	AT-MI-30	75.34	195.87	14528.97	106.53	14.01	14528.97
	AT-MI-31	51.41	187.76	18591.36	98.42	37.93	18591.36
	AT-MI-32	141.87	196.02	2932.94	106.68	52.52	25345.63
		Promedio (X')= 89.34	Promedio (Y')= 192.44	∑ = 58729.25			∑ = 97685.43
							d = 0.40

Índice de concordancia Willmott (Komornik y David – Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA KOMORNIK Y DAVID					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Komornik y David Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	126.61	32021.60	34.95	213.90	61928.94
	VS-MI-02	51.41	73.46	486.37	18.19	40.25	3415.40
	VS-MI-03	76.17	82.24	36.87	9.42	15.49	620.14
	VS-MI-04	101.50	103.98	6.14	12.32	9.84	491.00
	VS-MI-05	91.11	84.48	43.98	7.18	0.55	59.75
	VS-MI-06	33.58	80.47	2198.13	11.19	58.08	4798.05
	VS-MI-07	38.08	77.90	1585.62	13.76	53.58	4533.76
	VS-MI-08	12.91	84.94	5187.04	6.72	78.74	7304.38
	VS-MI-09	96.64	89.42	52.14	2.24	4.98	52.14
	VS-MI-10	32.35	93.29	3713.58	1.64	59.30	3713.58
	VS-MI-11	97.33	92.11	27.31	0.45	5.68	37.54
	VS-MI-12	70.37	81.23	118.03	10.43	21.29	1005.99
	VS-MI-13	128.50	110.29	331.93	18.63	36.85	3077.43
	VS-MI-14	9.21	99.87	8218.55	8.21	82.45	8218.55
	VS-MI-15	165.32	92.69	5275.03	1.03	73.66	5579.72
	VS-MI-16	25.35	100.02	5574.36	8.36	66.30	5574.36
	VS-MI-17	178.02	91.08	7558.18	0.57	86.37	7558.18
	VS-MI-18	73.22	83.64	108.60	8.01	18.43	699.54
	VS-MI-19	154.85	90.90	4088.82	0.76	63.19	4088.82
		Promedio (X')= 91.66	Promedio (Y')= 91.51	∑ = 76632.26			∑ = 122757.26
							d = 0.38

Índice de concordancia Willmott (Komornik y David – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA KOMORNIK Y DAVID					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Komornik y David Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	98.10	7110.53	7.88	92.21	10017.56
	HU-MI-21	64.33	58.34	35.84	31.88	25.89	3336.66
	HU-MI-22	69.22	84.39	230.10	5.83	21.00	719.71
	HU-MI-23	1.07	77.33	5815.64	12.88	89.14	10409.98
	HU-MI-24	206.37	96.37	12098.39	6.16	116.15	14959.11
	HU-MI-25	101.50	52.11	2439.37	38.11	11.28	2439.37
	HU-MI-26	76.00	90.02	196.62	0.19	14.21	207.49
	HU-MI-27	20.82	100.87	6408.12	10.66	69.39	6408.12
		Promedio (X')= 90.22	Promedio (Y')= 82.19	∑ = 34334.61			∑ = 48497.99
							d = 0.29

Índice de concordancia Willmott (Komornik y David – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA KOMORNIK Y DAVID					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Komornik y David Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	65.08	194.05	24.26	38.19	3899.68
	AT-MI-29	126.95	98.59	804.10	9.25	37.61	2195.48
	AT-MI-30	75.34	106.74	986.31	17.40	14.01	986.31
	AT-MI-31	51.41	68.47	291.07	20.87	37.93	3458.12
	AT-MI-32	141.87	90.20	2669.04	0.86	52.52	2849.82
		Promedio (X')= 89.34	Promedio (Y')= 85.82	∑ = 4944.58			∑ = 13389.40
							d = 0.63

Índice *de concordancia Willmott (Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol).*

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	91.55	45798.05	0.10	213.90	45798.05
	VS-MI-02	51.41	89.04	1415.93	2.62	40.25	1837.53
	VS-MI-03	76.17	88.79	159.24	2.87	15.49	336.95
	VS-MI-04	101.50	90.02	131.78	1.64	9.84	131.78
	VS-MI-05	91.11	88.94	4.68	2.71	0.55	10.64
	VS-MI-06	33.58	88.69	3036.58	2.97	58.08	3726.73
	VS-MI-07	38.08	88.63	2554.96	3.03	53.58	3204.29
	VS-MI-08	12.91	88.58	5724.95	3.08	78.74	6695.06
	VS-MI-09	96.64	89.33	53.43	2.33	4.98	53.43
	VS-MI-10	32.35	88.63	3166.59	3.03	59.30	3885.45
	VS-MI-11	97.33	89.28	64.83	2.38	5.68	64.83
	VS-MI-12	70.37	88.85	341.67	2.81	21.29	580.67
	VS-MI-13	128.50	90.19	1468.32	1.47	36.85	1468.32
	VS-MI-14	9.21	88.65	6310.89	3.01	82.45	7302.63
	VS-MI-15	165.32	90.21	5641.91	1.45	73.66	5641.91
	VS-MI-16	25.35	88.93	4041.75	2.73	66.30	4765.27
	VS-MI-17	178.02	90.79	7609.97	0.87	86.37	7609.97
	VS-MI-18	73.22	88.94	246.91	2.72	18.43	447.60
	VS-MI-19	154.85	90.05	4198.71	1.61	63.19	4198.71
		Promedio (X')= 91.66	Promedio (Y')= 89.37	∑ = 91971.14			∑ = 97759.80
							d = 0.06

Índice de concordancia Willmott (Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	90.95	8367.04	0.73	92.21	8637.87
	HU-MI-21	64.33	89.69	643.15	0.53	25.89	697.86
	HU-MI-22	69.22	89.72	420.44	0.49	21.00	461.89
	HU-MI-23	1.07	89.17	7761.07	1.05	89.14	8134.73
	HU-MI-24	206.37	91.70	13148.32	1.48	116.15	13837.76
	HU-MI-25	101.50	89.77	137.63	0.45	11.28	137.63
	HU-MI-26	76.00	89.83	191.25	0.38	14.21	213.08
	HU-MI-27	20.82	89.69	4742.36	0.53	69.39	4888.93
		Promedio (X')= 90.22	Promedio (Y')= 90.06	∑ = 35411.26			∑ = 37009.76
							d = 0.04

Índice *de concordancia Willmott (Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados).*

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	88.60	1402.02	0.75	38.19	1515.86
	AT-MI-29	126.95	88.29	1494.17	1.05	37.61	1494.17
	AT-MI-30	75.34	88.15	164.22	1.19	14.01	231.04
	AT-MI-31	51.41	88.53	1378.05	0.81	37.93	1501.14
	AT-MI-32	141.87	88.37	2862.07	0.98	52.52	2862.07
		Promedio (X')= 89.34	Promedio (Y')= 88.39	∑ = 7300.53			∑ = 7604.28
							d = 0.04

Índice *de concordancia Willmott (Jiménez Salas – Villa el Sol).*

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA JIMÉNEZ SALAS					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Jiménez Salas Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	215.91	8037.54	124.25	213.90	114344.57
	VS-MI-02	51.41	49.87	2.38	41.79	40.25	6730.32
	VS-MI-03	76.17	65.54	112.90	26.11	15.49	1730.62
	VS-MI-04	101.50	130.90	864.34	39.24	9.84	2408.86
	VS-MI-05	91.11	148.44	3286.41	56.78	0.55	3286.41
	VS-MI-06	33.58	60.96	749.72	30.70	58.08	7880.33
	VS-MI-07	38.08	55.81	314.40	35.85	53.58	7996.25
	VS-MI-08	12.91	84.77	5162.86	6.89	78.74	7333.13
	VS-MI-09	96.64	78.21	339.54	13.45	4.98	339.54
	VS-MI-10	32.35	66.46	1163.15	25.20	59.30	7140.39
	VS-MI-11	97.33	91.57	33.17	0.08	5.68	33.17
	VS-MI-12	70.37	107.44	1374.48	15.78	21.29	1374.48
	VS-MI-13	128.50	153.20	609.92	61.54	36.85	9680.63
	VS-MI-14	9.21	185.43	31053.36	93.77	82.45	31053.36
	VS-MI-15	165.32	92.45	5310.07	0.79	73.66	5543.79
	VS-MI-16	25.35	135.86	12210.53	44.20	66.30	12210.53
	VS-MI-17	178.02	84.76	8697.90	6.90	86.37	8697.90
	VS-MI-18	73.22	78.45	27.33	13.21	18.43	1001.25
	VS-MI-19	154.85	104.28	2557.27	12.62	63.19	5746.87
		Promedio (X')= 91.66	Promedio (Y')= 104.75	∑ = 81907.26			∑ = 234532.39
							d = 0.65

Índice *de concordancia Willmott (Jiménez Salas – Huacarpay).*

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA JIMÉNEZ SALAS					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Jiménez Salas Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	191.53	82.92	101.31	92.21	37449.06
	HU-MI-21	64.33	90.95	708.65	0.73	25.89	708.65
	HU-MI-22	69.22	133.35	4113.42	43.14	21.00	4113.42
	HU-MI-23	1.07	78.35	5971.45	11.87	89.14	10203.94
	HU-MI-24	206.37	163.92	1801.36	73.71	116.15	36045.97
	HU-MI-25	101.50	45.34	3153.33	44.87	11.28	3153.33
	HU-MI-26	76.00	140.48	4157.30	50.26	14.21	4157.30
	HU-MI-27	20.82	222.29	40587.56	132.07	69.39	40587.56
		Promedio (X')= 90.22	Promedio (Y')= 133.28	∑ = 60575.99			∑ = 136419.22
							d = 0.56

Índice de concordancia Willmott (Jiménez Salas – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		ÍNDICE DE CONCORDANCIA PARA JIMÉNEZ SALAS					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Jiménez Salas Kpa	Índice de Concordancia Willmott (d)			
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)^2	(Est - M. Exp) (A)	(Exp - M. Exp)	(A + B)^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	64.13	168.40	25.21	38.19	4019.64
	AT-MI-29	126.95	406.38	78083.36	317.04	37.61	125774.25
	AT-MI-30	75.34	392.49	100585.37	303.14	14.01	100585.37
	AT-MI-31	51.41	81.11	882.27	8.23	37.93	2131.08
	AT-MI-32	141.87	244.58	10549.67	155.23	52.52	43163.42
		Promedio (X')= 89.34	Promedio (Y')= 237.74	∑ = 190269.08			∑ = 275673.76
							d = 0.31

Anexo N°08: Cálculo estadístico del Error y sesgo

Indicadores de error y sesgo (Nayak y Christensen – Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA NAYAK Y CHRISTENSEN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Nayak y Christensen Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	146.53	-159.03	159.03	-0.52	-52.05%
	VS-MI-02	51.41	46.55	-4.86	4.86	-0.09	-9.45%
	VS-MI-03	76.17	50.27	-25.90	25.90	-0.34	-34.00%
	VS-MI-04	101.50	75.54	-25.96	25.96	-0.26	-25.58%
	VS-MI-05	91.11	55.49	-35.62	35.62	-0.39	-39.10%
	VS-MI-06	33.58	44.26	10.68	10.68	0.32	31.79%
	VS-MI-07	38.08	52.71	14.63	14.63	0.38	38.42%
	VS-MI-08	12.91	52.80	39.88	39.88	3.09	308.85%
	VS-MI-09	96.64	69.87	-26.77	26.77	-0.28	-27.70%
	VS-MI-10	32.35	36.83	4.47	4.47	0.14	13.83%
	VS-MI-11	97.33	69.30	-28.03	28.03	-0.29	-28.80%
	VS-MI-12	70.37	51.99	-18.38	18.38	-0.26	-26.11%
	VS-MI-13	128.50	77.87	-50.63	50.63	-0.39	-39.40%
	VS-MI-14	9.21	51.44	42.23	42.23	4.59	458.53%
	VS-MI-15	165.32	85.70	-79.62	79.62	-0.48	-48.16%
	VS-MI-16	25.35	53.59	28.23	28.23	1.11	111.35%
	VS-MI-17	178.02	78.18	-99.84	99.84	-0.56	-56.08%
	VS-MI-18	73.22	59.85	-13.37	13.37	-0.18	-18.26%
	VS-MI-19	154.85	60.78	-94.07	94.07	-0.61	-60.75%
					Error absoluto medio =	42.22	
					Error relativo medio =	0.26	
					Error relativo porc. Max =	458.53%	
					Error relativo porc. Min =	-60.75%	

Indicadores de error y sesgo (Nayak y Christensen – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA NAYAK Y CHRISTENSEN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Nayak y Christensen Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	96.81	-85.61	85.61	-0.47	-46.93%
	HU-MI-21	64.33	48.64	-15.68	15.68	-0.24	-24.38%
	HU-MI-22	69.22	51.90	-17.32	17.32	-0.25	-25.02%
	HU-MI-23	1.07	69.31	68.24	68.24	63.73	6372.53%
	HU-MI-24	206.37	119.32	-87.05	87.05	-0.42	-42.18%
	HU-MI-25	101.50	69.83	-31.66	31.66	-0.31	-31.20%
	HU-MI-26	76.00	53.39	-22.61	22.61	-0.30	-29.75%
	HU-MI-27	20.82	61.52	40.70	40.70	1.95	195.46%
					Error absoluto medio =	46.11	
					Error relativo medio =	7.96	
					Error relativo porc. Max =	6372.53%	
					Error relativo porc. Min =	-46.93%	

Indicadores de error y sesgo (Nayak y Christensen – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA NAYAK Y CHRISTENSEN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Nayak y Christensen Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	41.95	-9.20	9.20	-0.18	-17.98%
	AT-MI-29	126.95	54.65	-72.30	72.30	-0.57	-56.95%
	AT-MI-30	75.34	49.96	-25.37	25.37	-0.34	-33.68%
	AT-MI-31	51.41	42.76	-8.65	8.65	-0.17	-16.83%
	AT-MI-32	141.87	57.06	-84.81	84.81	-0.60	-59.78%
					Error absoluto medio =	40.07	
					Error relativo medio =	-0.37	
					Error relativo porc. Max =	-16.83%	
					Error relativo porc. Min =	-59.78%	

Indicadores de error y sesgo (Sabtan – Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA SABTAN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Sabtan Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	202.69	-102.86	102.86	-0.34	-33.66%
	VS-MI-02	51.41	192.61	141.20	141.20	2.75	274.67%
	VS-MI-03	76.17	189.46	113.29	113.29	1.49	148.74%
	VS-MI-04	101.50	191.06	89.56	89.56	0.88	88.24%
	VS-MI-05	91.11	194.01	102.90	102.90	1.13	112.94%
	VS-MI-06	33.58	195.67	162.09	162.09	4.83	482.67%
	VS-MI-07	38.08	193.58	155.50	155.50	4.08	408.34%
	VS-MI-08	12.91	195.96	183.04	183.04	14.17	1417.39%
	VS-MI-09	96.64	197.26	100.62	100.62	1.04	104.13%
	VS-MI-10	32.35	195.19	162.84	162.84	5.03	503.29%
	VS-MI-11	97.33	196.60	99.27	99.27	1.02	101.99%
	VS-MI-12	70.37	192.97	122.60	122.60	1.74	174.24%
	VS-MI-13	128.50	196.09	67.58	67.58	0.53	52.59%
	VS-MI-14	9.21	198.68	189.47	189.47	20.57	2057.40%
	VS-MI-15	165.32	196.36	31.04	31.04	0.19	18.77%
	VS-MI-16	25.35	196.59	171.24	171.24	6.75	675.38%
	VS-MI-17	178.02	197.46	19.43	19.43	0.11	10.92%
	VS-MI-18	73.22	197.51	124.28	124.28	1.70	169.73%
	VS-MI-19	154.85	198.54	43.69	43.69	0.28	28.22%
					Error absoluto medio =	114.87	
					Error relativo medio =	3.58	
					Error relativo porc. Max =	2057.40%	
					Error relativo porc. Min =	-33.66%	

Indicadores de error y sesgo (Sabtan – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA SABTAN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Sabtan Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	202.89	20.47	20.47	0.11	11.22%
	HU-MI-21	64.33	193.54	129.21	129.21	2.01	200.86%
	HU-MI-22	69.22	198.24	129.02	129.02	1.86	186.40%
	HU-MI-23	1.07	192.68	191.61	191.61	178.95	17894.57%
	HU-MI-24	206.37	201.73	-4.64	4.64	-0.02	-2.25%
	HU-MI-25	101.50	189.15	87.66	87.66	0.86	86.36%
	HU-MI-26	76.00	199.70	123.70	123.70	1.63	162.76%
	HU-MI-27	20.82	202.08	181.25	181.25	8.70	870.46%
					Error absoluto medio =	108.44	
					Error relativo medio =	24.26	
					Error relativo porc. Max =	17894.57%	
					Error relativo porc. Min =	-2.25%	

Indicadores de error y sesgo (Sabtan – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA SABTAN					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Sabtan Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	183.21	132.05	132.05	2.58	258.15%
	AT-MI-29	126.95	199.32	72.37	72.37	0.57	57.01%
	AT-MI-30	75.34	195.87	120.54	120.54	1.60	160.00%
	AT-MI-31	51.41	187.76	136.35	136.35	2.65	265.22%
	AT-MI-32	141.87	196.02	54.16	54.16	0.38	38.17%
					Error absoluto medio =	103.09	
					Error relativo medio =	1.56	
					Error relativo porc. Max =	265.22%	
					Error relativo porc. Min =	38.17%	

Indicadores *de error y sesgo (Komornik y David – Villa el Sol).*

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA KOMORNIK Y DAVID					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Komornik y David Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	126.61	-178.95	178.95	-0.59	-58.56%
	VS-MI-02	51.41	73.46	22.05	22.05	0.43	42.90%
	VS-MI-03	76.17	82.24	6.07	6.07	0.08	7.97%
	VS-MI-04	101.50	103.98	2.48	2.48	0.02	2.44%
	VS-MI-05	91.11	84.48	-6.63	6.63	-0.07	-7.28%
	VS-MI-06	33.58	80.47	46.88	46.88	1.40	139.61%
	VS-MI-07	38.08	77.90	39.82	39.82	1.05	104.57%
	VS-MI-08	12.91	84.94	72.02	72.02	5.58	557.70%
	VS-MI-09	96.64	89.42	-7.22	7.22	-0.07	-7.47%
	VS-MI-10	32.35	93.29	60.94	60.94	1.88	188.35%
	VS-MI-11	97.33	92.11	-5.23	5.23	-0.05	-5.37%
	VS-MI-12	70.37	81.23	10.86	10.86	0.15	15.44%
	VS-MI-13	128.50	110.29	-18.22	18.22	-0.14	-14.18%
	VS-MI-14	9.21	99.87	90.66	90.66	9.84	984.42%
	VS-MI-15	165.32	92.69	-72.63	72.63	-0.44	-43.93%
	VS-MI-16	25.35	100.02	74.66	74.66	2.94	294.47%
	VS-MI-17	178.02	91.08	-86.94	86.94	-0.49	-48.84%
	VS-MI-18	73.22	83.64	10.42	10.42	0.14	14.23%
	VS-MI-19	154.85	90.90	-63.94	63.94	-0.41	-41.30%
					Error absoluto medio =	46.14	
					Error relativo medio =	1.12	
					Error relativo porc. Max =	984.42%	
					Error relativo porc. Min =	-58.56%	

Indicadores *de error y sesgo (Komornik y David – Huacarpay).*

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA KOMORNIK Y DAVID					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Komornik y David Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	98.10	-84.32	84.32	-0.46	-46.22%
	HU-MI-21	64.33	58.34	-5.99	5.99	-0.09	-9.31%
	HU-MI-22	69.22	84.39	15.17	15.17	0.22	21.92%
	HU-MI-23	1.07	77.33	76.26	76.26	71.22	7121.92%
	HU-MI-24	206.37	96.37	-109.99	109.99	-0.53	-53.30%
	HU-MI-25	101.50	52.11	-49.39	49.39	-0.49	-48.66%
	HU-MI-26	76.00	90.02	14.02	14.02	0.18	18.45%
	HU-MI-27	20.82	100.87	80.05	80.05	3.84	384.44%
					Error absoluto medio =	54.40	
					Error relativo medio =	9.24	
					Error relativo porc. Max =	7121.92%	
					Error relativo porc. Min =	-53.30%	

Indicadores *de error y sesgo (Komornik y David – Los Prados).*

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA KOMORNIK Y DAVID					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Komornik y David Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	65.08	13.93	13.93	0.27	27.23%
	AT-MI-29	126.95	98.59	-28.36	28.36	-0.22	-22.34%
	AT-MI-30	75.34	106.74	31.41	31.41	0.42	41.69%
	AT-MI-31	51.41	68.47	17.06	17.06	0.33	33.19%
	AT-MI-32	141.87	90.20	-51.66	51.66	-0.36	-36.42%
					Error absoluto medio =	28.48	
					Error relativo medio =	0.09	
					Error relativo porc. Max =	41.69%	
					Error relativo porc. Min =	-36.42%	

Indicadores *de error y sesgo (Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol).*

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	91.55	-214.00	214.00	-0.70	-70.04%
	VS-MI-02	51.41	89.04	37.63	37.63	0.73	73.19%
	VS-MI-03	76.17	88.79	12.62	12.62	0.17	16.57%
	VS-MI-04	101.50	90.02	-11.48	11.48	-0.11	-11.31%
	VS-MI-05	91.11	88.94	-2.16	2.16	-0.02	-2.38%
	VS-MI-06	33.58	88.69	55.11	55.11	1.64	164.10%
	VS-MI-07	38.08	88.63	50.55	50.55	1.33	132.74%
	VS-MI-08	12.91	88.58	75.66	75.66	5.86	585.90%
	VS-MI-09	96.64	89.33	-7.31	7.31	-0.08	-7.56%
	VS-MI-10	32.35	88.63	56.27	56.27	1.74	173.93%
	VS-MI-11	97.33	89.28	-8.05	8.05	-0.08	-8.27%
	VS-MI-12	70.37	88.85	18.48	18.48	0.26	26.27%
	VS-MI-13	128.50	90.19	-38.32	38.32	-0.30	-29.82%
	VS-MI-14	9.21	88.65	79.44	79.44	8.63	862.64%
	VS-MI-15	165.32	90.21	-75.11	75.11	-0.45	-45.43%
	VS-MI-16	25.35	88.93	63.57	63.57	2.51	250.74%
	VS-MI-17	178.02	90.79	-87.24	87.24	-0.49	-49.00%
	VS-MI-18	73.22	88.94	15.71	15.71	0.21	21.46%
	VS-MI-19	154.85	90.05	-64.80	64.80	-0.42	-41.85%
					Error absoluto medio =	51.24	
					Error relativo medio =	1.07	
					Error relativo porc. Max =	862.64%	
					Error relativo porc. Min =	-70.04%	

Indicadores *de error y sesgo (Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay).*

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	90.95	-91.47	91.47	-0.50	-50.14%
	HU-MI-21	64.33	89.69	25.36	25.36	0.39	39.42%
	HU-MI-22	69.22	89.72	20.50	20.50	0.30	29.62%
	HU-MI-23	1.07	89.17	88.10	88.10	82.27	8227.34%
	HU-MI-24	206.37	91.70	-114.67	114.67	-0.56	-55.56%
	HU-MI-25	101.50	89.77	-11.73	11.73	-0.12	-11.56%
	HU-MI-26	76.00	89.83	13.83	13.83	0.18	18.20%
	HU-MI-27	20.82	89.69	68.86	68.86	3.31	330.72%
					Error absoluto medio =	54.32	
					Error relativo medio =	10.66	
					Error relativo porc. Max =	8227.34%	
					Error relativo porc. Min =	-55.56%	

Indicadores *de error y sesgo (Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados).*

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA VIJAYVERGIYA Y GHAZZALY					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	88.60	37.44	37.44	0.73	73.20%
	AT-MI-29	126.95	88.29	-38.65	38.65	-0.30	-30.45%
	AT-MI-30	75.34	88.15	12.81	12.81	0.17	17.01%
	AT-MI-31	51.41	88.53	37.12	37.12	0.72	72.21%
	AT-MI-32	141.87	88.37	-53.50	53.50	-0.38	-37.71%
					Error absoluto medio =	35.91	
					Error relativo medio =	0.19	
					Error relativo porc. Max =	73.20%	
					Error relativo porc. Min =	-37.71%	

Indicadores *de error y sesgo (Jiménez Salas – Villa el Sol).*

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA JIMÉNEZ SALAS					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Jiménez Salas Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	215.91	-89.65	89.65	-0.29	-29.34%
	VS-MI-02	51.41	49.87	-1.54	1.54	-0.03	-3.00%
	VS-MI-03	76.17	65.54	-10.63	10.63	-0.14	-13.95%
	VS-MI-04	101.50	130.90	29.40	29.40	0.29	28.97%
	VS-MI-05	91.11	148.44	57.33	57.33	0.63	62.92%
	VS-MI-06	33.58	60.96	27.38	27.38	0.82	81.54%
	VS-MI-07	38.08	55.81	17.73	17.73	0.47	46.56%
	VS-MI-08	12.91	84.77	71.85	71.85	5.56	556.40%
	VS-MI-09	96.64	78.21	-18.43	18.43	-0.19	-19.07%
	VS-MI-10	32.35	66.46	34.11	34.11	1.05	105.41%
	VS-MI-11	97.33	91.57	-5.76	5.76	-0.06	-5.92%
	VS-MI-12	70.37	107.44	37.07	37.07	0.53	52.69%
	VS-MI-13	128.50	153.20	24.70	24.70	0.19	19.22%
	VS-MI-14	9.21	185.43	176.22	176.22	19.14	1913.54%
	VS-MI-15	165.32	92.45	-72.87	72.87	-0.44	-44.08%
	VS-MI-16	25.35	135.86	110.50	110.50	4.36	435.83%
	VS-MI-17	178.02	84.76	-93.26	93.26	-0.52	-52.39%
	VS-MI-18	73.22	78.45	5.23	5.23	0.07	7.14%
	VS-MI-19	154.85	104.28	-50.57	50.57	-0.33	-32.66%
					Error absoluto medio =	49.17	
					Error relativo medio =	1.64	
					Error relativo porc. Max =	1913.54%	
					Error relativo porc. Min =	-52.39%	

Indicadores *de error y sesgo (Jiménez Salas – Huacarpay).*

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA JIMÉNEZ SALAS					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Jiménez Salas Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	191.53	9.11	9.11	0.05	4.99%
	HU-MI-21	64.33	90.95	26.62	26.62	0.41	41.38%
	HU-MI-22	69.22	133.35	64.14	64.14	0.93	92.66%
	HU-MI-23	1.07	78.35	77.28	77.28	72.17	7216.69%
	HU-MI-24	206.37	163.92	-42.44	42.44	-0.21	-20.57%
	HU-MI-25	101.50	45.34	-56.15	56.15	-0.55	-55.33%
	HU-MI-26	76.00	140.48	64.48	64.48	0.85	84.84%
	HU-MI-27	20.82	222.29	201.46	201.46	9.68	967.52%
					Error absoluto medio =		67.71
					Error relativo medio =		10.42
					Error relativo porc. Max =		7216.69%
					Error relativo porc. Min =		-55.33%

Indicadores de error y sesgo (Jiménez Salas – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		INDICADORES DE ERROR Y SESGO PARA JIMÉNEZ SALAS					
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Jiménez Salas Kpa	Cálculo de Error		Cálculo del error relativo	
		Expimental (Exp)	Estimado (Est)	(Est - Exp)	|Est - Exp|	Error relativo	Error relativo porcentual
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	64.13	12.98	12.98	0.25	25.37%
	AT-MI-29	126.95	406.38	279.43	279.43	2.20	220.11%
	AT-MI-30	75.34	392.49	317.15	317.15	4.21	420.99%
	AT-MI-31	51.41	81.11	29.70	29.70	0.58	57.78%
	AT-MI-32	141.87	244.58	102.71	102.71	0.72	72.40%
					Error absoluto medio =		148.40
					Error relativo medio =		1.59
					Error relativo porc. Max =		420.99%
					Error relativo porc. Min =		25.37%

Anexo N°09: Cálculo estadístico del Coeficiente de correlación y determinación

Correlación (Nayak y Christensen – Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN NAYAK Y CHRISTENSEN						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Nayak y Christensen Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	146.53	213.90	82.34	17613.16	45753.44	6780.33
	VS-MI-02	51.41	46.55	-40.25	-17.64	709.82	1619.87	311.04
	VS-MI-03	76.17	50.27	-15.49	-13.91	215.46	239.86	193.53
	VS-MI-04	101.50	75.54	9.84	11.35	111.70	96.83	128.86
	VS-MI-05	91.11	55.49	-0.55	-8.70	4.78	0.30	75.67
	VS-MI-06	33.58	44.26	-58.08	-19.93	1157.39	3372.83	397.16
	VS-MI-07	38.08	52.71	-53.58	-11.47	614.78	2870.44	131.67
	VS-MI-08	12.91	52.80	-78.74	-11.39	896.69	6200.52	129.68
	VS-MI-09	96.64	69.87	4.98	5.68	28.30	24.79	32.31
	VS-MI-10	32.35	36.83	-59.30	-27.36	1622.35	3516.84	748.40
	VS-MI-11	97.33	69.30	5.68	5.11	29.03	32.22	26.15
	VS-MI-12	70.37	51.99	-21.29	-12.19	259.64	453.29	148.71
	VS-MI-13	128.50	77.87	36.85	13.68	504.19	1357.69	187.23
	VS-MI-14	9.21	51.44	-82.45	-12.75	1051.26	6797.72	162.58
	VS-MI-15	165.32	85.70	73.66	21.51	1584.68	5426.30	462.79
	VS-MI-16	25.35	53.59	-66.30	-10.60	702.80	4396.07	112.36
	VS-MI-17	178.02	78.18	86.37	13.99	1208.58	7458.93	195.83
	VS-MI-18	73.22	59.85	-18.43	-4.33	79.86	339.85	18.76
	VS-MI-19	154.85	60.78	63.19	-3.41	-215.51	3992.82	11.63
		Promedio (X')= 91.66	Promedio (Y')= 64.19			∑ = 28178.95	∑ = 93950.60	∑ = 10254.70

Coef. de correlación Pearson= 0.908

Coef. de Determinación (R2)= 0.824

Correlación (Nayak y Christensen – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN NAYAK Y CHRISTENSEN						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Nayak y Christensen Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	96.81	92.21	25.47	2348.54	8501.92	648.75
	HU-MI-21	64.33	48.64	-25.89	-22.70	587.63	670.22	515.21
	HU-MI-22	69.22	51.90	-21.00	-19.44	408.26	440.93	378.01
	HU-MI-23	1.07	69.31	-89.14	-2.03	181.29	7946.80	4.14
	HU-MI-24	206.37	119.32	116.15	47.98	5572.72	13490.84	2301.95
	HU-MI-25	101.50	69.83	11.28	-1.51	-16.99	127.28	2.27
	HU-MI-26	76.00	53.39	-14.21	-17.95	255.13	202.02	322.21
	HU-MI-27	20.82	61.52	-69.39	-9.82	681.33	4815.37	96.40
		Promedio (X')= 90.22	Promedio (Y')= 71.34			∑ = 10017.90	∑ = 36195.38	∑ = 4268.94

Coef. de correlación Pearson= 0.806

Coef. de Determinación (R2)= 0.650

Correlación (Nayak y Christensen – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN NAYAK Y CHRISTENSEN						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Nayak y Christensen Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	41.95	-38.19	-7.32	279.65	1458.39	53.63
	AT-MI-29	126.95	54.65	37.61	5.38	202.15	1414.24	28.90
	AT-MI-30	75.34	49.96	-14.01	0.69	-9.60	196.21	0.47
	AT-MI-31	51.41	42.76	-37.93	-6.52	247.28	1438.94	42.50
	AT-MI-32	141.87	57.06	52.52	7.78	408.69	2758.69	60.55
		Promedio (X')= 89.34	Promedio (Y')= 49.28			∑ = 1128.18	∑ = 7266.46	∑ = 186.03
						Coef. de correlación Pearson= 0.970		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.942		

Correlación (Sabtan - Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN SABTAN						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Sabtan Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	202.69	213.90	7.00	1496.40	45753.44	48.94
	VS-MI-02	51.41	192.61	-40.25	-3.08	124.14	1619.87	9.51
	VS-MI-03	76.17	189.46	-15.49	-6.24	96.60	239.86	38.90
	VS-MI-04	101.50	191.06	9.84	-4.64	-45.66	96.83	21.54
	VS-MI-05	91.11	194.01	-0.55	-1.69	0.93	0.30	2.87
	VS-MI-06	33.58	195.67	-58.08	-0.03	1.84	3372.83	0.00
	VS-MI-07	38.08	193.58	-53.58	-2.12	113.43	2870.44	4.48
	VS-MI-08	12.91	195.96	-78.74	0.26	-20.17	6200.52	0.07
	VS-MI-09	96.64	197.26	4.98	1.56	7.78	24.79	2.44
	VS-MI-10	32.35	195.19	-59.30	-0.51	30.14	3516.84	0.26
	VS-MI-11	97.33	196.60	5.68	0.90	5.13	32.22	0.82
	VS-MI-12	70.37	192.97	-21.29	-2.73	58.09	453.29	7.45
	VS-MI-13	128.50	196.09	36.85	0.39	14.23	1357.69	0.15
	VS-MI-14	9.21	198.68	-82.45	2.98	-245.48	6797.72	8.86
	VS-MI-15	165.32	196.36	73.66	0.66	48.67	5426.30	0.44
	VS-MI-16	25.35	196.59	-66.30	0.89	-59.34	4396.07	0.80
	VS-MI-17	178.02	197.46	86.37	1.76	151.84	7458.93	3.09
	VS-MI-18	73.22	197.51	-18.43	1.81	-33.31	339.85	3.27
	VS-MI-19	154.85	198.54	63.19	2.84	179.38	3992.82	8.06
		Promedio (X')= 91.66	Promedio (Y')= 195.70			∑ = 1924.64	∑ = 93950.60	∑ = 161.93
						Coef. de correlación Pearson= 0.493		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.243		

Correlación (Sabtan – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN SABTAN						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Sabtan Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	202.89	92.21	5.39	497.13	8501.92	29.07
	HU-MI-21	64.33	193.54	-25.89	-3.96	102.63	670.22	15.72
	HU-MI-22	69.22	198.24	-21.00	0.74	-15.44	440.93	0.54
	HU-MI-23	1.07	192.68	-89.14	-4.82	429.51	7946.80	23.21
	HU-MI-24	206.37	201.73	116.15	4.23	491.16	13490.84	17.88
	HU-MI-25	101.50	189.15	11.28	-8.35	-94.18	127.28	69.68
	HU-MI-26	76.00	199.70	-14.21	2.20	-31.27	202.02	4.84
	HU-MI-27	20.82	202.08	-69.39	4.57	-317.46	4815.37	20.93
		Promedio (X')= 90.22	Promedio (Y')= 197.50			∑ = 1062.09	∑ = 36195.38	∑ = 181.87
						Coef. de correlación Pearson= 0.414		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.171		

Correlación (Sabtan – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN SABTAN						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Sabtan Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	183.21	-38.19	-9.23	352.43	1458.39	85.16
	AT-MI-29	126.95	199.32	37.61	6.88	258.90	1414.24	47.39
	AT-MI-30	75.34	195.87	-14.01	3.44	-48.12	196.21	11.80
	AT-MI-31	51.41	187.76	-37.93	-4.68	177.41	1438.94	21.87
	AT-MI-32	141.87	196.02	52.52	3.59	188.35	2758.69	12.86
		Promedio (X')= 89.34	Promedio (Y')= 192.44			∑ = 928.97	∑ = 7266.46	∑ = 179.09
						Coef. de correlación Pearson= 0.814		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.663		

Correlación (Komornik y David – Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN KOMORNIK Y DAVID						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Komornik y David Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	126.61	213.90	35.11	7509.29	45753.44	1232.46
	VS-MI-02	51.41	73.46	-40.25	-18.04	726.15	1619.87	325.52
	VS-MI-03	76.17	82.24	-15.49	-9.26	143.47	239.86	85.81
	VS-MI-04	101.50	103.98	9.84	12.47	122.71	96.83	155.50
	VS-MI-05	91.11	84.48	-0.55	-7.03	3.86	0.30	49.41
	VS-MI-06	33.58	80.47	-58.08	-11.04	641.17	3372.83	121.89
	VS-MI-07	38.08	77.90	-53.58	-13.60	728.91	2870.44	185.10
	VS-MI-08	12.91	84.94	-78.74	-6.57	517.39	6200.52	43.17
	VS-MI-09	96.64	89.42	4.98	-2.09	-10.41	24.79	4.37
	VS-MI-10	32.35	93.29	-59.30	1.79	-106.03	3516.84	3.20
	VS-MI-11	97.33	92.11	5.68	0.60	3.42	32.22	0.36
	VS-MI-12	70.37	81.23	-21.29	-10.27	218.76	453.29	105.58
	VS-MI-13	128.50	110.29	36.85	18.78	691.96	1357.69	352.67
	VS-MI-14	9.21	99.87	-82.45	8.36	-689.24	6797.72	69.88
	VS-MI-15	165.32	92.69	73.66	1.19	87.35	5426.30	1.41
	VS-MI-16	25.35	100.02	-66.30	8.51	-564.27	4396.07	72.43
	VS-MI-17	178.02	91.08	86.37	-0.42	-36.36	7458.93	0.18
	VS-MI-18	73.22	83.64	-18.43	-7.86	144.94	339.85	61.81
	VS-MI-19	154.85	90.90	63.19	-0.60	-38.13	3992.82	0.36
		Promedio (X')= 91.66	Promedio (Y')= 91.51			∑ = 10094.94	∑ = 93950.60	∑ = 2871.10
						Coef. de correlación Pearson= 0.615		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.378		

Correlación (Komornik y David – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN KOMORNIK Y DAVID						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Komornik y David Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	98.10	92.21	15.91	1466.60	8501.92	252.99
	HU-MI-21	64.33	58.34	-25.89	-23.85	617.48	670.22	568.88
	HU-MI-22	69.22	84.39	-21.00	2.19	-46.08	440.93	4.82
	HU-MI-23	1.07	77.33	-89.14	-4.86	433.30	7946.80	23.63
	HU-MI-24	206.37	96.37	116.15	14.18	1647.15	13490.84	201.11
	HU-MI-25	101.50	52.11	11.28	-30.08	-339.41	127.28	905.05
	HU-MI-26	76.00	90.02	-14.21	7.83	-111.33	202.02	61.35
	HU-MI-27	20.82	100.87	-69.39	18.68	-1296.38	4815.37	349.01
		Promedio (X')= 90.22	Promedio (Y')= 82.19			∑ = 2371.33	∑ = 36195.38	∑ = 2366.84
						Coef. de correlación Pearson= 0.256		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.066		

Correlación (Komornik y David – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN KOMORNIK Y DAVID						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Komornik y David Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	65.08	-38.19	-20.73	791.81	1458.39	429.90
	AT-MI-29	126.95	98.59	37.61	12.77	480.39	1414.24	163.18
	AT-MI-30	75.34	106.74	-14.01	20.92	-293.07	196.21	437.76
	AT-MI-31	51.41	68.47	-37.93	-17.35	658.06	1438.94	300.95
	AT-MI-32	141.87	90.20	52.52	4.39	230.32	2758.69	19.23
		Promedio (X')= 89.34	Promedio (Y')= 85.82			∑ = 1867.50	∑ = 7266.46	∑ = 1351.01
						Coef. de correlación Pearson= 0.596		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.355		

Correlación (Vijayvergiya y Ghazzaly – Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN VJAYVERGIYA Y GHAZZALY						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	91.55	213.90	2.18	466.57	45753.44	4.76
	VS-MI-02	51.41	89.04	-40.25	-0.33	13.41	1619.87	0.11
	VS-MI-03	76.17	88.79	-15.49	-0.58	9.03	239.86	0.34
	VS-MI-04	101.50	90.02	9.84	0.65	6.36	96.83	0.42
	VS-MI-05	91.11	88.94	-0.55	-0.43	0.23	0.30	0.18
	VS-MI-06	33.58	88.69	-58.08	-0.69	39.80	3372.83	0.47
	VS-MI-07	38.08	88.63	-53.58	-0.74	39.88	2870.44	0.55
	VS-MI-08	12.91	88.58	-78.74	-0.79	62.56	6200.52	0.63
	VS-MI-09	96.64	89.33	4.98	-0.05	-0.23	24.79	0.00
	VS-MI-10	32.35	88.63	-59.30	-0.74	44.18	3516.84	0.55
	VS-MI-11	97.33	89.28	5.68	-0.09	-0.51	32.22	0.01
	VS-MI-12	70.37	88.85	-21.29	-0.52	11.09	453.29	0.27
	VS-MI-13	128.50	90.19	36.85	0.81	29.98	1357.69	0.66
	VS-MI-14	9.21	88.65	-82.45	-0.72	59.50	6797.72	0.52
	VS-MI-15	165.32	90.21	73.66	0.84	61.61	5426.30	0.70
	VS-MI-16	25.35	88.93	-66.30	-0.44	29.34	4396.07	0.20
	VS-MI-17	178.02	90.79	86.37	1.42	122.24	7458.93	2.00
	VS-MI-18	73.22	88.94	-18.43	-0.44	8.04	339.85	0.19
	VS-MI-19	154.85	90.05	63.19	0.68	42.77	3992.82	0.46
		Promedio (X')= 91.66	Promedio (Y')= 89.37			∑ = 1045.87	∑ = 93950.60	∑ = 13.03
						Coef. de correlación Pearson= 0.945		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.893		

Correlación (Vijayvergiya y Ghazzaly – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN VJAYVERGIYA Y GHAZZALY						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	90.95	92.21	0.89	81.69	8501.92	0.78
	HU-MI-21	64.33	89.69	-25.89	-0.38	9.75	670.22	0.14
	HU-MI-22	69.22	89.72	-21.00	-0.34	7.18	440.93	0.12
	HU-MI-23	1.07	89.17	-89.14	-0.90	79.90	7946.80	0.80
	HU-MI-24	206.37	91.70	116.15	1.64	189.97	13490.84	2.68
	HU-MI-25	101.50	89.77	11.28	-0.30	-3.36	127.28	0.09
	HU-MI-26	76.00	89.83	-14.21	-0.23	3.30	202.02	0.05
	HU-MI-27	20.82	89.69	-69.39	-0.38	26.12	4815.37	0.14
		Promedio (X')= 90.22	Promedio (Y')= 90.06			∑ = 394.55	∑ = 36195.38	∑ = 4.81
						Coef. de correlación Pearson= 0.946		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.895		

Correlación (Vijayvergiya y Ghazzaly – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN VJAYVERGIYA Y GHAZZALY						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Vijayvergiya y Ghazzaly Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	88.60	-38.19	0.21	-7.99	1458.39	0.04
	AT-MI-29	126.95	88.29	37.61	-0.09	-3.52	1414.24	0.01
	AT-MI-30	75.34	88.15	-14.01	-0.24	3.33	196.21	0.06
	AT-MI-31	51.41	88.53	-37.93	0.14	-5.43	1438.94	0.02
	AT-MI-32	141.87	88.37	52.52	-0.02	-1.08	2758.69	0.00
		Promedio (X')= 89.34	Promedio (Y')= 88.39			-∑ = 14.69	∑ = 7266.46	∑ = 0.13
						Coef. de correlación Pearson= -0.478		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.228		

Correlación (Jiménez Salas – Villa el Sol).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN JIMÉNEZ SALAS						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Jiménez Salas Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Villa el Sol - San Jerónimo	VS-MI-01	305.56	215.91	213.90	111.15	23775.71	45753.44	12355.02
	VS-MI-02	51.41	49.87	-40.25	-54.89	2209.03	1619.87	3012.47
	VS-MI-03	76.17	65.54	-15.49	-39.21	607.24	239.86	1537.28
	VS-MI-04	101.50	130.90	9.84	26.14	257.27	96.83	683.55
	VS-MI-05	91.11	148.44	-0.55	43.68	-23.98	0.30	1908.22
	VS-MI-06	33.58	60.96	-58.08	-43.79	2543.16	3372.83	1917.58
	VS-MI-07	38.08	55.81	-53.58	-48.94	2622.05	2870.44	2395.16
	VS-MI-08	12.91	84.77	-78.74	-19.99	1573.72	6200.52	399.42
	VS-MI-09	96.64	78.21	4.98	-26.54	-132.15	24.79	704.53
	VS-MI-10	32.35	66.46	-59.30	-38.29	2270.89	3516.84	1466.35
	VS-MI-11	97.33	91.57	5.68	-13.18	-74.80	32.22	173.68
	VS-MI-12	70.37	107.44	-21.29	2.69	-57.23	453.29	7.23
	VS-MI-13	128.50	153.20	36.85	48.45	1785.17	1357.69	2347.24
	VS-MI-14	9.21	185.43	-82.45	80.68	-6651.62	6797.72	6508.66
	VS-MI-15	165.32	92.45	73.66	-12.30	-906.20	5426.30	151.34
	VS-MI-16	25.35	135.86	-66.30	31.10	-2062.24	4396.07	967.42
	VS-MI-17	178.02	84.76	86.37	-19.99	-1726.66	7458.93	399.70
	VS-MI-18	73.22	78.45	-18.43	-26.30	484.89	339.85	691.82
	VS-MI-19	154.85	104.28	63.19	-0.48	-30.06	3992.82	0.23
		Promedio (X')= 91.66	Promedio (Y')= 104.75			∑ = 26464.18	∑ = 93950.60	∑ = 37626.89
						Coef. de correlación Pearson= 0.445		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.198		

Correlación (Jiménez Salas – Huacarpay).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN JIMÉNEZ SALAS						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Jiménez Salas Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Huacarpay - Lucre	HU-MI-20	182.42	191.53	92.21	58.25	5371.14	8501.92	3393.24
	HU-MI-21	64.33	90.95	-25.89	-42.33	1095.82	670.22	1791.68
	HU-MI-22	69.22	133.35	-21.00	0.08	-1.63	440.93	0.01
	HU-MI-23	1.07	78.35	-89.14	-54.93	4896.71	7946.80	3017.29
	HU-MI-24	206.37	163.92	116.15	30.65	3559.71	13490.84	939.27
	HU-MI-25	101.50	45.34	11.28	-87.93	-992.06	127.28	7732.16
	HU-MI-26	76.00	140.48	-14.21	7.20	-102.39	202.02	51.89
	HU-MI-27	20.82	222.29	-69.39	89.01	-6176.69	4815.37	7922.88
		Promedio (X')= 90.22	Promedio (Y')= 133.28			∑ = 7650.62	∑ = 36195.38	∑ = 24848.43
						Coef. de correlación Pearson= 0.255		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.065		

Correlación (Jiménez Salas – Los Prados).

DATOS DE LA MUESTRA		CORRELACIÓN JIMÉNEZ SALAS						
ZONA	Muestra (Codificación)	Presión de Expansión Medida KPa	Presión de Expansión Jiménez Salas Kpa	Cálculo del Coeficiente de Correlación Pearson				
		X	Y	X - X'	Y - Y'	(X - X')*(Y - Y')	(X - X')^2	(Y - Y')^2
Los Prados - Alto Qosqo	AT-MI-28	51.15	64.13	-38.19	-173.61	6629.86	1458.39	30139.50
	AT-MI-29	126.95	406.38	37.61	168.64	6342.11	1414.24	28441.07
	AT-MI-30	75.34	392.49	-14.01	154.75	-2167.63	196.21	23947.27
	AT-MI-31	51.41	81.11	-37.93	-156.63	5941.34	1438.94	24531.65
	AT-MI-32	141.87	244.58	52.52	6.84	359.22	2758.69	46.78
		Promedio (X')= 89.34	Promedio (Y')= 237.74			∑ = 17104.90	∑ = 7266.46	∑ = 107106.27
						Coef. de correlación Pearson= 0.613		
						Coef. de Determinación (R2)= 0.376		

Anexo N°10: Panel fotográfico

Extracción de la muestra de suelo en cubo de manera inalterada (Villa el Sol).



Muestra de suelo inalterada forrada en film plástico (Villa el Sol).



Muestreo del cubo de suelo inalterado en presencia de nivel freático (Huacarpay).



Cubo de suelo inalterado forrado en film plástico (Huacarpay).



Muestra de suelo inalterado en caja de transporte.



Muestreo de suelo inalterado en fondo de calicata (Huacarpay).



Muestra de suelo en cubo inalterado (Los Prados).



Forrado y encajonamiento de muestra inalterada (Los Prados).



Muestra de suelo en caja de transporte.



Muestreo de suelo para caracterización.



Tallado de muestra de suelo (Villa el Sol).



Tallado de muestra de suelo (Huacarpay).



Tallado de muestra de suelo (Los Prados).



Límite líquido del suelo.



Muestras a secar para límite líquido y plástico del suelo.



Límite plástico del suelo.



Muestras secadas al horno para límite líquido y plástico.



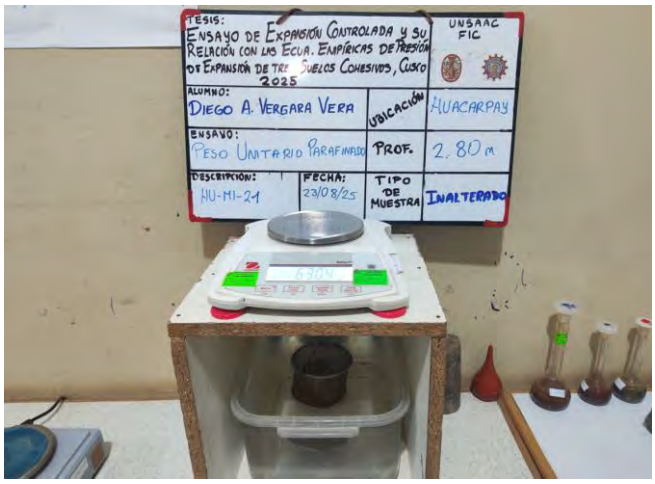
Secado de muestras al horno, determinación de la humedad del suelo.



Muestras parafinadas de suelo para determinación de peso unitario.



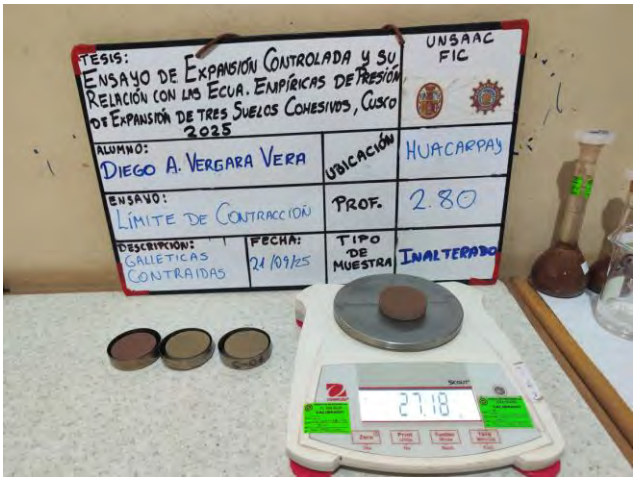
Determinación de peso unitario mediante sumersión.



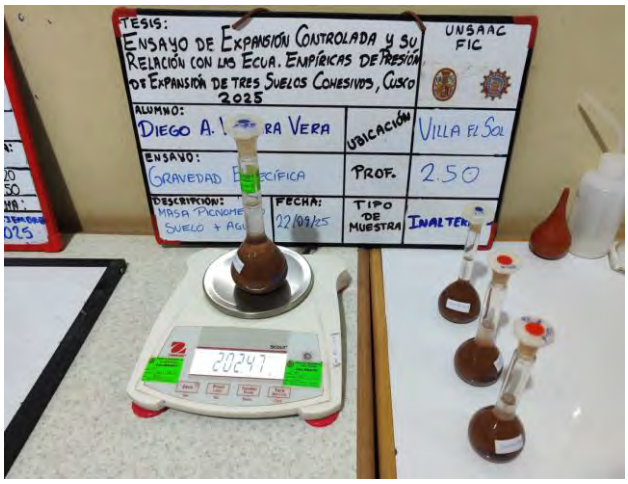
Galletas de suelo parafinadas, ensayo de límite de contracción.



Pesado de galletas de suelo contraídas, ensayo de límite de contracción.



Ensayo de gravedad específica del suelo.



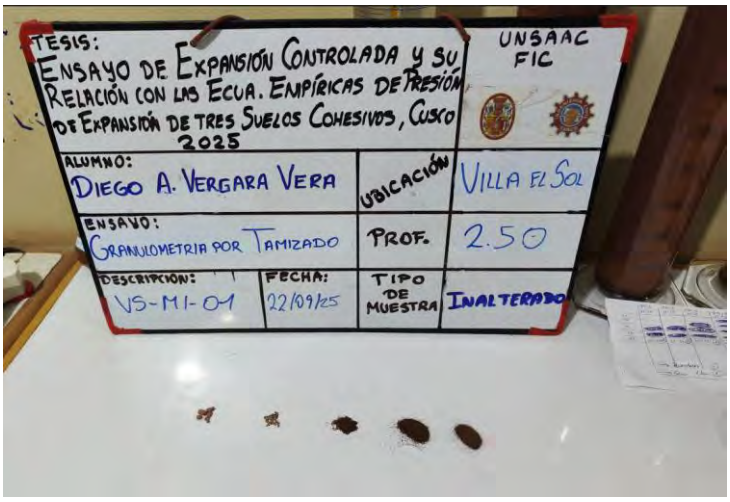
Lavado por malla #200 de las muestras de suelo.



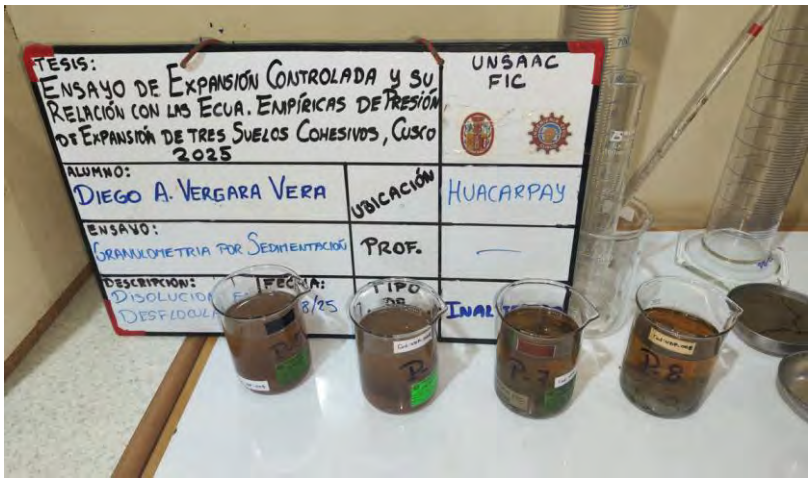
Granulometría por tamizado de suelo.



Muestras de suelo tamizadas. (Restante de 600 g de muestra).



Disolución de muestras de suelo en hexametafosfato de sodio.



Ensayo de granulometría por sedimentación.



Muestras en tubo de sedimentación.



Medición de la sedimentación del suelo con el Hidrómetro.



Medida del Hidrómetro.



Tubo de control de temperatura para el ensayo de granulometría por sedimentación.



Tallado de muestras para el ensayo de expansión controlada.



Tallado de muestras en anillo del Edómetro.



Colocación de muestras en el edómetro para el ensayo de expansión controlada.



Equipo edómetro de nueve brazos.



Edómetro de un brazo, laboratorio de EPIC.



Retiro de muestras después del ensayo de expansión controlada.



Muestra expandida después del ensayo de expansión controlada.



Muestreo para humedad del suelo después del ensayo de expansión controlada.



Anexo N°11: Certificados de calibración de equipos de laboratorio

Certificado de calibración Balanza OHAUS 620 g - Parte I.



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033

Laboratorio PP

INACAL DA - Perú Laboratorio de Calibración Acreditado

Registro N°LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-1468-2025

Página: 1 de 3

Expediente	:	**470-2025**
Fecha de Emisión	:	2025-08-25
1. Solicitante	:	**J & T INGEOTECNIA SERVICIOS GENERALES S.A.C.**
Dirección	:	AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO
2. Instrumento de Medición	:	**BALANZA**
Marca	:	**OHAUS**
Modelo	:	**NV622**
Número de Serie	:	**8344272531**
Alcance de Indicación	:	**620 g**
División de Escala de Verificación (e)	:	**0,01 g**
División de Escala Real (d)	:	**0,01 g**
Procedencia	:	**CHINA**
Identificación	:	**NO INDICA**
Tipo	:	**ELECTRÓNICA**
Ubicación	:	**LABORATORIO**
Fecha de Calibración	:	**2025-08-22**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarón las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y Clase II del SNM-INDECOPI.

4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de J & T INGEOTECNIA SERVICIOS GENERALES S.A.C.
AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S A C

PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

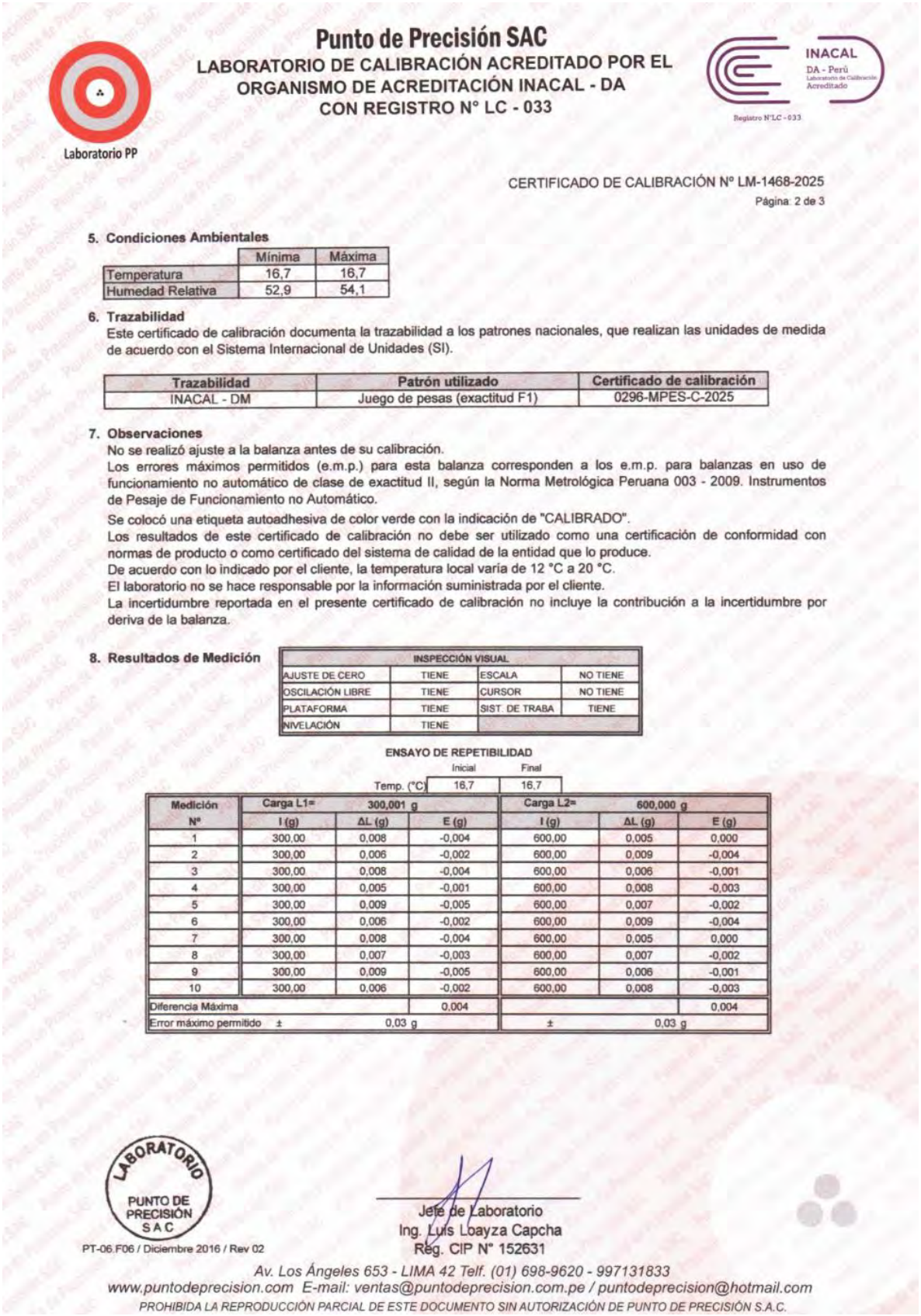
Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Balanza OHAUS 620 g - Parte II.



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033

Laboratorio PP

INACAL DA - Perú Laboratorio de Calibración Acreditado

Registro N°LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº LM-1468-2025

Página: 2 de 3

5. Condiciones Ambientales

	Mínima	Máxima
Temperatura	16,7	16,7
Humedad Relativa	52,9	54,1

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL - DM	Juego de pesas (exactitud F1)	0296-MPES-C-2025

7. Observaciones

No se realizó ajuste a la balanza antes de su calibración.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

De acuerdo con lo indicado por el cliente, la temperatura local varía de 12 °C a 20 °C.

El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente.

La incertidumbre reportada en el presente certificado de calibración no incluye la contribución a la incertidumbre por deriva de la balanza.

8. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temp. (°C)	16,7	16,7

Medición	Carga L1= 300,001 g			Carga L2= 600,000 g		
Nº	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	300,00	0,008	-0,004	600,00	0,005	0,000
2	300,00	0,006	-0,002	600,00	0,009	-0,004
3	300,00	0,008	-0,004	600,00	0,006	-0,001
4	300,00	0,005	-0,001	600,00	0,008	-0,003
5	300,00	0,009	-0,005	600,00	0,007	-0,002
6	300,00	0,006	-0,002	600,00	0,009	-0,004
7	300,00	0,008	-0,004	600,00	0,005	0,000
8	300,00	0,007	-0,003	600,00	0,007	-0,002
9	300,00	0,009	-0,005	600,00	0,006	-0,001
10	300,00	0,006	-0,002	600,00	0,008	-0,003
Diferencia Máxima			0,004			0,004
Error máximo permitido	±	0,03 g		±	0,03 g	

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN SAC

PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

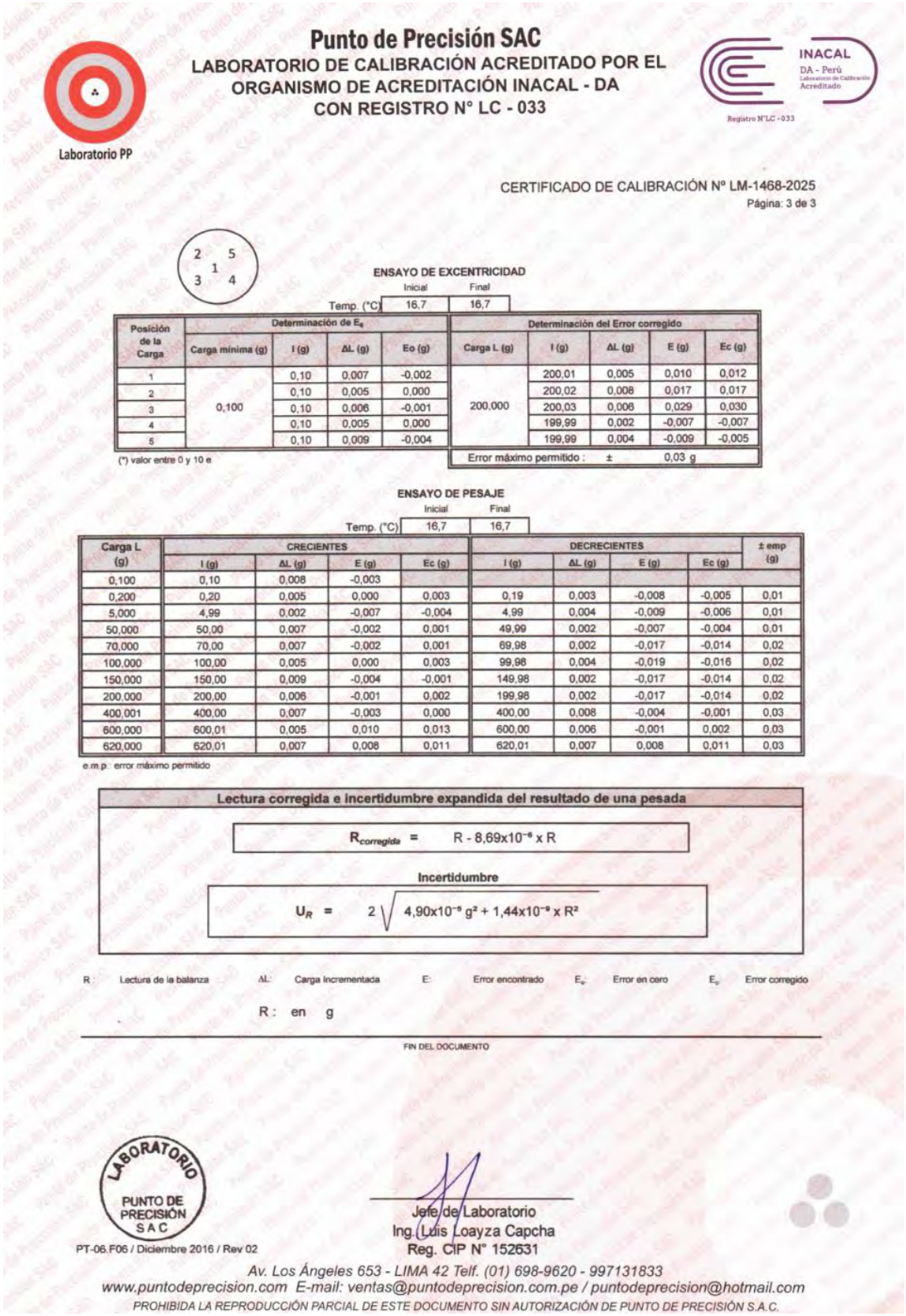
Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Balanza OHAUS 620 g - Parte III.



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033

Laboratorio PP

INACAL DA - Perú Laboratorio de Calibración Acreditado

Registro N°LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Nº LM-1468-2025

Página: 3 de 3

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

	Inicial	Final
Temp. (°C)	16,7	16,7

Posición de la Carga	Determinación de E_o				Determinación del Error corregido				
	Carga mínima (g)	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)
1	0,100	0,10	0,007	-0,002	200,000	200,01	0,005	0,010	0,012
2		0,10	0,005	0,000		200,02	0,008	0,017	0,017
3		0,10	0,006	-0,001		200,03	0,008	0,029	0,030
4		0,10	0,005	0,000		199,99	0,002	-0,007	-0,007
5		0,10	0,009	-0,004		199,99	0,004	-0,009	-0,005
					Error máximo permitido :	±	0,03 g		

(*) valor entre 0 y 10 e

ENSAYO DE PESAJE

	Inicial	Final
Temp. (°C)	16,7	16,7

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				± emp (g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
0,100	0,10	0,008	-0,003						
0,200	0,20	0,005	0,000	0,003	0,19	0,003	-0,008	-0,005	0,01
5,000	4,99	0,002	-0,007	-0,004	4,99	0,004	-0,009	-0,006	0,01
50,000	50,00	0,007	-0,002	0,001	49,99	0,002	-0,007	-0,004	0,01
70,000	70,00	0,007	-0,002	0,001	69,98	0,002	-0,017	-0,014	0,02
100,000	100,00	0,005	0,000	0,003	99,98	0,004	-0,019	-0,016	0,02
150,000	150,00	0,009	-0,004	-0,001	149,98	0,002	-0,017	-0,014	0,02
200,000	200,00	0,006	-0,001	0,002	199,98	0,002	-0,017	-0,014	0,02
400,001	400,00	0,007	-0,003	0,000	400,00	0,008	-0,004	-0,001	0,03
600,000	600,01	0,005	0,010	0,013	600,00	0,006	-0,001	0,002	0,03
620,000	620,01	0,007	0,008	0,011	620,01	0,007	0,008	0,011	0,03

e.m.p.: error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{corregida} = R - 8{,}69\times10^{-6} \times R$$

Incertidumbre

$$U_R = 2\sqrt{4{,}90\times10^{-6}\ g^2 + 1{,}44\times10^{-9} \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza ΔL: Carga incrementada E: Error encontrado E_o: Error en cero E_c: Error corregido

R: en g

FIN DEL DOCUMENTO

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN SAC

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Medio Isotérmico (Horno) ARSOU GROUP - Parte I.



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-898-2025

Página 1 de 5

Expediente	: **470-2025**
Fecha de emisión	: 2025-08-25
1. Solicitante	: **J & T INGEOTECNIA SERVICIOS GENERALES S.A.C.**
Dirección	: AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO
2. Instrumento de medición	: **MEDIO ISOTERMO (HORNO)**
Marca	: **ARSOU GROUP**
Modelo	: **STHX-1A**
Número de Serie	: **220954**
Procedencia	: **NO INDICA**
Código de Identificación	: **HR-002**
Tipo de Indicador del Ind.	: **DIGITAL**
Alcance del Indicador	: **NO INDICA**
Resolución del Indicador	: **0,1 °C**
Marca del Indicador	: **AUTCOMP**
Modelo del Indicador	: **TCD**
Serie del Indicador	: **NO INDICA**
Tipo de indicador del selc.	: **DIGITAL**
Alcance del Selector	: **NO INDICA**
División de Escala	: **0,1 °C**
Clase	: **NO INDICA**
Punto de calibración	: **110 °C ± 5 °C**
Fecha de calibración	: **2025-08-23**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarón las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Método de calibración

La calibración se realizó según la PC-018 "Procedimiento de calibración para medios isotermicos usando aire como medio conductor, 2da Edición junio 2009 del SNM-INDECOPI".

4. Lugar de calibración
AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Medio Isotérmico (Horno) ARSOU GROUP - Parte II.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-898-2025
Página 2 de 5

5. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura ambiental (°C)	15,9	15,9
Humedad relativa (%hr)	61,0	62,0

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

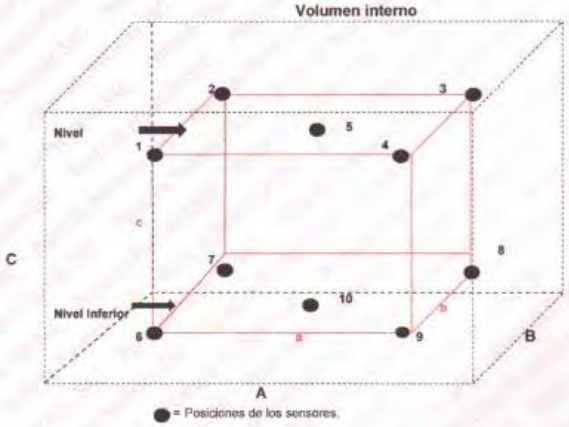
Patrón utilizado	N° de Certificado	Trazabilidad
Termómetro digital de 12 sensores termopares tipo T con una incetidumbre en el orden de 0,113 °C a 0,113 °C	0455-LT-2025	CADENT

7. Observaciones

- La incertidumbre de medición calculada (U), ha sido determinada a partir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura $k=2$. Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.
- Se coloco una etiqueta adherido al instrumento de medición con la indicación "CALIBRADO".
- La carga para La prueba consistio en tazón de acero.
- Se selecciono el selector del equipo en 110 °C, para obtener una temperatura de trabajo aproximada a 110 °C .

8. Ubicación dentro del volumen interno del equipo

Volumen interno



Volumen interno

A = 45 cm
B = 35 cm
C = 45 cm

Volumen de trabajo

a = 36 cm
b = 28 cm
c = 31,5 cm

● = Posiciones de los sensores.

A, B, C = Dimensiones del volumen interno del equipo.
a, b, c = Aproximadamente 1/10 a 1/4 de las paredes de las dimensiones del volumen interno.
Los sensores ubicados en las posiciones 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.
Distancia de la pared inferior del equipo al nivel inferior: 8,5 cm
Distancia de la pared superior del equipo al nivel superior: 5 cm

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Medio Isotérmico (Horno) ARSOU GROUP -Parte III.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-898-2025
Página 3 de 5

9. Resultados de la calibración

Temperaturas registradas en el punto de calibración : 110 °C ± 5 °C

Tiempo	Indicador del equipo	Temperaturas convencionalmente verdaderas expresadas en °C										T. prom.	ΔT.
hh:mm	(°C)	Posición 1	Posición 2	Posición 3	Posición 4	Posición 5	Posición 6	Posición 7	Posición 8	Posición 9	Posición 10	°C	°C
00:00	110,0	107,4	105,4	110,3	111,5	107,2	117,1	111,6	118,2	111,0	110,7	111,0	12,8
00:02	110,0	107,6	105,5	110,4	111,6	107,0	117,2	111,5	118,0	110,9	110,1	111,0	12,5
00:04	110,1	107,2	105,1	110,3	111,5	107,2	116,9	111,3	118,2	110,8	110,2	110,9	13,1
00:06	110,1	107,6	105,3	110,2	111,5	107,4	117,0	111,1	118,3	111,2	110,4	111,0	13,0
00:08	110,1	107,5	105,1	110,4	111,7	106,9	117,3	111,3	118,2	111,3	110,3	111,0	13,1
00:10	110,0	107,6	105,3	110,6	111,0	107,0	117,6	111,4	117,8	111,2	110,1	111,0	12,5
00:12	110,0	107,4	105,2	110,2	110,8	107,3	117,5	111,0	118,0	111,3	110,2	110,9	12,8
00:14	109,9	107,3	105,3	110,6	111,5	107,1	117,0	110,9	118,0	111,2	110,1	110,9	12,7
00:16	111,0	107,4	105,4	110,5	111,6	107,4	117,6	111,1	118,4	111,0	110,3	111,1	13,0
00:18	111,0	107,5	105,0	110,3	111,7	107,3	116,8	111,3	117,9	111,4	109,9	110,9	12,9
00:20	110,0	107,4	105,4	110,3	111,5	107,2	117,1	111,6	118,2	111,0	110,7	111,0	12,8
00:22	110,0	107,6	105,5	110,4	111,6	107,0	117,2	111,5	118,0	110,9	110,1	111,0	12,5
00:24	110,1	107,2	105,1	110,3	111,5	107,2	116,9	111,3	118,2	110,8	110,2	110,9	13,1
00:26	110,1	107,6	105,3	110,2	111,5	107,4	117,0	111,1	118,3	111,2	110,4	111,0	13,0
00:28	110,1	107,5	105,1	110,4	111,7	106,9	117,3	111,3	118,2	111,3	110,3	111,0	13,1
00:30	110,0	107,6	105,3	110,6	111,0	107,0	117,6	111,4	117,8	111,2	110,1	111,0	12,5
00:32	110,0	107,4	105,2	110,2	110,9	107,3	117,5	111,0	118,0	111,3	110,2	110,9	12,8
00:34	109,9	107,3	105,3	110,6	111,5	107,1	117,0	110,9	118,0	111,2	110,1	110,9	12,7
00:36	111,0	107,4	105,4	110,5	111,6	107,4	117,6	111,1	118,4	111,0	110,3	111,1	13,0
00:38	111,0	107,5	105,0	110,3	111,7	107,3	116,8	111,3	117,9	111,4	109,9	110,9	12,9
00:40	110,0	107,4	105,4	110,3	111,5	107,2	117,1	111,6	118,2	111,0	110,7	111,0	12,8
00:42	110,0	107,6	105,5	110,4	111,6	107,0	117,2	111,5	118,0	110,9	110,1	111,0	12,5
00:44	110,1	107,2	105,1	110,3	111,5	107,2	116,9	111,3	118,2	110,8	110,2	110,9	13,1
00:46	110,1	107,6	105,3	110,2	111,5	107,4	117,0	111,1	118,3	111,2	110,4	111,0	13,0
00:48	110,1	107,5	105,1	110,4	111,7	106,9	117,3	111,3	118,2	111,3	110,3	111,0	13,1
00:50	110,0	107,6	105,3	110,6	111,0	107,0	117,6	111,4	117,8	111,2	110,1	111,0	12,5
00:52	110,0	107,4	105,2	110,2	110,9	107,3	117,5	111,0	118,0	111,3	110,2	110,9	12,8
00:54	109,9	107,3	105,3	110,6	111,5	107,1	117,0	110,9	118,0	111,2	110,1	110,9	12,7
00:56	111,0	107,4	105,4	110,5	111,6	107,4	117,6	111,1	118,4	111,0	110,3	111,1	13,0
00:58	111,0	107,5	105,0	110,3	111,7	107,3	116,8	111,3	117,9	111,4	109,9	110,9	12,9
01:00	110,0	107,4	105,4	110,3	111,5	107,2	117,1	111,6	118,2	111,0	110,7	111,0	12,8

T. Promedio	107,4	105,3	110,4	111,4	107,2	117,2	111,2	118,1	111,2	110,3	Temperatura promedio general (°C)
T.Máximo	107,6	105,5	110,6	111,7	107,4	117,6	111,6	118,4	111,4	110,7	
T. Mínimo	107,2	105,0	110,2	110,9	106,9	116,8	110,9	117,8	110,8	109,9	
DTT	0,4	0,5	0,4	0,8	0,5	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8	111,0

Tabla de resumen de resultados

Magnitudes obtenidas	Valor (°C)	Incertidumbre expandida (°C)
Máxima temperatura registrada durante la calibración	118,4	0,2
Mínima temperatura registrada durante la calibración	105,0	0,2
Desviación de temperatura en el tiempo (DTT)	0,8	0,1
Desviación de temperatura en el espacio (DTE)	12,8	0,1
Estabilidad (±)	0,40	0,04
Uniformidad	13,1	0,1

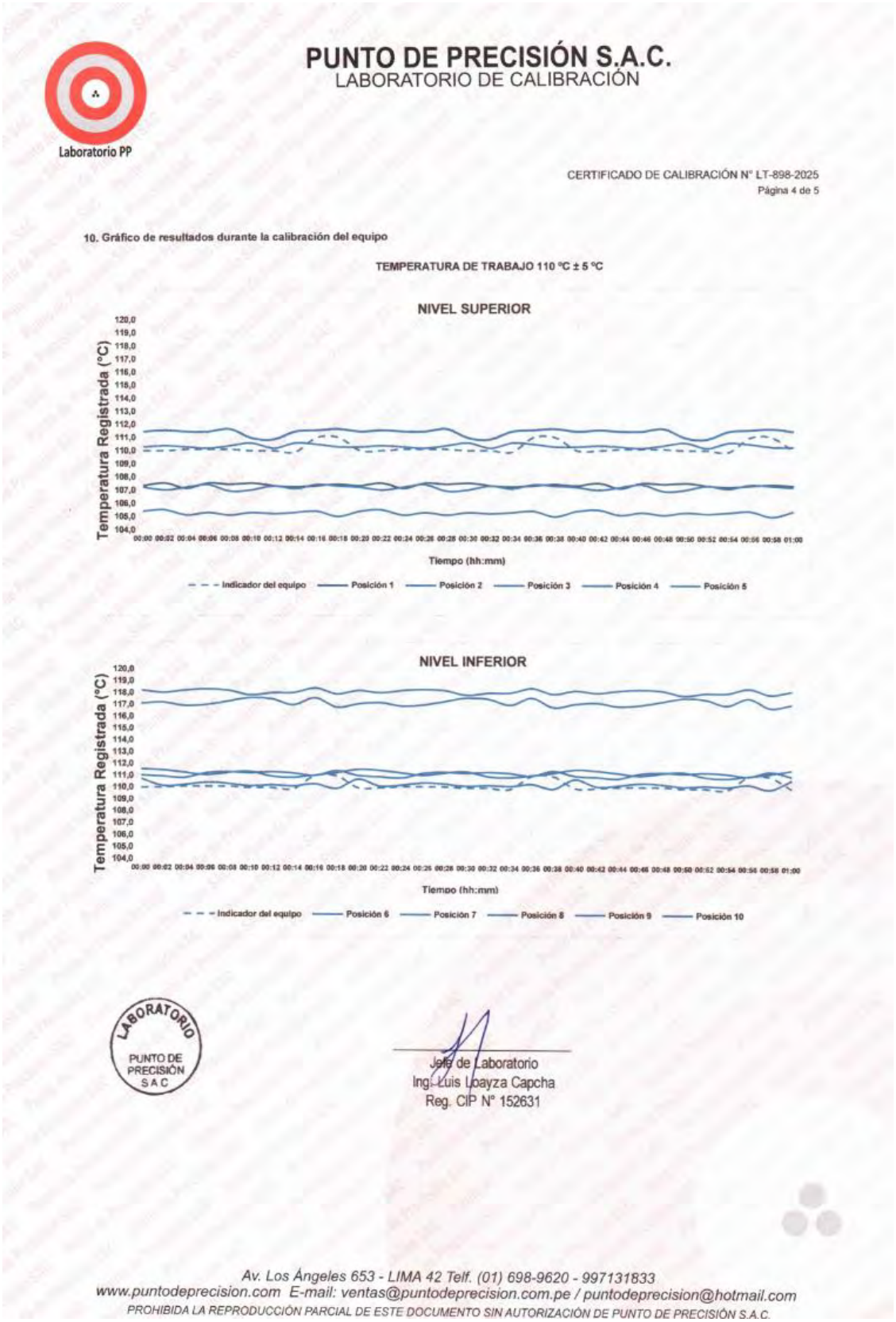
LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN SAC

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Medio Isotérmico (Horno) ARSOU GROUP -Parte IV.



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-898-2025
Página 4 de 5

10. Gráfico de resultados durante la calibración del equipo

TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C ± 5 °C

NIVEL SUPERIOR

NIVEL INFERIOR

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Medio Isotérmico (Horno) ARSOU GROUP - Parte V.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-898-2025
Página 5 de 5

Nomenclatura

T. prom	: Temperatura promedio de los sensores por cada intervalo.
ΔT.	: Diferencia entre máxima y mínima temperaturas en cada intervalo de tiempo.
T. Promedio	: Promedio de las temperaturas convencionalmente verdaderas durante el tiempo total
T.Máximo	: La máxima de las temperaturas convencionalmente verdaderas durante el tiempo total
T. Mínimo	: La mínima de las temperaturas convencionalmente verdaderas durante el tiempo total
DTT	: Desviación de temperatura en el tiempo.

Fotografía interna del equipo.



FIN DEL DOCUMENTO

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S A C

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Copa de Casagrande PINZUAR Parte I.



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL-5807-2025

Página : 1 de 3

Expediente : **470-2025**
Fecha de emisión : 2025-08-25

1. **Solicitante** : **J & T INGEOTECNIA SERVICIOS GENERALES S.A.C.**

   Dirección : AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO

2. **Instrumento de Medición** : **COPA CASAGRANDE**

   Marca de Copa : **PINZUAR**
   Modelo de Copa : **S020604**
   Serie de Copa : **2336**
   Código de Identificación : **CSG-001**

   Contómetro : **ANALÓGICO**
   Marca de Contómetro : **KEIHOKU KEIKI KOGYO**
   Modelo de Contómetro : **RS-204-51**
   Serie de Contómetro : **NO INDICA**

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. **Lugar y fecha de Calibración**
   AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO
   22 de agosto de 2025

4. **Método de Calibración**
   Por Comparación con instrumentos Certificados por el INACAL - DM.
   Tomando como referencia la Norma ASTM D 4318.

5. **Trazabilidad**

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
PIE DE REY	MITUTOYO	DM25-C-0177-2025	INACAL - DM
MICRÓMETRO	INSIZE	DM25-C-0056-2025	INACAL - DM
BALANZA	KERN	LM-002-2025	PUNTO DE PRECISIÓN

6. **Condiciones Ambientales**

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	16,2	16,2
Humedad %	60	61

7. **Observaciones**
   Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la siguiente página del presente documento.
   Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Copa de Casagrande PINZUAR Parte II.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL-5807-2025

Tabla de Medidas

COPA CASAGRANDE									
DIMENSIONES	A	B	C	E	J	K	L	M	U

DESCRIPCIÓN	RADIO DE LA COPA	ESPESOR DE LA COPA	PROFUNDIDA DE LA COPA	DISTANCIA	ALTURA	ESPESOR	LARGO	ANCHO	Copa desde la guia del espesor a base
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
MEDIDA TOMADA	54,21	2,050	27,15	54,52	59,48	50,25	150,80	125,68	47,69
	54,18	1,720	27,15	54,52	59,48	50,32	151,11	125,29	47,69
	53,76	1,580	27,15	54,52	59,48	50,14	150,93	125,70	47,69
	53,78	2,130	27,15	54,52	59,48	50,17	150,60	125,71	47,69
	54,19	2,070	27,15	54,52	59,48	50,14	151,13	125,31	47,69
	53,75	2,710	27,15	54,52	59,48	50,13	150,92	125,72	47,69
PROMEDIO	53,98	2,04	27,15	54,52	59,48	50,19	150,92	125,57	47,69
MEDIDAS STANDARD	54,00	2,00	27,00	56,00	60,00	50,00	150,00	125,00	47,00
TOLERANCIA ±	0,5	0,1	0,5	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0
ERROR	-0,02	0,04	0,15	-1,48	-0,52	0,19	0,91	0,57	0,69

	Rango según norma	Medida encontrada
Resiliencia	77 % a 90 %	85 %

	Rango según norma	Masa encontrada
Masa de Copa	185 g a 215 g	208,61 g

Inspección del desgaste

Desgaste de Base: El punto de la base donde la copa hace contacto no debera presentar desgaste mayor de 10 mm de diámetro.

DESCRIPCIÓN	DESGASTE DE BASE
	mm
MEDIDA TOMADA	6,81
	6,81
	6,81
	6,81
	6,81
	6,81
PROMEDIO	6,81
MEDIDAS STANDARD	<10

Desgaste de Copa. Reemplace la copa cuando la herramienta de ranurado haya originado en la copa una depresión de 0,1 mm de profundidad o cuando el reborde de la copa haya sido reducido a la mitad de su espesor original.

DESCRIPCIÓN		DESGASTE DE COPA	
		LATERALES DE LA COPA	EL CENTRO DE LA COPA
		mm	mm
MEDIDA TOMADA	1	2,055	2,051
	2	1,726	1,721
	3	1,587	1,584
	4	2,136	2,132
	5	2,074	2,071
	6	2,716	2,711
PROMEDIO		2,049	2,045
MEDIDAS STANDARD		2,000	2,000
ERROR		0,049	0,045
ERROR DE DEPRESIÓN		0,004 mm	

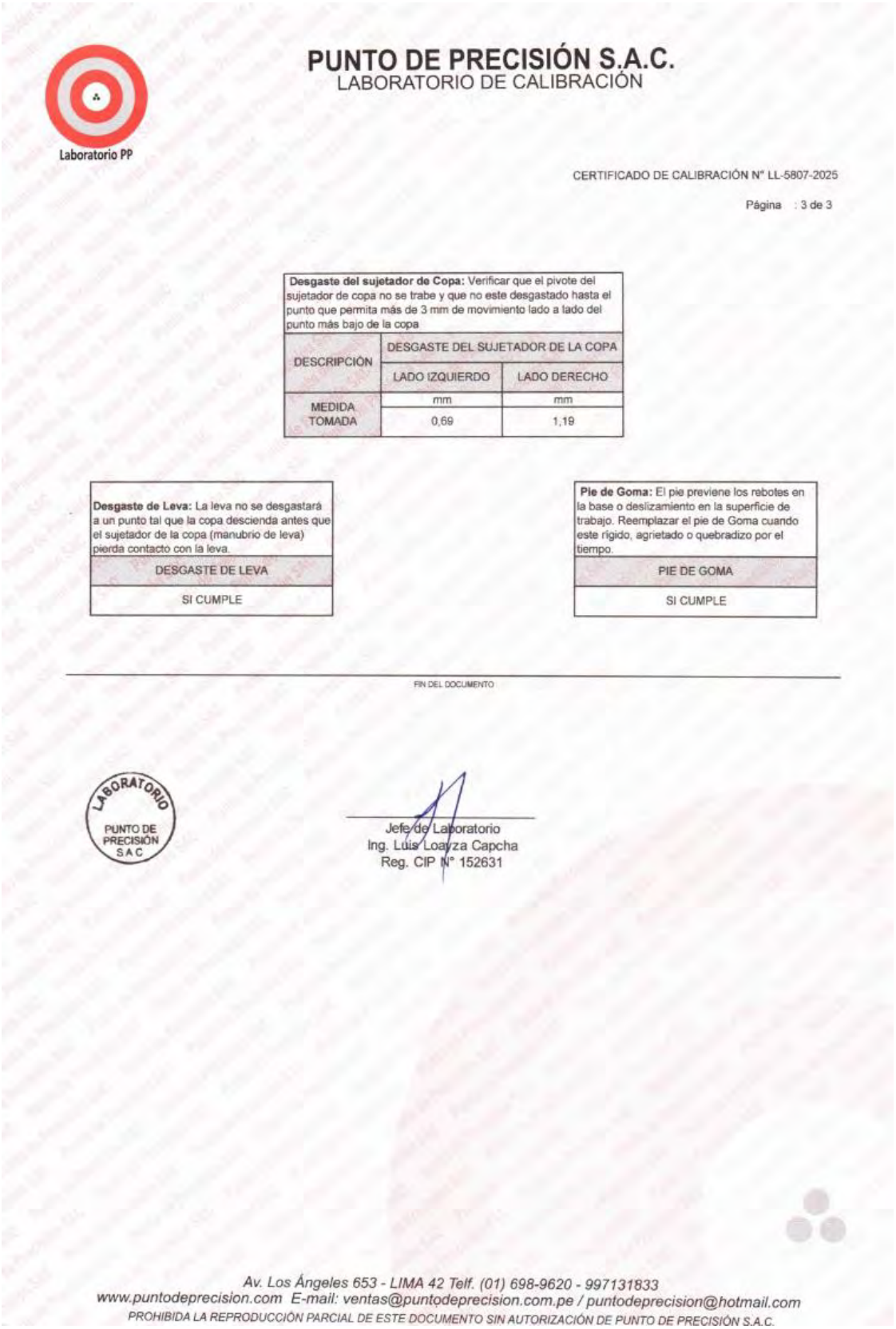
LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN SAC

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Copa de Casagrande PINZUAR Parte III.



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL-5807-2025

Página : 3 de 3

Desgaste del sujetador de Copa: Verificar que el pivote del sujetador de copa no se trabe y que no este desgastado hasta el punto que permita más de 3 mm de movimiento lado a lado del punto más bajo de la copa

DESCRIPCIÓN	DESGASTE DEL SUJETADOR DE LA COPA	
	LADO IZQUIERDO	LADO DERECHO
MEDIDA TOMADA	mm	mm
	0,69	1,19

Desgaste de Leva: La leva no se desgastará a un punto tal que la copa descienda antes que el sujetador de la copa (manubrio de leva) pierda contacto con la leva.

DESGASTE DE LEVA
SI CUMPLE

Pie de Goma: El pie previene los rebotes en la base o deslizamiento en la superficie de trabajo. Reemplazar el pie de Goma cuando este rígido, agrietado o quebradizo por el tiempo.

PIE DE GOMA
SI CUMPLE

FIN DEL DOCUMENTO

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Matraz de un solo trazo de 100ml



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LV-243-2025

Laboratorio PP

Página : 1 de 1

Expediente : 470-2025
Fecha de Emisión : 2025-08-25

1. **Solicitante** : **J & T INGEOTECNIA SERVICIOS GENERALES S.A.C.**

   Dirección : AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO

2. **Instrumento de Medición** : **MATRAZ DE UN SOLO TRAZO**

Capacidad Nominal	: 100 mL	Marca	: KYNTEL
Tipo	: IN	Modelo	: NO INDICA
Material	: VIDRIO	Serie	: NO INDICA
Clase de Exactitud	: A	Procedencia	: NO INDICA
Temperatura de Referencia	: 20 °C	Código de Identificación	: F-015

3. **Lugar y fecha de Calibración**
   AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO
   22 de Agosto de 2025

4. **Método de Calibración**
   Determinación del volumen contenido por el método gravimétrico, tomando como referencia la PC-015 5ta edición: Procedimiento para la calibración de material volumétrico de vidrio y plástico del INACAL - DM.

5. **Patrones de Referencia**
   Los resultados obtenidos tienen trazabilidad a los patrones Nacionales de la INACAL - DM.

Balanza con Certificado de Calibración	: LM-002-2025
Termómetro con Certificado de Calibración	: LT-241-2024
Termohigrometro con Certificado de Calibración	: 1AT-0361-2025

6. **Condiciones Ambientales**

Temperatura	17,7 °C
Humedad Relativa	66,0 %
Presión Atmosférica	991 mbar

7. **Resultados**

Valor Nominal (mL)	Volumen Contenido (mL)	Desviación (mL)	Incertidumbre (mL)
100	99,93	-0,07	0,12

8. **Incertidumbre**
   La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la Medición". Generalmente , el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

9. **Observaciones y Notas**
   El error máximo permitido (emp) para matraz de un solo trazo de capacidad nominal de 100 mL de clase de exactitud A según fabricante es ± 0,10 mL

* Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función de su uso, conservación y mantenimiento del instrumento o equipo de medición.
* El presente documento es válido sólo en su papel original, a condición que se muestre en su totalidad y no en forma parcial o fragmentada, no pudiendo extender la conclusión a otras unidades.

FIN DEL DOCUMENTO

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN SAC

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Comparador Cuadrante Digital (Dial) – Parte I.

Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°LL-5821-2025

Página: 1 de 2

Expediente : 470-2025
Fecha de emisión : 2025-08-25

1. Solicitante : **J & T INGEOTECNIA SERVICIOS GENERALES S.A.C.**

Dirección : AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precision S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

2. Instrumento : **COMPARADOR DE CUADRANTE**

Tipo de Indicación	: **DIGITAL**
Alcance de Indicación	: **0 mm a 12,7 mm**
División mínima	: **0,01 mm**
Marca	: **MITUTOYO**
Modelo	: **ID-S1012X2**
Serie	: **22263213**
Procedencia	: **JAPAN**
Identificación	: **NO INDICA**

3. Fecha de Calibración y lugar
Fecha de calibración: **2025-08-22**
La calibración se realizó en AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO

4. Método de Calibración
La calibración se efectuó por comparación directa según el PC-014 " Procedimiento para la calibración de comparadores de cuadrante utilizando bloques patrones de longitud - DM-INACAL" Edición 3, 2019

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
JUEGO DE BLOQUES	INSIZE	LLA-C-017-2025	INACAL - DM
TERMÓMETRO DE CONTACTO	NO INDICA	CT-1256-2025	TOTAL WEIGHT

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	18,0	18,0
Humedad %	69,4	69,4

7. Observaciones
- Se colocó una etiqueta autodhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO"
- La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura k=2, para un nivel de confianza aproximado del 95 %.
- El error máximo permitido del instrumento es: 20 µm

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN SAC

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Comparador Cuadrante Digital (Dial) – Parte II.



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°LL-5821-2025

Página: 2 de 2

8. Resultados

Valor Patrón (mm)	Indicación del Comparador (mm)	Error de Indicación (µm)	Error máximo permitido ± (µm)
0,00	0,00	0	20
1,00	1,01	10	20
2,00	2,01	10	20
3,00	3,01	10	20
4,00	4,01	10	20
5,00	5,01	10	20
6,00	6,02	20	20
7,00	7,02	20	20
8,00	8,02	20	20
9,00	9,02	20	20
10,00	10,02	20	20

Incertidumbre de medición : 8 µm

Nota: Error máximo permitido dado por el fabricante.

Fin del documento

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Comparador Cuadrante (Equipo de Consolidación) - Parte I.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LO-455-2025

Página : 1 de 4

Expediente : **470-2025**
Fecha de emisión : 2025-08-25

1. **Solicitante** : **J & T INGEOTECNIA SERVICIOS GENERALES S.A.C.**
   Dirección : AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO
2. **Equipo** : **CONSOLIDACIÓN**
3. **Instrumento de Medición** : **COMPARADOR DE CUADRANTE**

Marca de Consolidación	: **ARSOUGROUP**
Modelo de Consolidación	: **WG-1B**
Serie de Consolidación	: **220421**
Alcance de Indicación	: **0 mm a 10 mm**
División de Escala	: **0,01 mm**
Marca del Dial	: **ACCUD**
Modelo del Dial	: **NO INDICA**
Serie del Dial	: **210621 ; 22037695 ; 22033782**

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

4. **Lugar y fecha de Calibración**
   AV. AVENIDA COLLASUYO/LAS PALMERAS A-1 NRO. SN ASC. PROLONGACION - SAN SEBASTIAN - CUSCO
   22 de agosto de 2025
5. **Método de Calibración**
   La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el Procedimiento de calibración de Comparadores de cuadrante PC-014 (2da Edición 2001) del INACAL - DM.
6. **Trazabilidad**

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
BLOQUES PLANOPARALELOS	INSIZE	LLA-C-017-2025	INACAL - DM
INDICADOR	NO INDICA	LFP-001-2025	PUNTO DE PRECISIÓN
CELDA	MAVIN		

7. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	17,2	17,2
Humedad %	61	61

8. **Observaciones**
   Los resultados se muestran en la siguiente página del presente documento.
   Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN SAC

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Comparador Cuadrante (Equipo de Consolidación) - Parte II.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LO-455-2025

Resultados

DETERMINACIÓN DE INDICACIÓN DEL COMPARADOR (ASCENSO)
BRAZO 1

ITEM	INDICACIÓN DEL COMPARADOR	SERIE 1 COMPARADOR DE PATRÓN	SERIE 2 COMPARADOR DE PATRÓN	PROMEDIO INDICACIÓN
		mm	mm	mm
1	1	1,015	1,016	1,016
2	2	2,004	2,003	2,004
3	3	3,007	3,008	3,008
4	4	4,009	4,010	4,010
5	5	5,011	5,020	5,016
6	6	6,012	6,011	6,012
7	7	7,012	7,013	7,013
8	8	8,011	8,012	8,012
9	9	9,015	9,014	9,015
10	10	10,016	10,013	10,015

PESAS DE CORTE DE EQUIPO DE CONSOLIDACIÓN

IDENTIFICACIÓN	VALOR NOMINAL DE LA MASA	FACTOR DE MULTIPLICACIÓN 1 : 10	LECTURA DEL PATRÓN			PROMEDIO
			SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1A	0,32	3,2	0,32	0,32	0,32	0,32
1C	2,556	25,6	25,55	25,55	25,55	25,55
1D	2,564	25,6	25,57	25,58	25,58	25,57
1E	5,111	51,1	51,11	51,11	51,11	51,11
1F	5,113	51,1	51,11	51,11	51,11	51,11
1G	5,116	51,2	51,22	51,22	51,22	51,22

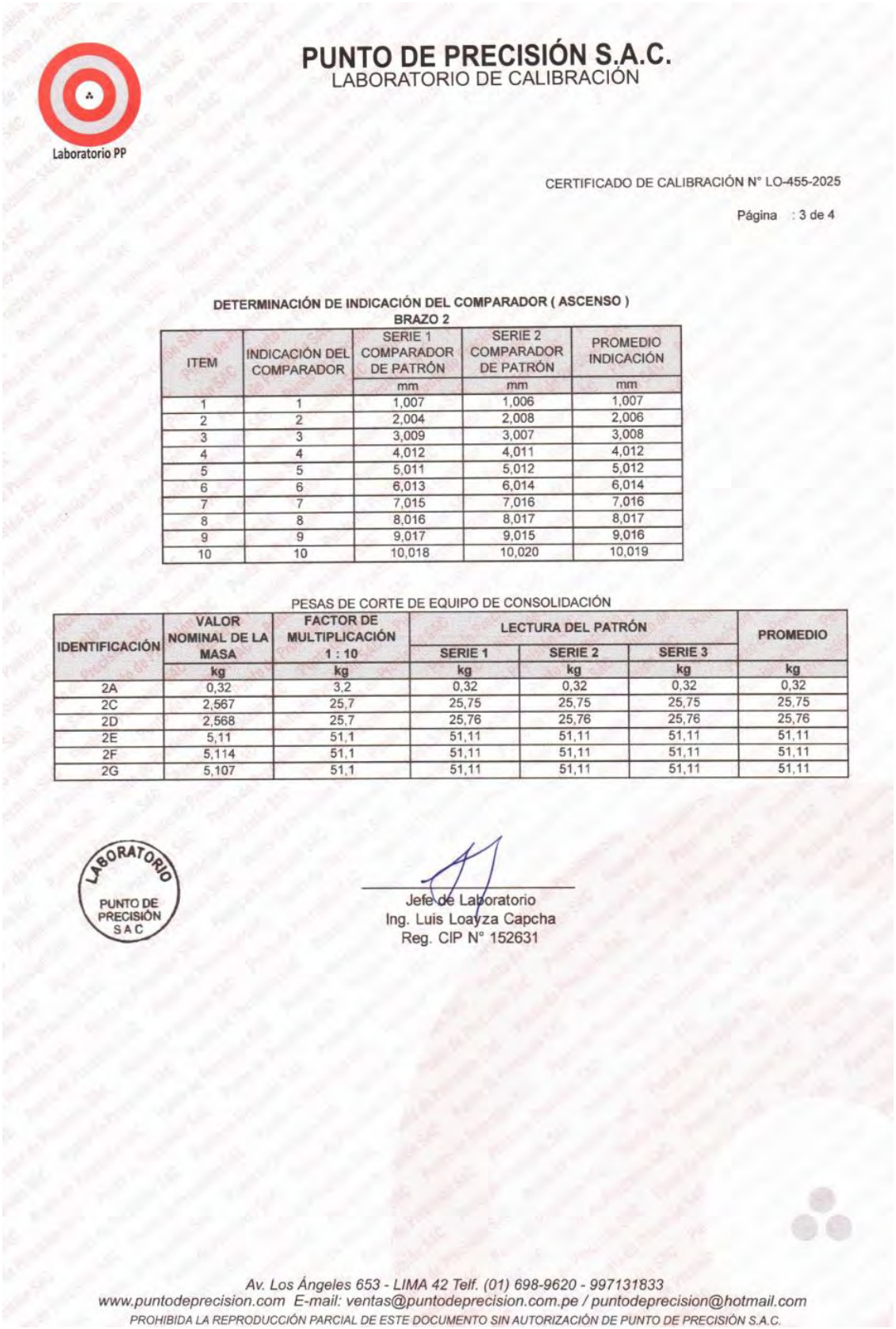
LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Certificado de calibración Comparador Cuadrante (Equipo de Consolidación) - Parte III.



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Laboratorio PP

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LO-455-2025

Página : 3 de 4

DETERMINACIÓN DE INDICACIÓN DEL COMPARADOR (ASCENSO)
BRAZO 2

ITEM	INDICACIÓN DEL COMPARADOR	SERIE 1 COMPARADOR DE PATRÓN	SERIE 2 COMPARADOR DE PATRÓN	PROMEDIO INDICACIÓN
		mm	mm	mm
1	1	1,007	1,006	1,007
2	2	2,004	2,008	2,006
3	3	3,009	3,007	3,008
4	4	4,012	4,011	4,012
5	5	5,011	5,012	5,012
6	6	6,013	6,014	6,014
7	7	7,015	7,016	7,016
8	8	8,016	8,017	8,017
9	9	9,017	9,015	9,016
10	10	10,018	10,020	10,019

PESAS DE CORTE DE EQUIPO DE CONSOLIDACIÓN

IDENTIFICACIÓN	VALOR NOMINAL DE LA MASA	FACTOR DE MULTIPLICACIÓN 1 : 10	LECTURA DEL PATRÓN			PROMEDIO
			SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
2A	0,32	3,2	0,32	0,32	0,32	0,32
2C	2,567	25,7	25,75	25,75	25,75	25,75
2D	2,568	25,7	25,76	25,76	25,76	25,76
2E	5,11	51,1	51,11	51,11	51,11	51,11
2F	5,114	51,1	51,11	51,11	51,11	51,11
2G	5,107	51,1	51,11	51,11	51,11	51,11

LABORATORIO PUNTO DE PRECISIÓN SAC

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. (01) 698-9620 - 997131833
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC.

Anexo N°12: Certificados de uso de laboratorio

Certificado de uso de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales – EPIC.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
Av. de la cultura Nro. 733 – Escuela Profesional de Ingeniería Civil

CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

HACE CONSTAR:

Que el tesista; conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. **DIEGO ALBERTO VERGARA VERA**, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de proyecto: **"ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025"**

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Determinar el contenido de humedad de un suelo.	NTP 339.127	10
02	Determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.	NTP 339.129	05
03	Método de ensayo para el análisis granulométrico (Tamizado - Hidrómetro)	NTP 339.128	05
04	Método para la clasificación de suelos. (SUCS Y ASSTHO)	NTP 339.134 ASTM M-145	05
05	Determinar el peso específico relativo de las partículas de un suelo	NTP 339.131	05
06	Determinación de peso volumétrico de suelo cohesivo	NTP 339.139	05
07	Determinación de los factores de contracción de suelos mediante el método de Mercurio	NTP 339.140	05
08	Ensayo estándar para La Determinación Del Hinchamiento Unimendimensional o potencial de asentamiento de Suelos Cohesivos	NTP 339.170	05

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 15 de diciembre del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Jefe de Laboratorio

Nota. Obtenido de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales – EPIC.

Certificado de uso de laboratorio de J&T Ingeotecnia SAC.

J&T INGEOTECNIA
Estudios & Ingenieria

icontec
ISO 9001
SC – CER993520

CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS J&T INGEITECNIA S.A.C

EL QUE SUSCRIBE ADMINISTRACIÓN DE J&T INGEOTECNIA S.A.C

CERTIFICA:

Que el tesista, conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil: **Bach. DIEGO ALBERTO VERGARA VERA**, hizo uso del laboratorio mencionado, para la ejecución de la tesis de investigación titulada:

"ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA Y SU RELACIÓN CON LAS ECUACIONES EMPÍRICAS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE TRES TIPOS DE SUELOS COHESIVOS, CUSCO 2025"

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Determinar el contenido de humedad de un suelo	NTP 339.127	27
02	Determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	NTP 339.129	27
03	Método de ensayo para el análisis granulométrico (Tamizado – Hidrómetro)	NTP 339.128	27
04	Método para la clasificación de suelos (SUCS y AASHTO)	NTP 339.134 / ASTM M-145	27
05	Gravedad Específica de Partículas Sólidas de Suelos	NTP 339.131 / ASTM-D854	27
06	Peso Unitario Natural y Densidad de Suelos	NTP 339.139 / ASTM-D7263	27
07	Presión de Expansión mediante el Ensayo de Expansión Controlada en el Edómetro	NTP 339.170 / ASTM-D4546	27
08	Determinación de la Humedad inicial y final, para el ensayo de Expansión	NTP 339.127 / ASTM-D2216	27
09	Determinación del Límite de Contracción en Suelos	NTP 339.140 / ASTM-D4943	27

Se expide el presente certificado a solicitud escrita de los interesados, con fines estrictamente académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 18 de diciembre del 2025

J &T INGEOTECNIA S.A.C.
Yelsin Jordan Ugarte
GERENTE GENERAL

Dirección: Las Palmeras A-1 SN Sebastián – Cusco/Cel..:952566146 – 084)773174
RUC.: 20607225827/Correo: j.t.ingeotecnia.cusco@gmail.com
J&T Ingeotecnia Servicios Generales S.A.C. *Dedicada a los Estudios de consultoría geotécnica, Arquitectura e interventoría (Supervisión) en geotecnia,*

Nota. Obtenido de J&T Ingeotecnia SAC