

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



**TESIS**

---

**MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS  
DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO  
RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA  
LADRILLERA-CUSCO-2023**

---

**PRESENTADO POR:**

BACH. EDGAR ALEXANDER SOTELO  
ESCOBAR

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

**ASESOR:**

MGT. ING. MIJAIL ELIO ROZAS GOMEZ

CUSCO – PERU

2025



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el Asesor Mgt. Ing. MIJAIL ELIO ROZAS GOMEZ  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO  
RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LOPRILLERD -  
CUSCO - 2023

Presentado por: el bachiller EDGAR ALEXANDER SOTELO ESCOBAR DNI N° 72497136 ;  
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 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 08 %.

### 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.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
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.	<input type="checkbox"/>

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, 12 de SETIEMBRE de 2025

  
.....  
Firma

Post firma Mgt. Ing. Mijail Elio Rozas Gomez

Nro. de DNI 46035754

ORCID del Asesor 0000-0002-3582-2907

#### Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:496879223

# EDGAR ALEXANDER SOTALERO ESCOBAR

## MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE ...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:496879223

Fecha de entrega

11 sep 2025, 3:58 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

11 sep 2025, 4:41 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO ....pdf

Tamaño del archivo

10.4 MB

339 páginas

77.711 palabras

318.036 caracteres

# 8% 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 11 palabras)

## Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
46 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

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.

### **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por guiarme y acompañarme en cada paso, en cada decisión de mi vida y darme las fuerzas para seguir luchando día a día y así poder terminar una etapa muy importante en mi vida.*

*A mi casa de estudio, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a mi querida Facultad de Ingeniería Civil, por darme un espacio para estudiar y poder desarrollarme y crecer como persona y profesional. A los docentes que con su enseñanza y conocimiento me brindaron educación de calidad y me forjaron mis pasos para poder alcanzar esta meta.*

*A mi asesor de tesis, MGT. ING. Mijail Elio Rozas Gómez por aceptar ser guía de este trabajo de investigación, por su tiempo, conocimiento, dedicación, paciencia y apoyo.*

*Al MGT. ING. Americo Montañez Tupayachi por su tiempo, conocimiento y apoyo.*

*A mis padres, Edgar Sotelo Sallo y Carmen Escobar Llanos, por todo el apoyo y sacrificio que siempre hicieron por mí, por los consejos y la paciencia que me dieron en todas las etapas de este proceso hasta cumplir el objetivo.*

*A mis hermanos Miguel y Leonardo, por el apoyo incondicional.*

*A Diana, mi idilio, por el apoyo y consejos (mi psicóloga personal).*

**Edgar Alexander Sotelo Escobar**

**DEDICATORIA**

*A Dios, por darme la vida, la fortaleza espiritual y emocional para no rendirme y seguir luchando hasta cumplir mis objetivos.*

*A mis padres, Edgar Sotelo Sallo y Carmen Escobar Llanos, por ser la inspiración y motivación de luchar en esta vida, por ser las personas que me dieron la confianza para seguir adelante, me dieron su apoyo incondicionalmente durante mis estudios y sobre todo estuvieron a mi lado en cada momento de mi vida.*

*A mis hermanos Miguel y Leonardo, por su apoyo incondicional y la compañía brindada.*

*A Diana, mi idilio, por todo el apoyo y paciencia brindado.*

**Edgar Alexander Sotelo Escobar**

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	II
DEDICATORIA .....	III
INDICE GENERAL.....	IV
INDICE DE TABLAS .....	VII
INDICE DE FIGURAS .....	XI
INDICE DE GRAFICOS .....	XIII
GLOSARIO.....	XIV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
INTRODUCCION .....	XVIII
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1. Situación problemática.....	20
1.2. Formulación del problema.....	21
1.2.1. <i>Problema General</i> .....	21
1.2.2. <i>Problemas Específicos</i> .....	21
1.3. Justificación de la investigación .....	21
1.3.1. <i>Justificación técnica</i> .....	21
1.3.2. <i>Justificación social</i> .....	21
1.3.3. <i>Justificación por viabilidad</i> .....	22
1.4. Delimitaciones de la investigaciones.....	22
1.5. Objetivos de la investigación.....	24
1.5.1. <i>Objetivos generales</i> .....	24
1.5.2. <i>Objetivos específico</i> .....	24
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	25
2.1. Antecedentes de la investigación.....	25
2.2. Aspectos teóricos .....	28
2.2.1. <i>Suelos</i> .....	28
2.2.1.1. Definición.....	28
2.2.1.2. Origen de los suelos. ....	28
2.2.1.3. Tipos de suelo.....	29
2.2.1.4. Clasificación de los suelos. ....	30
2.2.2. <i>Suelo arcilloso</i> .....	32
2.2.2.1. Definición.....	32
2.2.2.2. Minerales de la arcilla. ....	33
2.2.2.3. Propiedades de los suelos arcillosos. ....	35
2.2.3. <i>Vidrio</i> .....	36

2.2.3.1. Definición.....	36
2.2.3.2. Tipos de vidrio según su composición química. ....	37
2.2.3.3. Componentes que forman el vidrio.....	38
2.2.3.4. Disponibilidad mundial del vidrio. ....	39
2.2.3.5. Reciclaje del vidrio. ....	39
2.2.3.6. Polvo de vidrio reciclado. ....	40
2.2.4. <i>Subrasante de pavimento</i> .....	40
2.2.4.1. Definición.....	40
2.2.4.2. Categorías de la subrasante. ....	41
2.2.5. <i>Análisis granulométrico de suelos por tamizado</i> .....	41
2.2.6. <i>Análisis granulométrico de suelos por hidrómetro</i> .....	42
2.2.7. <i>Límites de Atterberg</i> .....	43
2.2.7.1. Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E110, 2016).....	43
2.2.7.2. Determinación del límite plástico (MTC E111, 2016).....	44
2.2.7.3. Determinación del índice de plasticidad. ....	44
2.2.8. <i>Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado) (MTC E115, 2016)</i> .....	45
2.2.9. <i>Ensayo de relación de soporte CBR (MTC E132, 2016)</i> .....	46
2.2.10. <i>Ensayo de Compresión no confinada (MTC E121, 2016)</i> .....	47
CAPITULO III: METODOLOGIA DE INVESTIGACION .....	48
3.1. Formulación de la Hipótesis.....	48
3.1.1. <i>Hipótesis general</i> .....	48
3.1.2. <i>Hipótesis específicos</i> .....	48
3.2. Definición de variables.....	48
3.2.1. <i>Variables independientes</i> .....	48
3.2.2. <i>Variables dependientes</i> .....	48
3.3.3. <i>Operacionalización de variable</i> .....	49
3.3. Metodología de la investigación.....	49
3.3.1. <i>Orientación de la investigación</i> .....	49
3.3.2. <i>Tipo de la investigación</i> .....	50
3.3.3. <i>Nivel de la investigación</i> .....	50
3.4. Diseño de la investigación.....	50
3.5. Población y muestra.....	52
3.5.1.1. Definición.....	52
3.5.1.2. Cuantificación de la población.....	52
3.5.2.1. Definición.....	52
3.5.2.2. Tamaño de la muestra. ....	52
3.5.2.3. Tipo de muestreo.....	52

3.6.	Técnicas para la recolección de datos .....	54
3.6.1.	<i>Exploración Geotécnica del Terreno.</i> .....	55
3.6.2.	<i>Obtención de polvo de vidrio reciclado.</i> .....	62
3.6.3.	<i>Criterios de selección.</i> .....	65
3.7.	Clasificación de suelos. ....	68
3.8.	Análisis ANOVA.....	75
3.9.	Procedimiento de recolección de datos.....	79
3.9.1.	<i>Análisis granulométrico de suelos por hidrómetro (MTC E109, 2016).</i> .....	79
3.9.2.	<i>Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E110, 2016).</i> .....	82
3.9.3.	<i>Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad (MTC E111, 2016).</i> .....	88
3.9.4.	<i>Ensayo de Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado) (MTC E115, 2016).</i> .....	93
3.9.5.	<i>Ensayo de CBR de suelos en laboratorio (MTC E132, 2016).</i> .....	103
3.9.6.	<i>Ensayo de Compresión no confinada en muestra de suelos (MTC E121, 2016).</i> 130	
CAPITULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....		135
4.1.	Resultados de clasificación de suelo .....	135
4.2.	Resultados de Ensayo análisis granulométrico por tamizado.....	138
4.3.	Resultados de Ensayo análisis granulométrico por hidrómetro. ....	139
4.4.	Resultados de Ensayo de límites de Atterberg.....	139
4.5.	Resultados de Ensayo de proctor modificado. ....	140
4.6.	Resultados de Ensayo de CBR.....	142
4.7.	Resultados de Ensayo de compresión no confinada.....	143
CAPITULO V: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....		144
5.1.	Análisis de resultados de Clasificación de suelo y análisis ANOVA. ....	144
5.2.	Análisis de resultados de Ensayo análisis granulométrico por tamizado. ....	144
5.3.	Análisis de resultados de Ensayo análisis granulométrico por hidrómetro. ....	145
5.4.	Análisis de resultados de Ensayo de límites de Atterberg. ....	145
5.5.	Análisis de resultados de Ensayo de proctor modificado.....	146
5.6.	Análisis de resultados de Ensayo de CBR .....	150
5.7.	Análisis de resultados de Ensayo de compresión no confinada. ....	157
CAPITULO VI .....		160
CONCLUSIONES.....		160
RECOMENDACIONES .....		162
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....		164
ANEXOS .....		167

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Categorías de sub rasante .....	41
Tabla 2.	Tamices empleados para el ensayo .....	42
Tabla 3.	Especificaciones de la prueba proctor modificado. ....	45
Tabla 4.	Calificación del suelo.....	47
Tabla 5.	Operacionalización de variables.....	49
Tabla 6.	Cantidad de muestra para clasificación de suelo y análisis ANOVA.....	53
Tabla 7.	Cantidad de muestra para los ensayos adicionando PVR .....	53
Tabla 8.	Coordenadas de los puntos de exploración.....	55
Tabla 9.	Porcentajes que pasa de polvo de vidrio .....	63
Tabla 10.	Resumen de antecedentes de la investigación.....	66
Tabla 11.	Calculo de contenido de humedad natural.....	68
Tabla 12.	datos después del lavado por la malla número 200.....	68
Tabla 13.	Datos para la clasificación AASHTO .....	69
Tabla 14.	Lecturas iniciales hidrómetro suelo CH .....	81
Tabla 15.	Lecturas del hidrómetro suelo CH .....	81
Tabla 16.	Lecturas iniciales hidrómetro suelo CL.....	82
Tabla 17.	Lecturas del hidrómetro suelo CL.....	82
Tabla 18.	Datos límite líquido de suelo CH – suelo solo.....	84
Tabla 19.	Datos límite líquido de Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado .....	85
Tabla 20.	Datos límite líquido de Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado .....	85
Tabla 21.	Datos límite líquido de Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado .....	86
Tabla 22.	Datos límite líquido de Suelo CL – suelo solo.....	86
Tabla 23.	Datos límite líquido de Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado.....	87
Tabla 24.	Datos límite líquido de Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado.....	87
Tabla 25.	Datos límite líquido de Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado.....	88
Tabla 26.	Datos límite plástico de Suelo CH – suelo solo.....	90
Tabla 27.	Datos límite plástico de Suelo CH + 5% de PVR .....	90
Tabla 28.	Datos límite plástico de Suelo CH + 10% de PVR .....	90
Tabla 29.	Datos límite plástico de Suelo CH + 15% de PVR .....	91
Tabla 30.	Datos límite plástico de Suelo CL – suelo solo .....	91
Tabla 31.	Datos límite plástico de Suelo CL + 5% de PVR.....	91
Tabla 32.	Datos límite plástico de Suelo CL + 10% de PVR.....	92
Tabla 33.	Datos límite plástico de Suelo CL + 15% de PVR.....	92
Tabla 34.	Datos proctor modificado de Suelo CH – suelo solo-1 .....	95
Tabla 35.	Datos proctor modificado de Suelo CH – suelo solo-2.....	95
Tabla 36.	Datos proctor modificado de Suelo CH – suelo solo-3.....	95

Tabla 37. Datos proctor modificado de Suelo CH + 5% de PVR– 1.....	96
Tabla 38. Datos proctor modificado de Suelo CH + 5% de PVR– 2.....	96
Tabla 39. Datos proctor modificado de Suelo CH + 5% de PVR – 3.....	96
Tabla 40. Datos proctor modificado de Suelo CH + 10% de PVR – 1.....	97
Tabla 41. Datos proctor modificado de Suelo CH + 10% de PVR – 2.....	97
Tabla 42. Datos proctor modificado de Suelo CH + 10% de PVR – 3.....	97
Tabla 43. Datos proctor modificado de Suelo CH + 15% de PVR – 1.....	98
Tabla 44. Datos proctor modificado de Suelo CH + 15% de PVR – 2.....	98
Tabla 45. Datos proctor modificado de Suelo CH + 15% de PVR – 3.....	98
Tabla 46. Datos proctor modificado de Suelo CL – suelo solo-1 .....	99
Tabla 47. Datos proctor modificado de Suelo CL – suelo solo-2 .....	99
Tabla 48. Datos proctor modificado de Suelo CL – suelo solo-3 .....	99
Tabla 49. Datos proctor modificado de Suelo CL + 5% de PVR – 1 .....	100
Tabla 50. Datos proctor modificado de Suelo CL + 5% de PVR – 2 .....	100
Tabla 51. Datos proctor modificado de Suelo CL + 5% de PVR – 3 .....	100
Tabla 52. Datos proctor modificado de Suelo CL + 10% de PVR – 1 .....	101
Tabla 53. Datos proctor modificado de Suelo CL + 10% de PVR – 2 .....	101
Tabla 54. Datos proctor modificado de Suelo CL + 10% de PVR – 3 .....	101
Tabla 55. Datos proctor modificado de Suelo CL + 15% de PVR – 1 .....	102
Tabla 56. Datos proctor modificado de Suelo CL + 15% de PVR – 2 .....	102
Tabla 57. Datos proctor modificado de Suelo CL + 15% de PVR – 3 .....	102
Tabla 58. Datos de CBR de Suelo CH – suelo solo – 1.....	106
Tabla 59. Datos de CBR de Suelo CH – suelo solo – 2.....	107
Tabla 60. Datos de CBR de Suelo CH – suelo solo – 3.....	108
Tabla 61. Datos de CBR de Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado-1 .....	109
Tabla 62. Datos de CBR de Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado-2 .....	110
Tabla 63. Datos de CBR de Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado-3 .....	111
Tabla 64. Datos de CBR de Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado-1 .....	112
Tabla 65. Datos de CBR de Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado-2 .....	113
Tabla 66. Datos de CBR de Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado-3 .....	114
Tabla 67. Datos de CBR de Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado-1 .....	115
Tabla 68. Datos de CBR de Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado-2 .....	116
Tabla 69. Datos de CBR de Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado-3 .....	117
Tabla 70. Datos de CBR de Suelo CL – suelo solo-1 .....	118
Tabla 71. Datos de CBR de Suelo CL – suelo solo-2.....	119
Tabla 72. Datos de CBR de Suelo CL – suelo solo-3.....	120
Tabla 73. Datos de CBR de Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado-1 .....	121

Tabla 74. Datos de CBR de Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado-2 .....	122
Tabla 75. Datos de CBR de Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado-3 .....	123
Tabla 76. Datos de CBR de Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado-1 .....	124
Tabla 77. Datos de CBR de Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado-2 .....	125
Tabla 78. Datos de CBR de Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado-3 .....	126
Tabla 79. Datos de CBR de Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado-1 .....	127
Tabla 80. Datos de CBR de Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado-2 .....	128
Tabla 81. Datos de CBR de Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado-3 .....	129
Tabla 82. Dimensiones de las probetas suelo CH .....	132
Tabla 83. Lecturas de dial suelo CH .....	132
Tabla 84. Dimensiones de las probetas suelo CH+% Opt. PVR .....	132
Tabla 85. Lecturas de dial suelo CH+% Opt. PVR .....	133
Tabla 86. Dimensiones de las probetas suelo CL .....	133
Tabla 87. Lecturas de dial suelo CL .....	133
Tabla 88. Dimensiones de las probetas suelo CL+% Opt. PVR .....	134
Tabla 89. Lecturas de dial suelo CL+% Opt. PVR .....	134
Tabla 90. Resumen de los límites líquidos .....	135
Tabla 91. Resumen de los límites plásticos .....	135
Tabla 92. Cálculo del índice de plasticidad .....	135
Tabla 93. Clasificación AASHTO 6 calitas .....	136
Tabla 94. Clasificación SUCS 6 calicatas .....	137
Tabla 95. Agrupación método de Tukey para límite líquido .....	138
Tabla 96. Agrupación método de Tukey para límite plástico .....	138
Tabla 97. Resultados de lavado por malla N°200 .....	138
Tabla 98. Granulometría por hidrómetro suelo CH .....	139
Tabla 99. Granulometría por hidrómetro suelo CL .....	139
Tabla 100. Resultados de límite líquido suelo CH .....	139
Tabla 101. Resultados de límite líquido suelo CL .....	139
Tabla 102. Resultados de límite plástico suelo CH .....	140
Tabla 103. Resultados de límite plástico suelo CL .....	140
Tabla 104. Resultados de Proctor Modificado suelo CH – DMS (gr/cm <sup>3</sup> ) .....	140
Tabla 105. Resultados de Proctor Modificado suelo CH – COA (%) .....	141
Tabla 106. Resultados de Proctor Modificado suelo CL – DMS (gr/cm <sup>3</sup> ) .....	141
Tabla 107. Resultados de Proctor Modificado suelo CL – COA (%) .....	141
Tabla 108. Resultados de CBR de suelo CH (%) .....	142
Tabla 109. Resultados de porcentaje de expansión suelo CH (%) .....	142
Tabla 110. Resultados de CBR de suelo CL (%) .....	142

Tabla 111. Resultados de porcentaje de expansión suelo CL (%).....	142
Tabla 112. Resumen de resultados de Compresión no confinada (kg/cm <sup>2</sup> ).....	143
Tabla 113. Resultado promedio proctor modificado suelo CH.....	147
Tabla 114. Resultado promedio proctor modificado suelo CL .....	148
Tabla 115. Resultado de % óptimo de PVR para suelo CH.....	153
Tabla 116. Resultado de % óptimo de PVR para suelo CL .....	155
Tabla 117. Estadísticas descriptivas suelo CH y CL.....	156
Tabla 118. Estadísticas descriptivas suelo CH y CL + % opt. De PVR.....	158

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Vías de acceso en mal estado de la Zona Ladrillera – San Jerónimo - Cusco...	20
Figura 2.	Ubicación de la vidriería SALAS.....	23
Figura 3.	Laboratorio de mecánica de suelos-UNSAAC.....	23
Figura 4.	Tabla de clasificación según AASHTO.....	31
Figura 5.	Cuadro SUCS.....	32
Figura 6.	Carta de plasticidad.....	32
Figura 7.	Combinación tetraédrica de una lámina de sílice.....	33
Figura 8.	Combinación octaédrica de aluminio.....	33
Figura 9.	Límites de Atterberg.....	36
Figura 10.	polvo de vidrio.....	40
Figura 11.	Hidrómetro.....	42
Figura 12.	Antes y después de la realización del ensayo.....	43
Figura 13.	Molde cilíndrico de 4”.....	46
Figura 14.	Flujograma de diseño de ingeniería.....	51
Figura 15.	Ubicación de las calicatas.....	55
Figura 16.	Punto de exploración calicata 1.....	56
Figura 17.	Punto de exploración calicata 2.....	57
Figura 18.	Punto de exploración calicata 3.....	58
Figura 19.	Punto de exploración calicata 4.....	59
Figura 20.	Punto de exploración calicata 5.....	60
Figura 21.	Punto de exploración calicata 6.....	61
Figura 22.	Obtención de residuos de vidrio.....	62
Figura 23.	Residuos de vidrio recolectado.....	63
Figura 24.	vidrio reciclado triturado.....	63
Figura 25.	Proceso de trituración con molino artesanal.....	64
Figura 26.	Vidrio molido.....	65
Figura 27.	ubicación del suelo de las 6 calicatas para clasificación AASHTO.....	69
Figura 28.	Clasificación SUCS Calicata n°1.....	70
Figura 29.	Clasificación SUCS Calicata n°2.....	70
Figura 30.	ubicación de calicata 1 y 2 para clasificación SUCS.....	71
Figura 31.	Diagrama de flujos para suelo CL.....	71
Figura 32.	Clasificación SUCS Calicata n°3.....	72
Figura 33.	Clasificación SUCS Calicata n°4.....	72
Figura 34.	Clasificación SUCS Calicata n°5.....	73
Figura 35.	Clasificación SUCS Calicata n°6.....	73
Figura 36.	ubicación de calicata 3, 4, 5 y 6 para clasificación SUCS.....	74

Figura 37. Diagrama de flujos para suelo CH .....	74
Figura 38. Equipos e instrumentos del ensayo por hidrómetro .....	79
Figura 39. Agitación de la muestra .....	80
Figura 40. Lectura del hidrómetro.....	80
Figura 41. Equipos e instrumentos del ensayo límite líquido .....	83
Figura 42. Colocación de la muestra en la copa.....	83
Figura 43. cierre de ranura .....	84
Figura 44. Instrumentos para el ensayo Límite plástico .....	89
Figura 45. Formación de rollitos sobre el vidrio .....	89
Figura 46. Instrumentos para el ensayo de proctor modificado .....	93
Figura 47. Compactación de material de forma helicoidal .....	94
Figura 48. Instrumentos para el ensayo de CBR .....	103
Figura 49. Inmersión de moldes de CBR en poza de agua.....	105
Figura 50. Penetración de moldes de CBR .....	105
Figura 51. Instrumentos para ensayo compresión no confinada.....	130
Figura 52. Elaboración de probeta cilíndricas.....	131
Figura 53. Compresión de las probetas cilíndricas .....	131
Figura 54. clasificación AASHTO .....	136
Figura 55. Clasificación SUCS de 6 calicatas.....	137
Figura 56. Extracción de material de suelo arcilloso.....	172
Figura 57. Materiales y lavado de material por malla N° 200.....	173
Figura 58. Procedimiento de límite líquido para análisis ANOVA.....	174
Figura 59. Procedimiento de límite plástico para análisis ANOVA .....	174
Figura 60. Procedimiento para peso específico de los sólidos .....	175
Figura 61. Análisis granulométrico por hidrómetro .....	175
Figura 62. Obtención de polvo de vidrio reciclado .....	176
Figura 63. Procedimiento para la determinación del límite líquido .....	177
Figura 64. Procedimiento para la determinación del límite plástico .....	178
Figura 65. Pesado y mezclado de suelo y polvo de vidrio .....	179
Figura 66. Proceso de compactación proctor modificado .....	180
Figura 67. Pesado de suelo y polvo de vidrio para CBR.....	181
Figura 68. Proceso de compactación CBR.....	181
Figura 69. Pesado de molde CBR.....	182
Figura 70. Inmersión de moldes de CBR.....	182
Figura 71. Penetración de moldes CBR .....	183
Figura 72. Determinación de contenido de humedad CBR .....	183
Figura 73. Ensayo compresión no confinada.....	184

**INDICE DE GRAFICOS**

Gráfico 1. Curva granulométrica del polvo de vidrio reciclado.....	64
Gráfico 2. Resultado límites de Atterberg suelo CH.....	145
Gráfico 3. Resultado límites de Atterberg suelo CL.....	146
Gráfico 4. Resultado contenido óptimo de humedad suelo CH.....	147
Gráfico 5. Resultado densidad máxima seca suelo CH.....	148
Gráfico 6. Resultado contenido óptimo de humedad suelo CL.....	149
Gráfico 7. Resultado densidad máxima seca suelo CL.....	149
Gráfico 8. Resultados de porcentajes de expansión suelo CH.....	150
Gráfico 9. Resultado de CBR suelo CH.....	150
Gráfico 10. Resultados de porcentajes de expansión suelo CL.....	151
Gráfico 11. Resultado de CBR suelo CL.....	151
Gráfico 12. CBR de suelo CH vs % de polvo de vidrio reciclado-1.....	152
Gráfico 13. CBR de suelo CH vs % de polvo de vidrio reciclado-2.....	152
Gráfico 14. CBR de suelo CH vs % de polvo de vidrio reciclado-3.....	153
Gráfico 15. CBR de suelo CL vs % de polvo de vidrio reciclado-1.....	154
Gráfico 16. CBR de suelo CL vs % de polvo de vidrio reciclado-2.....	154
Gráfico 17. CBR de suelo CL vs % de polvo de vidrio reciclado-3.....	155
Gráfico 18. Resultado resistencia a la compresión no confinada.....	157

**GLOSARIO**

- AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ANOVA:** Análisis de Varianza.
- Arcilla:** Son plásticas, se contraen al secarse, presentan marcada cohesión según su humedad, son compresibles y al aplicárseles una carga en su superficie se comprimen lentamente.
- CBR:** California Bearing Ratio. Es el valor de soporte o resistencia del suelo.
- CH:** Suelo arcilloso de alta plasticidad.
- CL:** Suelo arcilloso de baja plasticidad.
- DMS:** Densidad Máxima Seca de un suelo.
- IP:** Índice de Plasticidad, expresa la cantidad de arcilla que un suelo posee.
- Límite líquido:** Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.
- Límite Plástico:** Es el porcentaje de humedad en el que el suelo pasa de ser plástico a semisólido.
- MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- PVR:** Polvo de Vidrio Reciclado.
- $q_u$ :** Resistencia a la compresión no confinada.
- Subrasante:** Es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanado y la estructura del pavimento.
- Suelo:** Todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Vidrio: Es un mineral que se produce cuando los componentes inorgánicos se funden a altas temperaturas y luego se enfrían rápidamente.

## RESUMEN

El objetivo de la investigación es Determinar la influencia del PVR en las propiedades físicas y mecánicas de suelo arcilloso para sub-rasante de pavimentos de la zona ladrillera-cusco 2023.

La metodología empleada presenta una orientación aplicada, del tipo cuantitativo, nivel descriptivo y diseño experimental. Los suelos según clasificación SUCS son CH (arcilla de alta plasticidad) y CL (arcilla de baja plasticidad); según clasificación AASHTO son A-7-6 (suelo arcilloso), el índice de plasticidad del suelo CH fue de 33% y suelo CL fue de 20%, adicionando 5%, 10% y 15% de PVR, la plasticidad disminuyo.

Para el ensayo de CBR del suelo CH fue de 3.93%, al adicionar los porcentajes mencionados de PVR se tuvieron valores CBR de 4.66%, 7.02% y 5.92% y para suelo CL fue de 4.12%, al adicionar los porcentajes mencionados de PVR se tuvieron valores CBR de 4.77%, 7.22% y 6.26%. Por otra parte se obtuvo el porcentaje óptimo de PVR siendo 11.80% para suelo CH alcanzando un CBR de 7.35% y 12.00% para suelo CL alcanzando CBR de 7.61%.

La resistencia a la compresión no confinada del suelo CH fue de 2.27 kg/cm<sup>2</sup>, aumentando a 3.28 kg/cm<sup>2</sup> con el porcentaje óptimo de PVR y para el suelo CL, pasó de 2.53 kg/cm<sup>2</sup> a 3.52 kg/cm<sup>2</sup>.

Concluyendo que la adición de PVR en porcentajes de 5%, 10% y 15% influye positivamente mejorando las propiedades físicas y mecánicas, reduciendo el valor del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, aumentando valor del CBR y compresión no confinada.

*Palabras claves:* Mejoramiento, propiedades físicas y mecánicas, arcilla, polvo de vidrio reciclado (PVR).

## ABSTRACT

The objective of the research is to determine the influence of PVR on the physical and mechanical properties of clayey soil for pavement subgrades in the brick-Cusco 2023 area. The methodology employed presents an applied orientation, of the quantitative type, descriptive level and experimental design. The soils according to SUCS classification are CH (high plasticity clay) and CL (low plasticity clay); according to AASHTO classification they are A-7-6 (clayey soil). The plasticity index of the CH soil was 33% and of the CL soil was 20%. Adding 5%, 10% and 15% of PVR, the plasticity decreased.

For the CH soil, the CBR test was 3.93%. Adding the aforementioned percentages of PVR gave CBR values of 4.66%, 7.02%, and 5.92%, and for CL soil, it was 4.12%. Adding the aforementioned percentages of PVR gave CBR values of 4.77%, 7.22%, and 6.26%. The optimal percentage of PVR was 11.80% for CH soil, achieving a CBR of 7.35%, and 12.00% for CL soil, achieving a CBR of 7.61%.

The unconfined compressive strength of the CH soil was 2.27 kg/cm<sup>2</sup>, increasing to 3.28 kg/cm<sup>2</sup> with the optimal percentage of PVR, while for the CL soil, it increased from 2.53 kg/cm<sup>2</sup> to 3.52 kg/cm<sup>2</sup>.

Concluding that the addition of PVR in percentages of 5%, 10% and 15% positively influences improving the physical and mechanical properties, reducing the value of the liquid limit, plastic limit and plasticity index, increasing the CBR value and unconfined compression.

*Keywords:* Improvement, physical and mechanical properties, clay, recycled glass powder (RGP).

## INTRODUCCION

Los suelos arcillosos se encuentran ampliamente distribuidos en la tierra y en este caso también lo encontramos en nuestra ciudad del cusco y en mayor abundancia en la zona ladrillera. Son suelos muy problemáticos debido a su baja resistencia y al mal comportamiento con la presencia de agua. En nuestra actualidad la construcción de carreteras es de suma importancia para el desarrollo de una sociedad; sin embargo, hay algunas situaciones donde no se puede evitar la construcción sobre un suelo arcilloso; de ahí surge la necesidad de realizar el mejoramiento de la resistencia de este tipo de suelo para sub-rasante con el fin de asegurar una correcta construcción de carreteras.

La presente investigación busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos extraídos de la zona ladrillera mediante la adición de polvo de vidrio reciclado para ser utilizados a nivel de subrasante.

Por otra, desde el punto de vista social se promoverá en el sector de la construcción vial en la ciudad del Cusco y en especial de la zona ladrillera, el uso del polvo de vidrio reciclado para realizar el mejoramiento y soluciones a los problemas de estructuración a nivel de sub-rasante usando suelos arcillosos. Se reducirán los desechos de vidrio, se reciclará y molera para usarlo como aditivo y mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos, de esta manera se contribuirá en el cuidado del medio ambiente.

Para el desarrollo de la presente investigación se organizó en seis capítulos.

**CAPÍTULO I:** Se realiza el planteamiento del problema, situación problemática, la formulación de problema, justificaciones de la investigación, delimitaciones de la investigación y objetivos de la investigación.

**CAPÍTULO II:** Se desarrolla los antecedentes de la investigación, aspectos teóricos.

**CAPÍTULO III:** Se desarrolla la formulación de hipótesis, definición de variables metodología, orientación, tipo y nivel de la investigación, población y muestra, análisis ANOVA, procedimiento de recolección de datos y el procedimiento de análisis de datos.

CAPÍTULO IV: Se desarrolla los resultados de la investigación encontradas para suelo CH y CL con sus respectivas mejoras adicionando polvo de vidrio reciclado.

CAPÍTULO V: Se desarrolla el análisis e interpretación de los resultados de los ensayos realizados.

CAPÍTULO VI: Está compuesto por las conclusiones y recomendaciones de la investigación que se detallan y explican en base a los capítulos anteriores.

## CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Situación problemática

Los suelos arcillosos se encuentran ampliamente distribuidos en la tierra y en este caso también lo encontramos en nuestra ciudad del cusco y en mayor abundancia en la zona ladrillera. Son suelos muy problemáticos debido a su baja resistencia y al mal comportamiento con la presencia de agua especialmente para proyectos de ingeniería civil como carreteras, vías férreas y terraplenes.

En nuestra actualidad la construcción de carreteras es de suma importancia para el desarrollo de una sociedad; sin embargo, hay algunas situaciones donde no se puede evitar la construcción sobre un suelo arcilloso, por lo tanto, se debe realizar el mejoramiento de la resistencia de este tipo de suelo para sub-rasante con el fin de asegurar una correcta construcción de carreteras. La siguiente investigación se desarrollará con suelos provenientes de la zona ladrillera ubicado en el distrito de San Jerónimo de la provincia del Cusco. En dicha zona se encuentran en abundancia suelos arcillosos que presenta elevado índice de plasticidad y baja capacidad de soporte.

Al realizar un recorrido de la zona ladrillera se pudo observar que las vías de acceso se encuentran en mal estado debido a la falta de mantenimiento, por presencia de lluvias y otros factores. Por tales motivos se investigará el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de suelo arcilloso utilizando polvo de vidrio reciclado para ser utilizado para sub-rasante.

**Figura 1.** Vías de acceso en mal estado de la Zona Ladrillera – San Jerónimo - Cusco



*Nota.* fuente: elaboración propia

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

**PG:** ¿ Cual es la influencia del polvo de vidrio reciclado en las propiedades físicas y mecánicas de suelo arcilloso para sub-rasante de pavimentos de la zona ladrillera-Cusco 2023 ?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

**PE1:** ¿Cómo influye el polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10%, 15% en las propiedades físicas (limites de Atterberg) de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-Cusco 2023 ?

**PE2:** ¿Cómo influye el polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10% 15% en las propiedades mecánicas ( relación de soporte - CBR ) de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera- Cusco 2023 ?

**PE3:** ¿Cómo influye el porcentaje optimo de polvo de vidrio reciclado en la Resistencia a la compresión no confinada de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera- Cusco 2023?

## **1.3. Justificación de la investigación**

### **1.3.1. Justificación técnica**

Para la siguiente investigación se cuenta con información teórica adquirida en pregrado en particular en la especialidad de mecánica de suelos donde se llegó a conocer las teorías y ensayos que se realizarán.

Esta investigación también nos permitirá observar el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos utilizando polvo de vidrio reciclado para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera - cusco.

### **1.3.2. Justificación social**

Promover en el sector de la construcción vial en la ciudad del Cusco y en especial de la zona ladrillera, el uso del polvo de vidrio reciclado para realizar el mejoramiento y soluciones a los problemas de estructuración a nivel de sub-rasante usando suelos arcillosos.

Se reducirán los desechos de vidrio, se reciclará y molera para usarlo como aditivo y mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos, de esta manera se contribuirá en el cuidado del medio ambiente.

Los ingenieros proyectistas al igual que alumnos de la facultad de ingeniería civil de la UNSAAC, tendrán una referencia bibliografica con respecto a la utilización de polvo de vidrio reciclado en suelo arcilloso para sub-rasante proveniente de la zona ladrillera.

### **1.3.3. Justificación por viabilidad**

El tema de investigacion es viable porque se cuenta con el tiempo adecuado para la realización de los ensayos, la disponibilidad de equipos y del laboratorio de mecánica de suelos de la facultad de ingeniería civil de la UNSAAC.

Por otra parte nos da una opción mas para el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de suelo arcilloso y su utilización en proyectos viales.

### **1.4. Delimitaciones de la investigaciones.**

- En la presente investigación se delimita al estudio de suelos arcillosos provenientes de la zona ladrillera del distrito de San Jeronimo – cusco.
- Se utilizará vidrio reciclado obtenido de la vidriería “SALAS” ubicado en la vía de evitamiento N° 5238 de la ciudad de cusco; dicho vidrio se triturara y molera para obtener polvo de vidrio reciclado y se adicionara en diferentes porcentajes de 5%, 10% y 15%.

**Figura 2.** Ubicación de la vidriería SALAS



*Nota.* fuente: elaboración propia

- Para la siguiente investigación se delimita el uso del laboratorio de mecánica de suelos de la facultad de Ingeniería Civil de la UNSAAC.

**Figura 3.** Laboratorio de mecánica de suelos-UNSAAC



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

- Se pretende realizar la investigación en un tiempo comprendido entre 2024 y 2025: extracción de muestra, realización de ensayos febrero a octubre 2024, procesamiento y análisis de datos noviembre 2024 a febrero 2025.

- Se delimita las propiedades físicas a los límites de Atterberg y las propiedades mecánicas al ensayo de compactación (proctor modificado), ensayo de CBR y ensayo de compresión simple.

## **1.5. Objetivos de la investigación**

### **1.5.1. Objetivos generales**

**OG:** Determinar la influencia del polvo de vidrio reciclado en las propiedades físicas y mecánicas de suelo arcilloso para sub-rasante de pavimentos de la zona ladrillera-Cusco 2023

### **1.5.2. Objetivos específico**

**OE1:** Evaluar de que manera influye el polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10% y 15% en las propiedades físicas (límites de Atterberg) de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-Cusco 2023

**OE2:** Evaluar de que manera influye el polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10% y 15% en las propiedades mecánicas ( relación de soporte - CBR ) de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-Cusco 2023

**OE3:** Evaluar de que manera influye el porcentaje óptimo de polvo de vidrio reciclado en la Resistencia a la compresión no confinada de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-Cusco 2023.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. A nivel internacional

Risgar (2020) en su trabajo de investigación seleccionó polvo de vidrio de desecho (WGP) para su estudio. El WGP lo trituró y mezcló con la muestra de suelo en varios porcentajes: 2,5 %, 5 %, 10 %, 15 % y 25 % por el peso seco del suelo. Realizaron varias pruebas de laboratorio para el suelo expansivo tratado y sin tratar con los diferentes porcentajes de WGP, incluyendo ensayos de límites de Atterberg, compactación, hinchamiento libre, resistencia a la compresión no confinada (UCS), resistencia al corte directo y relación de carga de California (CBR). Concluyendo que al agregar WGP a los suelos expansivos tiene un impacto significativo en la consistencia y la resistencia al corte de la muestra de suelo. Además, mejora el suelo expansivo de la subrasante con un 15 % de WGP reduce el espesor de la subbase en un 63 % aproximadamente. Y por otra parte el porcentaje óptimo de la WGP para la mejora de este tipo de suelo está en torno al 15 %.

Bilgen (2020) en su trabajo de investigación presenta una revisión bibliográfica sobre el uso de vidrio de desecho y los resultados de un programa experimental de laboratorio para evaluar su potencial como aditivo en suelos arcillosos, según la norma ASTM D4609. Se suministraron tres suelos arcillosos diferentes y el vidrio de desecho se obtuvo de las ventanas de un edificio derrumbado. El vidrio de desecho se pulverizó y tamizó por debajo de 425  $\mu\text{m}$ . Este vidrio en polvo se mezcló con cada suelo arcilloso por separado, en porcentajes de 10 %, 20 % y 25 %. Se realizaron una serie de pruebas de laboratorio en todas las muestras, que incluyeron los límites de Atterberg, la compactación, la relación de carga de California y la resistencia a la compresión sin confinamiento. Los resultados de las pruebas demostraron que el vidrio en polvo tiene potencial para su uso como aditivo en suelos arcillosos.

### **2.1.2. A nivel nacional**

Pusari & Rodriguez (2020) en su trabajo de investigación buscan la mejora del suelo mediante una técnica innovadora, eco amigable y factible como es la estabilización física usando el vidrio reciclado y las fibras de polipropileno (materiales de desecho en las operaciones de la construcción), ya que en la actualidad estos dos tipos de materiales generan un impacto negativo en el medio ambiente, por lo cual se trata de reutilizar dichos materiales en el mejoramiento del suelo. El estudio se basó en una muestra de suelo medianamente expansivo, debido al registro del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad, extraído de la Urbanización Sudamérica, localizado en Talara, Piura con el fin de mejorarlo, para luego verificar el comportamiento de mejora de las propiedades de resistencia al corte del suelo. Como parte del desarrollo de la investigación realizaron los diversos ensayos para comprobar con datos numéricos la mejora del suelo, otorgando porcentajes de sustitución con respecto al peso seco (0%, 5%, 6% y 7.5%) a la muestra en estado natural. Finalmente, se obtuvieron las mejoras de las propiedades de resistencia al corte con un porcentaje de sustitución equivalente a 5%, el cual registra las mejoras en cohesión y ángulo de fricción.

Mendoza (2024) en su trabajo de investigación evalúa la influencia del polvo de vidrio reciclado en las propiedades físico-mecánicas en la subrasante de la vía Huancané - Ojeria, Distrito Huancané, Puno. Los resultados muestran que el tipo de suelo según la clasificación SUCS es CH (Arcilla inorgánica de alta plasticidad), y según clasificación AASHTO es A-7-6 (Suelo arcilloso), el índice de plasticidad del suelo natural fue de 37.20% adicionando 3%, 6%, 9% y 12% de polvo de vidrio reciclado, la plasticidad fue de 36.27%, 34.63%, 33.31% y 32.95% respectivamente, la prueba de CBR al 95% del suelo natural fue de 4.01%, al adicionar los porcentajes mencionados se tuvo una prueba de relación de carga de California de 6.97%, 8.60%, 10.81% y 8.98%. Concluyendo que se logró mejorar las características físicas y

mecánicas de la subrasante, disminuyendo la plasticidad del suelo natural hasta un 11.43% con la adición óptima del 12%, se incrementó la capacidad de soporte del suelo natural hasta un 169.58% con la adición óptima del 9%.

### **2.1.3. A nivel local**

Quispe (2021) en su estudio busca analizar el comportamiento físico y químico de suelos expansivos con ceniza de mazorca de maíz, el cual es un producto abundante y usualmente desechado en la ciudad del Cusco. Entre las principales mejoras del suelo, menciona la reducción de la plasticidad en 42% para un porcentaje de ceniza de 10%. Asimismo, también se mejoró la capacidad portante del suelo CBR en un 62% para un porcentaje de ceniza de 8%. Por lo tanto, concluye que un suelo expansivo, usualmente reemplazado por suelos granulares de cantera, puede ser mejorado con la adición de ceniza de mazorca de maíz sin perjudicar los ecosistemas en los lechos de ríos y cerros.

Casazola & Orcon (2022) en su trabajo de investigación evaluaron 5 muestras de suelo arcilloso de la APV Sucso Auccaylle, distrito de San Sebastián, Cusco, con la adición de diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclable (0%, 2%, 5%, 8% y 11%). Abordaron las siguientes propiedades físico-mecánicas del suelo arcilloso, las cuales son, los límites de Atterberg (límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad), compactación del suelo con energía modificada (contenido de humedad óptimo y densidad máxima seca) y parámetros de resistencia (ángulo de fricción y cohesión). Concluyeron que al adicionar 5% de polvo de vidrio al suelo arcilloso fue el que mostros resultados favorables con respecto al suelo natural. Sin embargo, tras calcular la capacidad portante del suelo natural y con las diferentes adiciones de polvo de vidrio, el 11% de polvo de vidrio fue el que presentó un incremento en su capacidad portante de un 46% respecto al suelo natural, esto debido a los valores de su ángulo de fricción y cohesión que están por encima en un 24% y 12% respectivamente.

## **2.2. Aspectos teóricos**

### **2.2.1. Suelos**

#### **2.2.1.1. Definición.**

El termino de suelo se puede definir de diversas maneras, la interpretación varía de acuerdo a sus respectivos intereses; su definición puede venir desde un agrónomo, geólogo o del ingeniero civil.

Según Badillo & Rodríguez (2005) señala:

Para los fines de esta obra, la palabra Suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie.

Otra definición "Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o cambios físicos y/o químicos de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ellos se asientan" (Crespo Villalaz, 2004, pág. 18)

#### **2.2.1.2. Origen de los suelos.**

Suelos residuales: según Badillo & Rodríguez (2005), Estos suelos se forman por la desintegración a causa del intemperismo de las rocas, producto de fuerzas químicas, físicas y biológicas, siendo estos suelos son los más antiguos de todos. Son firmes y estables en su gran mayoría, sin embargo, en algunos casos pueden presentar una alta comprensibilidad lo que dificulta su uso para obras civiles especialmente para las cimentaciones.

Suelos transportados: Estos suelos son removidos del lugar de formación, por los mismos agentes geológicos y redepositados en otra zona. A diferencia de los suelos residuales, este suelo es blando y suelto, lo que representa dificultades técnicas para obras civiles.

“Existen en la naturaleza numerosos agentes de transporte, de los cuales pueden citarse como principales los glaciares, el viento, los ríos y corrientes de agua superficial, los mares y las fuerzas de gravedad; estos factores actúan a menudo combinándose.” (Badillo & Rodríguez, 2005, pág. 35)

### **2.2.1.3. Tipos de suelo.**

**Suelos inorgánicos:** Son suelos que fueron formados por la meteorización de las rocas, y su composición es principalmente de granos minerales, estos pueden formarse por procesos químicos y físicos.

**Gravas:** Son depósitos de fragmentos de rocas, y dado que su origen es por el acarreo del agua al trasladarse se van gastando las aristas es por eso la forma redonda, se suelen encontrar depósitos de gravas en los lechos de los ríos, normalmente al encontrar grava, estas vienen con una proporción de canto rodado, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62 cm (3”) hasta 2.0 mm. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 21)

**Arenas:** Es el nombre que se les da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas sus partículas varían entre 2 mm y 0.5 mm de diámetro. El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcilla. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 22)

**Limos:** Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que se suele encontrar en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas está comprendido entre 0.05 mm y 0.005mm. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 22)

Arcillas: Se caracterizan por su cambio repentino del estado sólido a líquido, a causa de la aparición de agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, en algunas ocasiones contiene silicatos de hierro o magnesio hidratados. Sus partículas tienen diámetro menor a 0.005mm. según (Crespo Villalaz, 2004, pág. 22)

Suelos orgánicos: Estos suelos se forman generalmente in situ.

Turba: Este suelo contiene en su mayoría, tejido vegetal que varía en etapas de descomposición, su color es generalmente marrón y negro. Se le considera un pésimo suelo para obras civiles.

“Muchas veces la cantidad de materia orgánica es tan alta con relación a la cantidad de suelo inorgánico que las propiedades que pudieran derivar de la porción mineral quedan eliminadas” (Crespo Villalaz, 2004, pág. 21)

#### **2.2.1.4. Clasificación de los suelos.**

Un sistema de clasificación de los suelos, es una agrupación de esto con características semejantes. El propósito es estimar en forma fácil las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo, cuyas características se conocen.

##### **Sistema de clasificación AASHTO**

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, pág. 1159) “El Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) introdujo uno de los primeros sistemas de clasificación, para evaluar los suelos sobre los cuales se construían las carreteras Posteriormente en 1945 fue modificado y desde entonces se le conoce como sistema AASHTO.”

El sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en grupos, basado en las determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un “índice de grupo”. El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases.” (MTC, 2016)

**Figura 4.** Tabla de clasificación según AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 <sup>A</sup>	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. <sup>B</sup>
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

Nota. fuente: (MTC, 2016, pág. 1159)

### Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

El sistema desarrollado por el Dr. Arturo Casagrande utiliza la textura para dar términos descriptivos tales como:

“GW”, grava bien graduada; “GC”, grava arcillosa; “GP”, Grava mal graduada, etc. Este sistema de clasificación se ha extendido en cooperación con la Oficina de mejoramiento de terrenos (Bureau of Reclamation) de los Estados Unidos, y se denomina actualmente Sistema de clasificación unificado. (MTC, 2016, pág. 1159-1160)

Está basado en la identificación de los suelos según sus cualidades estructurales y de plasticidad, y su agrupación con relación a su comportamiento como materiales de construcción en ingeniería. La base de la clasificación de suelos está en las siguientes propiedades:

1. Porcentaje de grava, arena y finos (fracción que pasa por el tamiz N° 200)
2. Forma de la curva de distribución granulométrica.
3. Características de plasticidad y compresibilidad.

(MTC, 2016, pág. 1159-1160)

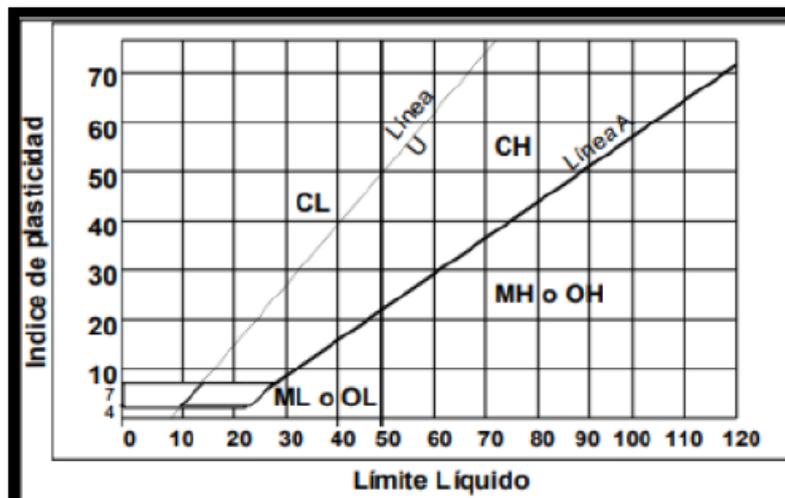
Figura 5. Cuadro SUCS

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con el uso de pruebas de laboratorio <sup>a</sup>				Clasificación de suelos	
				Símbolo	Nombre de Grupo <sup>b</sup>
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % retenido en la malla N°200.	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4	Gravas Limpias	$C_u \geq 4 \text{ y } 1 \leq C_c \leq 3$ <sup>g</sup>	GW	Grava bien graduada <sup>f</sup>
		Menos del 5% de finos <sup>c</sup>	$C_u < 4 \text{ y/o } 1 > C_c > 3$ <sup>g</sup>	GP	Grava mal graduada <sup>f</sup>
		Gravas con finos Más del 12% de finos <sup>c</sup>	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa <sup>f,g,h</sup>
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Arenas Limpias	$C_u \geq 6 \text{ y } 1 \leq C_c \leq 3$ <sup>g</sup>	SW	Arena bien graduada <sup>f</sup>
		Menos del 5% de finos <sup>d</sup>	$C_u < 6 \text{ y/o } 1 > C_c > 3$ <sup>g</sup>	SP	Arena mal graduada <sup>f</sup>
		Arenas con finos Más del 12% de finos <sup>d</sup>	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena Limosa <sup>g,h,i</sup>
		Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena Arcillosa <sup>g,h,i</sup>	
Suelos de partículas finas El 50 % o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera) <sup>k,l,m</sup>
			IP < 4 y se grafica en o arriba de la línea "A"	ML	Limo <sup>k,l,m</sup>
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OL	Arcilla Orgánica <sup>k,l,n,o</sup> Limo Orgánico <sup>k,l,m,o</sup>
	Limos y Arcillas Límite Líquido 50 o más	Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad <sup>k,l,m</sup>
			IP se grafica debajo de la línea "A"	MH	Limo Orgánico <sup>k,l,m</sup>
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla Orgánica <sup>k,l,m,p</sup> Limo Orgánico <sup>k,l,m,q</sup>
Suelos altamente orgánicos		Principalmente materia inorgánica, de color oscuro y con olor orgánico		PT	Turba

<sup>a</sup> Basado en el material que pasa la malla de 75 mm (3 pulg)  
<sup>b</sup> Si la muestra de campo contiene gujarros o pedruscos, o ambos, añada al nombre de grupo estos detalles.  
<sup>c</sup> Las gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: GW-GM grava bien graduada con limo.  
<sup>d</sup> Las arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: SW-SM arena bien graduada con limo.  
<sup>e</sup>  $C_u = D_{60}/D_{10}$   $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$   
<sup>f</sup> Si el suelo contiene ≥15% de arena añadada con grava al grupo.  
<sup>g</sup> Si los finos se clasifican como CL-ML, use el símbolo dual.  
<sup>h</sup> Si los finos son orgánicos añádelo al nombre de grupo.  
<sup>i</sup> Si el suelo contiene ≥15 % de grava añadada con grava al grupo.  
<sup>j</sup> Si los límites de Atterberg se sitúan en el área sombreada, el suelo es una arcilla limosa CL-ML.  
<sup>k</sup> Si el suelo contiene 15 a 29% mayor de la malla N°200, añadada con arena o con grava, el que sea predominante.  
<sup>l</sup> Si el suelo contiene ≥30% mayor de la malla N°200, predominantemente arena, añadada "arenoso" al nombre de grupo.  
<sup>m</sup> Si el suelo contiene ≥30% mayor de la malla N°200, predominantemente grava, añadada "gravoso" al nombre de grupo.  
<sup>n</sup> IP ≥ 4 y se grafica en o arriba de la línea A.  
<sup>o</sup> IP < 4 o se grafica debajo de la línea A.  
<sup>p</sup> IP se grafica en o arriba de la línea A.  
<sup>q</sup> IP se grafica debajo de la línea A.

Nota. fuente: (MTC, 2016, pág. 1159-1160)

Figura 6. Carta de plasticidad



Nota. fuente: (MTC, 2016, págs. 1159-1160)

## 2.2.2. Suelo arcilloso

### 2.2.2.1. Definición.

Los suelos arcillosos muestran una textura fina, con alta presencia de arcillas (45 % de arcillas, 30% de limo y 25% de arena). Esta composición permite que el

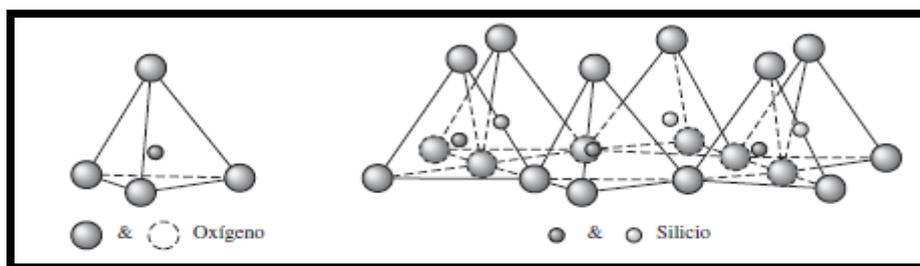
suelo tenga una elevada retención de agua y nutrientes. Pero, posee una baja porosidad, por lo tanto, son suelos que carecen de buenas posibilidades de aireación.

### 2.2.2.2. Minerales de la arcilla.

Según (Das, 2015), señala que los minerales de arcilla son silicatos de aluminio complejos compuestos de una de las dos unidades básicas: sílice tetraédrica y aluminio octaédrico.

Cada unidad del tetraedro consiste de cuatro átomos de oxígeno que rodean un átomo de silicio; La combinación de unidades tetraédricas de sílice da una lámina de sílice.

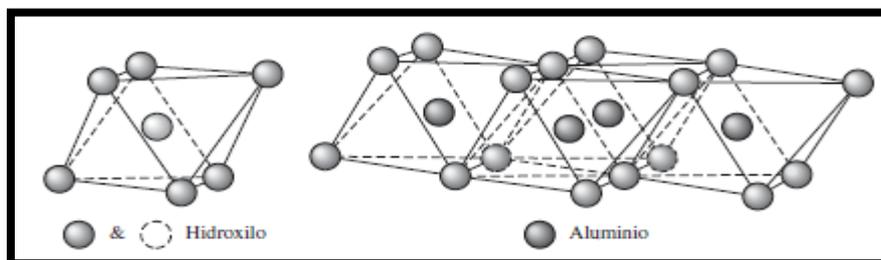
**Figura 7.** Combinación tetraédrica de una lámina de sílice



*nota. Fuente: (Das, 2015, pág. 30)*

Las unidades octaédricas consisten en seis hidroxilos rodeando un átomo de aluminio y la combinación de las unidades hidroxilo de aluminio octaédricas da una capa octaédrica.

**Figura 8.** Combinación octaédrica de aluminio



*Nota. Fuente: (Das, 2015, pág. 30)*

De acuerdo con su estructura reticular, los suelos arcillosos se encasillan en tres grandes grupos:

- **Caolinitas:**

Están formadas por una lámina silícica y otra aluminica, que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (adsorción). En consecuencia, las arcillas caolinitas serán relativamente estables en presencia del agua. (Badillo & Rodríguez, 2005, pág. 38)

- **Montmorillonita:**

Están formadas por una lámina aluminica entre dos silicicas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión entre las retículas del mineral es débil, por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de las fuerzas eléctricas generadas por su naturaleza dipolar. Lo anterior produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que se traduce, macro físicamente, en una expansión. Las arcillas montmoriloníticas, especialmente en presencia de agua, presentaran fuerte tendencia a la inestabilidad. Las bentonitas son arcillas del grupo montmorilonítico, originadas por la descomposición química de las cenizas volcánicas y presentan la expansividad típica del grupo en forma particularmente aguda, lo que las hace sumamente críticas en su comportamiento mecánico. (Badillo & Rodríguez, 2005, págs. 38-39)

- **Ilita:**

Están estructuradas análogamente que las montmorilonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su expansividad es menor que la de las montmorilonitas y, en general, las arcillas iliticas, se comportan mecánicamente en forma más favorable para el ingeniero. (Badillo & Rodríguez, 2005, pág. 39)

En general las arcillas ya sean Caolinitas, Montmorillonita o Ilita son plásticas, se contraen al secarse, presentan marcada cohesión según su

humedad, son compresibles y al aplicárseles una carga en su superficie de comprimen lentamente. Otra característica interesante, desde el punto de vista de la construcción, es que la resistencia perdida por el remoldeo se recupera parcialmente con el tiempo. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 24)

### **2.2.2.3. Propiedades de los suelos arcillosos.**

Los suelos tienen propiedades físicas y mecánicas que se determinan de acuerdo a los materiales predominantes en su composición, así como del tamaño, forma, textura, color y peso de sus partículas.

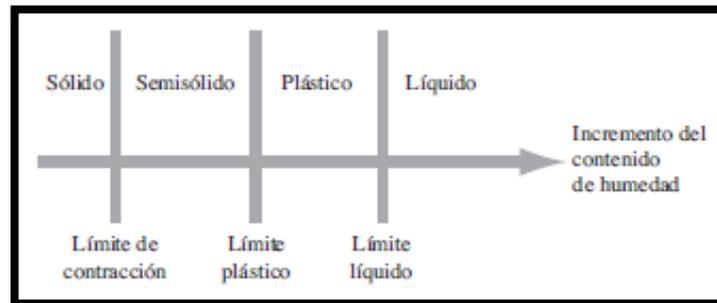
#### a) Granulometría:

Se realiza de dos formas por tamizado que consiste en separar las partículas de la muestra por tamaño de granos, se establece mediante las mallas. Estas mallas parten de un tamaño de 75 mm (3") hasta una malla de 0.075 mm (N° 200). (MTC E107) e hidrómetro que tiene por finalidad, determinar en laboratorio, el porcentaje de partículas más finas de un determinado suelo, que pase el tamiz N° 200. (MTC E109, 2016)

#### b) La plasticidad:

Cuando los minerales de arcilla están presentes en el suelo de grano fino, el suelo se puede remover en presencia de algo de humedad sin que se desmorone. Esta naturaleza cohesiva se debe al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. (Das, 2015, pág. 64)

El contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que se lleva a cabo la transición del estado sólido al estado semisólido se define como el límite de contracción. El contenido de humedad en el punto de transición del estado semisólido al estado plástico es el límite plástico, y del estado plástico al estado líquido es el límite líquido. Estos límites son también conocidos como límites de Atterberg. (Das, 2015, pág. 65)

**Figura 9.** Límites de Atterberg

Nota. fuente: (Das, 2015)

c) Humedad natural:

Según (Perú, Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013, pág. 38) la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten. La determinación de la humedad natural (ensayo MTC 108) permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo (ensayo MTC 132).

d) Índice de resistencia CBR:

“Es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.” (Perú, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Geotecnia y Pavimentos, 2014, pág. 35).

### 2.2.3. Vidrio

#### 2.2.3.1. Definición.

El vidrio es un mineral que se produce cuando los componentes inorgánicos se funden a altas temperaturas y luego se enfrían rápidamente, esto da como resultado que el vidrio se vuelva quebradizo y emita un producto sólido que puede tener una variedad de composiciones diferentes dependiendo de la materia prima. materiales que se utilizan y el proceso térmico que se utiliza (Fernández, 2003).

El principal componente del vidrio es la sílice ( $\text{SiO}_2$ ), el sodio que da la facilidad de fusión y el calcio que proporciona estabilidad química.

Según (El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018, norma E.040) da la siguiente definición de vidrio “una sustancia sólida, sobrefundida, amorfa, dura, frágil, que es un complejo químico de silicatos sólidos y de cal que corresponde a la fórmula:  $\text{SiO}_2$  (Na<sub>2</sub>O) m (CaO) n”.

El mismo expresa que los silicatos ( $\text{SiO}_2$ ) provienen de las arenas silíceas, limpia y seca; el Na<sub>2</sub>O del carbonato o sulfato de sodio y el CaO y MgO de la caliza natural (carbonato de calcio) y la dolomita.

### **2.2.3.2. Tipos de vidrio según su composición química.**

Vidrio sodo-calcico: Este es el vidrio comercial más común y el menos costoso. Para fabricarlo es necesario fundir la sílice, la cual lo hace a una temperatura muy alta (1700°C). Para reducir esa temperatura de fusión y hacer la masa más manejable, se le agrega soda (carbonato de sodio). Pero el vidrio así obtenido es suave y no muy durable, por lo que se debe agregar cal (carbonato de calcio) para aumentar su dureza y durabilidad química. (Pearson, Levacic, Bergant, & Diez, 2009, pág. 11)

Vidrio plomado: Si se utiliza óxido de plomo en lugar de óxido de calcio, y óxido de potasio en lugar de todo o la mayoría del óxido de sodio, tendremos el tipo de vidrio comúnmente llamado cristal plomado. El óxido de plomo se agrega para bajar la temperatura de fusión y la dureza y también elevar el índice de refracción del vidrio. (Pearson, Levacic, Bergant, & Diez, 2009, pág. 12)

Vidrio borosilicato: “El vidrio borosilicato es cualquier vidrio silicato que contenga al menos 5% de óxido bórico en su composición. Este vidrio tiene mayor resistencia a los cambios térmicos y a la corrosión química”. (Pearson, Levacic, Bergant, & Diez, 2009, pág. 12)

Vidrios especiales: según Pearson, Levacic, Bergant, & Diez (2009), Se pueden inventar vidrios con propiedades específicas para casi cualquier requerimiento

que se pueda imaginar. Sus composiciones son diversas e involucran numerosos elementos químicos.

- Vidrio aluminio silicato.
- Vidrio de silicio 96 %.
- Vidrio de sílice fundida.
- Vidrio con bajo contenido de hierro.

### **2.2.3.3. Componentes que forman el vidrio.**

De acuerdo a (Morales Ortega, 2017)“clasifica las materias primas del vidrio basándose en el orden y papel que desempeñan durante el proceso de fusión”

Vitrificantes: se consideran los materiales formadores del vidrio. Constituyen gran parte de la masa total del vidrio, por lo que estos son los que forman el esqueleto estructural de los vidrios. Tenemos los siguientes: sílice ( $\text{SiO}_2$ ) es el elemento principal constituye entre el 50% y 80% de su composición, el Pentóxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) y trióxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ).

Fundentes: “Favorecen la formación de vidrio, disminuyendo la temperatura de fusión y facilitando su elaboración”. (Morales Ortega, 2017, pág.30). Entre estos tenemos: óxido de Sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) que después del sílice es el de mayor presencia en la masa del vidrio, óxido de Potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) y óxido de Litio ( $\text{Li}_2\text{O}$ ).

Bases o óxidos: son elementos estabilizantes que se introducen en la composición del vidrio, permitiendo modificar en uno u otro sentido las propiedades de estos. Tenemos: óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) y óxido de bario ( $\text{BaO}$ ).

Estabilizantes: “Se los conoce como óxidos indiferentes, dado que pueden actuar tanto como formadores de red (vitrificantes) que como óxidos modificadores (fundentes)”. (Morales Ortega, 2017, pág.31). en este grupo se encuentran: óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de plomo ( $\text{PbO}$ ), óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ) y óxido de hierro ( $\text{FeO}$ ). (Morales Ortega, 2017, págs. 29-31).

- Componentes secundarios:

Además de los componentes que se han mencionado a lo largo de los apartados anteriores, en la fabricación del vidrio nos encontramos con otros elementos que no afectan a su estructura, pero le aportan las características de textura y aspecto. Estos son los afinantes, decolorantes, colorantes, opacificantes, fluidificantes, etc. (Morales Ortega, 2017, pág. 32)

#### **2.2.3.4. Disponibilidad mundial del vidrio.**

La producción mundial anual de vidrio ronda los 130 millones de toneladas, de las cuales el 48% es vidrio para envases, el 42% es vidrio plano, el 5% es vajilla y el resto se destina a otras aplicaciones. Por otro lado, la capacidad mundial de reciclaje de vidrio se estima en 27 millones de toneladas anuales, lo que representa sólo alrededor del 21% de la producción mundial (Premathilaka et al., 2024).

#### **2.2.3.5. Reciclaje del vidrio.**

El vidrio es un material de fácil recuperación por sus características. Los envases son 100% recuperables, pudiendo fabricarse nuevos envases a partir de un envase utilizado con las mismas características de este. La facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones afectadas puedan autogestionarse de una manera fácil su medio ambiente. El reciclaje ha sido practicado en diversos países como Estados Unidos, Alemania, Japón y Francia desde hace más de 20 años, En Alemania, el país productor de mayor cantidad de basura en Europa, las leyes obligan a las industrias a reciclar parte de sus desechos. El reciclaje exige diversas condiciones, entre otras; los materiales deben estar limpios y separados del resto de la basura; los proveedores deben garantizar un mínimo del producto y éste tiene que ser entregado a plazos fijos. (Castillo et al., 2020).

### **2.2.3.6. Polvo de vidrio reciclado.**

Después de reciclar el vidrio se muele en partículas muy pequeñas teniendo como resultado el polvo de vidrio; Las propiedades del polvo de vidrio provienen de la identidad del propio vidrio, así como del tamaño y la morfología de las partículas. En función de la composición, los polvos de vidrio especiales pueden satisfacer requisitos muy versátiles.

El polvo de vidrio reciclado será utilizado para mejorar la resistencia de los suelos arcilloso en donde el polvo actuará como un árido reemplazante del suelo alterando la macro estructura de las arcillas, reduciendo la plasticidad, permitiendo el drenaje y lo principal para proyectos viales, aumentando los valores de capacidad de soporte (CBR). Esto debido a que el vidrio está compuesto entre el 50% y 80% de sílice, un componente característico de ciertas rocas y que confiere resistencia. (Soberon, 2022)

**Figura 10.** polvo de vidrio



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

### **2.2.4. Subrasante de pavimento**

#### **2.2.4.1. Definición.**

La subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o

explanada y la estructura del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. (Perú, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Geotecnia y Pavimentos, 2014, pág. 20)

Los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante deberán ser suelos adecuados y estables con  $CBR \geq 6\%$ . En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un  $CBR < 6\%$  (subrasante pobre o subrasante inadecuada), se deberá proceder a la mejora de sus propiedades para ser utilizada como subrasante. (Perú, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Geotecnia y Pavimentos, 2014, pág. 21)

#### 2.2.4.2. Categorías de la subrasante.

La subrasante presenta las siguientes categorías de acuerdo al valor de CBR obtenido.

**Tabla 1.** Categorías de sub rasante

Categorías de Sub rasante	CBR
S <sub>0</sub> : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Sub rasante insuficiente	De CBR $\geq$ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Sub rasante Regular	De CBR $\geq$ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Sub rasante Buena	De CBR $\geq$ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Sub rasante Muy Buena	De CBR $\geq$ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Sub rasante Excelente	CBR $\geq$ 30%

*Nota.* Fuente: (Perú, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Geotecnia y Pavimentos, 2014, pág. 35).

#### 2.2.5. Análisis granulométrico de suelos por tamizado

Este ensayo consiste en separar las partículas de la muestra por tamaño de granos, se establece mediante las mallas. Estas mallas parten de un tamaño de 75 mm (3") hasta una malla de 0.075 mm (N° 200). En cada malla se registrará el peso parcial de toda la muestra,

de tal manera que se pueda obtener el porcentaje de cada tipo de suelo (grava, arena, limo y arcilla). (MTC E107, 2016)

**Tabla 2.** Tamices empleados para el ensayo

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Nota. Fuente: (MTC E107, 2016, pág. 44)

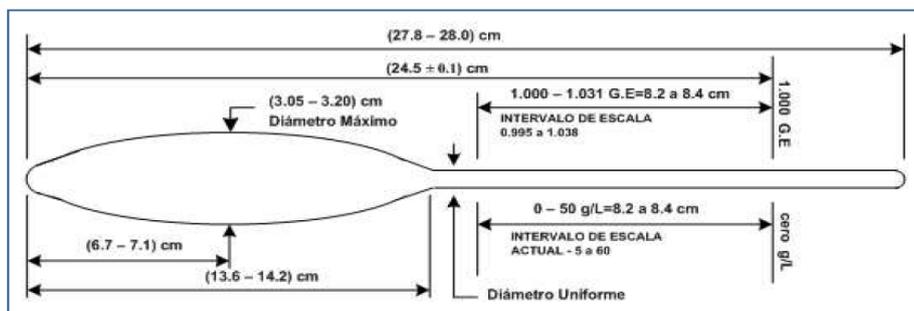
El análisis granulométrico se realiza con material retenido en el tamiz numero 4 o de la parte fina que pasa por dicho tamiz. Los materiales limos y arcillosos cuyos terrones no se rompen con facilidad se proceden por la vía húmeda realizando el lavado por el tamiz Nº 200; la parte retenida se seca al horno y se procede a tamizar. (MTC E107, 2016, pág. 46)

### 2.2.6. Análisis granulométrico de suelos por hidrómetro

Este ensayo tiene por finalidad, determinar en laboratorio, el porcentaje de partículas más finas de un determinado suelo, que pase el tamiz Nº 200.

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. (MTC E109, 2016)

**Figura 11.** Hidrómetro



Nota. Fuente: (MTC E107, 2016)

## 2.2.7. Límites de Atterberg

### 2.2.7.1. Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E110, 2016).

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

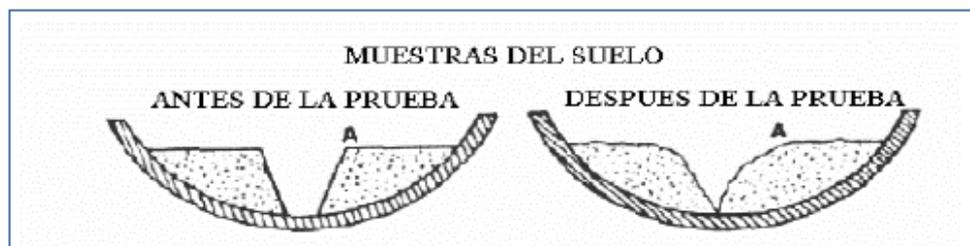
Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción.

El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos son extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras

propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los límites líquido y plástico de un suelo pueden utilizarse con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que  $2\mu\text{m}$  para determinar su número de actividad. (MTC E110, 2016)

**Figura 12.** Antes y después de la realización del ensayo



Nota. Fuente: (MTC E110, 2016)

### 2.2.7.2. Determinación del límite plástico (MTC E111, 2016).

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos son extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras

propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

(MTC E111, 2016)

### 2.2.7.3. Determinación del índice de plasticidad.

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

su resultado expresa la cantidad de arcilla que un suelo posee, un IP alto significa que el suelo es muy arcilloso, mientras un IP bajo significará que es suelo pobremente arcilloso. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

**2.2.8. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado) (MTC E115, 2016)**

La compactación de suelos sirve para aumentar la resistencia de los suelos incrementando sus pesos unitarios, para las obras de ingeniería resulta ser una buena alternativa para mejorar el suelo.

Este método de ensayo cubre los procedimientos de compactación en un molde de 4 ó 6 pulgadas de diámetro dando golpes a una distancia de caída del pisón de 45.7 cm con un pisón de 44.5 N (10 lbf ) dividiéndose en cinco capas en el laboratorio que se utilizan para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) donde se calcula el Óptimo Contenido de Humedad y la Máxima Densidad Seca, los cuales se registran en el pico de la curva. (MTC E115, 2016)

Existen tres métodos alternativos para realizar dicho ensayo.

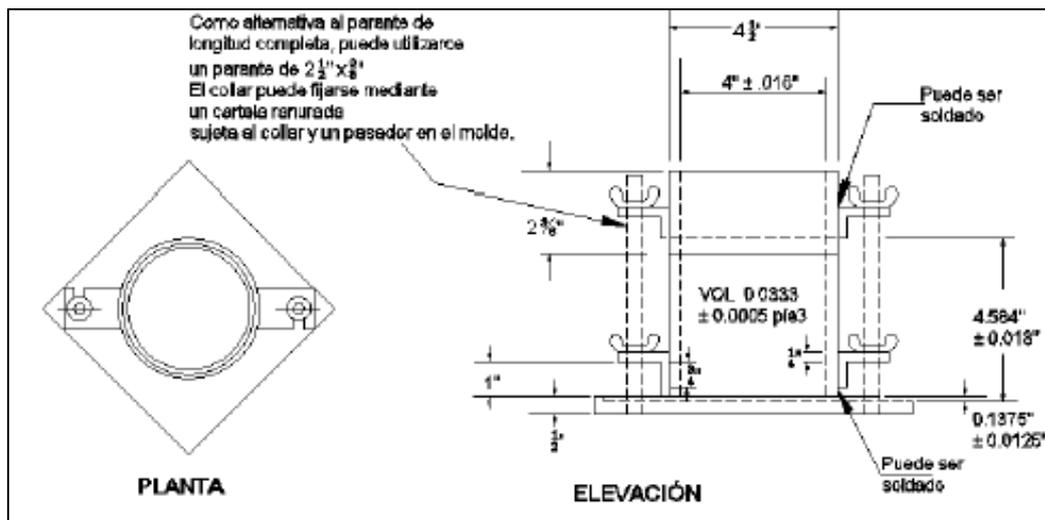
**Tabla 3.** Especificaciones de la prueba proctor modificado.

**Tabla 5.3** Especificaciones de la prueba Proctor modificada (Basadas en Norma ASTM Prueba 1577)

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm <sup>3</sup>	943.3 cm <sup>3</sup>	2124 cm <sup>3</sup>
Peso del martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de la caída del martillo	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes de martillo por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2696 kN-m/m <sup>3</sup>	2696 kN-m/m <sup>3</sup>	2696 kN-m/m <sup>3</sup>
Suelo utilizado	Porción que pasa el tamiz núm. 4 (4.57 mm). Puede ser utilizada si 20% o menos del peso de material es retenido en el tamiz núm. 4	Porción que pasa el tamiz de 9.5 mm. Puede utilizarse si el suelo retenido en el tamiz núm. 4 es más de 20% y 20% o menos del peso es retenido en el tamiz de 9.5 mm.	Porción que pasa el tamiz de 19 mm. Puede utilizarse si más de 20% del material es retenido en el tamiz de 9.5 mm y menos de 30% del peso es retenido en el tamiz de 19 mm.

Nota.fuente: (Das, 2015, pág. 102)

**Figura 13.** Molde cilíndrico de 4"



Nota. Fuente: (MTC E115, 2016)

### 2.2.9. Ensayo de relación de soporte CBR (MTC E132, 2016)

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje.

El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible. (MTC E132, 2016)

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (con un área de 19.4 cm<sup>2</sup>) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. (Bowles, 1981, pág. 190)

$$CBR = \frac{CARGA\ UNITARIA\ DEL\ ENSAYO}{CARGA\ UNITARIA\ PATRON} \times 100(\%)$$

El valor de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente con fines de utilización con base y sub-rasante bajo pavimentos de carreteras y aeropistas. (Bowles, 1981, pág. 191)

El CBR es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (máxima densidad seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm. (Perú, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Geotecnia y Pavimentos, 2014, p. 35)

#### **2.2.10. Ensayo de Compresión no confinada (MTC E121, 2016)**

El propósito principal de realizar la prueba de compresión no confinada es para rápida obtención de un valor aproximado de resistencia a la compresión de suelos que poseen suficiente cohesión para poder ser ensayados en el estado no confinado; bajo condiciones inalteradas o remoldeadas, aplicando carga axial, usando cualquiera de los métodos de resistencia controlada o deformación controlada. Sirve únicamente para suelos cohesivos.

Resistencia a la compresión no confinada, es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple. Dicha resistencia se emplea también para calificar la consistencia del suelo como muy blanda, blanda, mediana, firme, muy firme y dura de acuerdo con el valor obtenido. (MTC E121, 2016).

**Tabla 4.** Calificación del suelo

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm <sup>2</sup>	(kPa)
Muy blanda	< 0,25	(< 25)
Blanda	0,25-0,50	(25- 50)
Mediana	0,50-1,00	(50-100)
Firme	1,00-2,00	(100-200)
Muy firme	2,00-4,00	(200-400)
Dura	> 4,00	(> 400)

*Nota. Fuente:* (MTC E121, 2016)

## CAPITULO III: METODOLOGIA DE INVESTIGACION

### 3.1. Formulación de la Hipótesis

#### 3.1.1. *Hipótesis general*

**HG:** El polvo de vidrio reciclado tiene una influencia positiva en las propiedades físicas y mecánicas de suelo arcilloso para sub-rasante de pavimentos de la zona ladrillera-Cusco 2023

#### 3.1.2. *Hipótesis específicos*

**HE1:** El polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10%, 15% influye en las propiedades físicas (límites de Atterberg) de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-Cusco 2023

**HE2:** El polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10% y 15% influye en las propiedades mecánicas ( relación de soporte - CBR ) de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-Cusco 2023

**HE3:** El porcentaje optimo de polvo de vidrio reciclado influye en la Resistencia a la compresión no confinada de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-Cusco 2023.

### 3.2. Definición de variables

#### 3.2.1. *Variables independientes*

- Polvo de vidrio reciclado

#### 3.2.2. *Variables dependientes*

- Límite líquido
- Límite plástico
- Índice de plasticidad
- Densidad seca máxima
- Índice de CBR
- Compresión no confinada

### 3.3.3. Operacionalización de variable

**Tabla 5.** Operacionalización de variables

	variable	indicador	medición	rango de variabilidad
variables independientes	polvo de vidrio reciclado	cantidad de polvo de vidrio reciclado	%	5%, 10% y 15%
variables dependientes	propiedades físicas	límite líquido	%	-
		límite plástico	%	-
		índice de plasticidad	%	-
	propiedades mecánicas	densidad seca máxima	gr/cm3	-
		índice de CBR	%	-
		compresión no confinada	kg/cm2	-

Nota. fuente: (elaboración propia)

## 3.3. Metodología de la investigación

### 3.3.1. Orientación de la investigación

El presente tema de investigación de acuerdo al fin que persigue es de tipo investigación **aplicada**, según Borja (2012), menciona “la investigación aplicada busca conocer, actuar y modificar una situación problemática. Está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal; Los proyectos de ingeniería civil están ubicados dentro de este tipo de clasificación, siempre y cuando solucionen alguna problemática” (pág. 10)

### **3.3.2. Tipo de la investigación**

La investigación será del tipo **cuantitativo** porque se miden o cuantifican numéricamente las variables en estudio en este caso las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos mezclado con polvo de vidrio reciclado. “Plantea que una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis. Este tipo de investigación confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población”. (Borja Suarez, 2012, pág. 11)

### **3.3.3. Nivel de la investigación**

La investigación será del nivel **descriptivo** porque se recolectarán datos e información de las variables. “Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.” (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014)

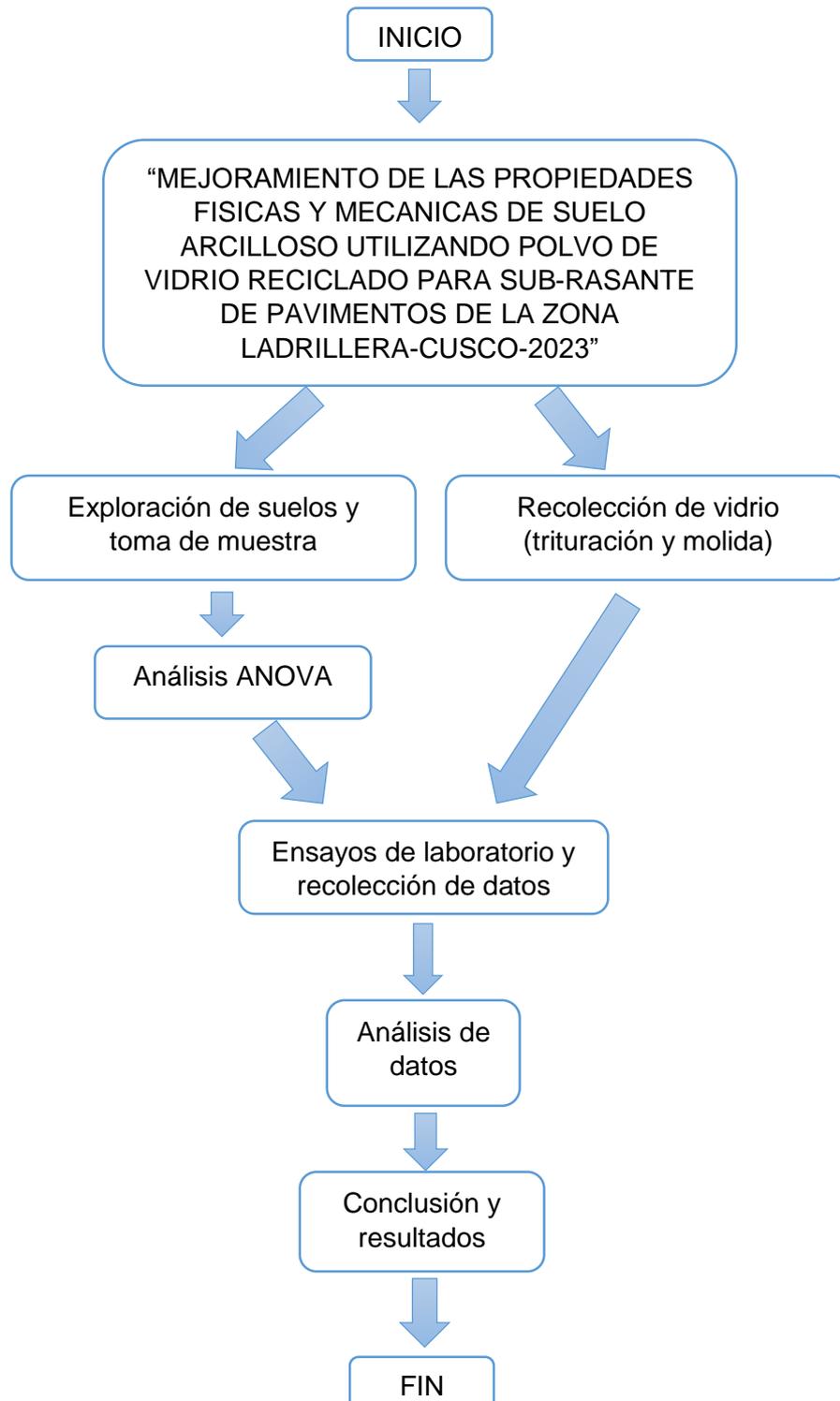
### **3.4. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es **experimental** porque se manipulara el suelo arcilloso de la zona ladrillera con diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado. Según Borja (2012), es aquella investigación en la que la hipótesis se verifica mediante la manipulación deliberada de las variables por parte de los investigadores en este caso del tesista. Esta investigación determinara la relacion causa – efecto de un fenomeno físico o social.

Por otra parte sera de diseño Transversal debido a que el estudio describe el fenomeno de estudio en un momento determinado del tiempo.

### 3.4.1. Diseño de ingeniería

Figura 14. Flujograma de diseño de ingeniería



Nota. Fuente: (elaboración propia)

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

##### **3.5.1.1. Definición.**

Según (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014), hace referencia a (Lepkowski, 2008) " una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones "

##### **3.5.1.2. Cuantificación de la población.**

La población se delimitó y esta conformado por los suelos arcillosos, que se encuentran en las vías no pavimentadas de la zona ladrillera de San Jerónimo cuya longitud de las vías es de 6,483 metros.

#### **3.5.2. Muestra**

##### **3.5.2.1. Definición.**

Según (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014) denomina muestra al "subgrupo de la población", subconjunto de elementos que pertenecen al universo y que se consideran representativos del universo.

##### **3.5.2.2. Tamaño de la muestra.**

Según (Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013, p. 31) se realizará por kilometro un punto de exploración debido a que el índice medio diario es menor a 200 veh/día.

Por lo tanto en el universo de 6,483 m. se considera seis puntos de exploración cuya ubicación se muestra en la figura 2 y sus coordenadas en la tabla 1.

##### **3.5.2.3. Tipo de muestreo.**

Se considera el método no probabilístico y de conveniencia porque se comenzó por un recorrido del lugar para luego determinar la accesibilidad, estratigrafía, identificación de zonas críticas y la facilidad de extraer las muestras sin interrumpir ni perjudicar el trabajo de las personas que fabrican ladrillos.

**Tabla 6.** Cantidad de muestra para clasificación de suelo y análisis ANOVA

ensayos	calicata 1	calicata 2	calicata 3	calicata 4	calicata 5	calicata 6	total de ensayos	Kg por ensayo	total de muestra (Kg)
Análisis granulométrico	1	1	1	1	1	1	6	1	6
Límites de Atterberg	3	3	3	3	3	3	18	0.5	9
Total	4	4	4	4	4	4	24	1.5	15

Nota. Fuente: (elaboración propia)

**Tabla 7.** Cantidad de muestra para los ensayos adicionando PVR

Ensayos	SUEL O CH - SOLO	SUELO CH + 5 % PVR.	SUELO CH + 10 % PVR.	SUELO CH + 15 % PVR.	total de ensayos	Kg por ensayo	total de muestra (Kg)
Análisis granulométrico por medio del hidrómetro	1				1	0.5	0.5
Límites de Atterberg		3	3	3	9	0.5	4.5
Proctor modificado	3	3	3	3	12	10	120
Ensayo de CBR	3	3	3	3	12	16	192
Total	7	9	9	9	34	27	317
Ensayos	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + 5 % PVR.	SUELO CL + 10 % PVR.	SUELO CL + 15 % PVR.	total de ensayos	Kg por ensayo	total de muestra (Kg)
Análisis granulométrico por medio del hidrómetro	1				1	0.5	0.5
Límites de Atterberg		3	3	3	9	0.5	4.5
Proctor modificado	3	3	3	3	12	10	120
Ensayo de CBR	3	3	3	3	12	16	192
Total	7	9	9	9	34	27	317
Ensayos	SUELO CH - SOLO	SUELO CH + % optimo PVR.	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + % optimo PVR.	total de ensayos	Kg por ensayo	total de muestra (Kg)
Ensayo de compresión simple	3	3	3	3	12	1	12

Nota. Fuente: (elaboración propia)

### 3.6. Técnicas para la recolección de datos

Son estrategias y criterios que pueden emplearse para afinar un determinado proceso y conjunto de objetivos que se desean determinar, se puede emplear el uso de la recopilación documental, las escalas de apreciación, la observación, los cuestionarios, las entrevistas, etc. (Mendoza, 2024).

Para el desarrollo de la tesis la técnica a utilizar sera la “observación”.

#### **Características de La Observación:**

Según (ing. Manuel Borja Suarez, 2012, pág. 33) la Observación presenta las siguientes características:

- Para los proyectos de investigación en ingeniería, todos los datos observados se deben plasmar en formatos adecuados de recolección de información; por ejemplo: Formatos para el estudio de tráfico, estudio de suelos, levantamientos topográficos, diseño de mezclas, etc.
- La observación científica es la más antigua y al mismo tiempo la más moderna técnica de investigación.
- La observación se define como la percepción intencionada e ilustrada de un hecho o un conjunto de hechos o fenómenos.
- El objeto de la observación es un hecho de la realidad.
- Es directa ya que no se observan sentimientos sino conductas.

### 3.6.1. Exploración Geotécnica del Terreno.

Se extrajeron las muestras de suelo de seis puntos de exploración de la zona ladrillera las cuales fueron escogidas de manera conveniente para no interrumpir las actividades de los pobladores. A continuación, se muestra la ubicación de las calicatas realizadas en la zona ladrillera, perfiles estratigráficos de los puntos de exploración y perfil longitudinal (anexo N°5)

**Figura 15.** Ubicación de las calicatas.



Nota. fuente: GOOGLE EARTH (elaboración propia)

**Tabla 8.** Coordenadas de los puntos de exploración.

CALICATA	COORDENADAS
C1	13°33'8.75"S 71°53'53.85"O
C2	13°33'21.46"S 71°54'0.46"O
C3	13°33'16.96"S 71°53'54.86"O
C4	13°33'12.06"S 71°53'50.03"O
C5	13°33'21.68"S 71°53'46.20"O
C6	13°33'16.61"S 71°53'48.91"O

Nota. fuente: (elaboración propia)

## Punto de exploración N°1 (calicata 1)

Perfil estratigráfico:

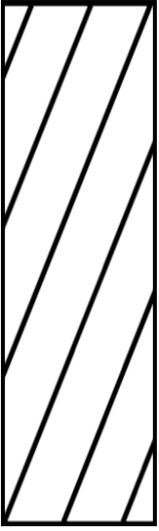
Profundidad (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Clasificación SUCS	Descripción
0.10	1			Estrato conformado de material de relleno para afirmado
0.20				
0.30	2		CL	Estrato conformado de Arcilla de baja plasticidad, color marrón con presencia de humedad.
0.40				
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

Figura 16. Punto de exploración calicata 1.



Nota. fuente: (elaboración propia)

## Punto de exploración N°2 (calicata 2)

Perfil estratigráfico:

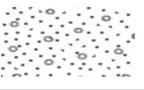
Profundidad (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Clasificación SUCS	Descripción
0.10	1			conformado de material de relleno para afirmado y presencia organica
0.20				
0.30	2		CL	Estrato conformado de Arcilla de baja plasticidad, color marrón con presencia de humedad.
0.40				
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

Figura 17. Punto de exploración calicata 2.



Nota. fuente: (elaboración propia)

## Punto de exploración N°3 (calicata 3)

Perfil estratigráfico:

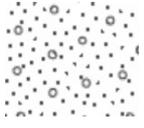
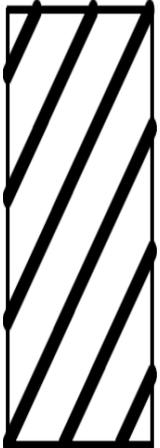
Profundidad (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Clasificación SUCS	Descripción
0.10	1			Estrato conformado de material de relleno para afirmado y presencia mínima de restos de ladrillo
0.20				
0.30				
0.40	2		CH	Estrato conformado de Arcilla de alta plasticidad, color marrón con presencia de humedad.
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

Figura 18. Punto de exploración calicata 3.



Nota. fuente: (elaboración propia)

## Punto de exploración N°4 (calicata 4)

Perfil estratigráfico:

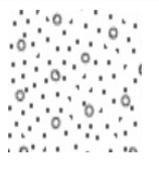
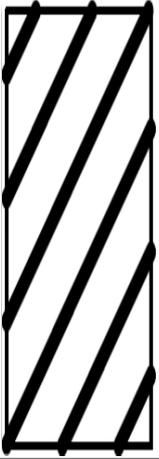
Profundidad (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Clasificación SUCS	Descripción
0.10	1			Estrato conformado de material de relleno para afirmado y presencia abundante de restos de ladrillos
0.20				
0.30				
0.40				
0.50	2		CH	Estrato conformado de Arcilla de alta plasticidad, color marrón con presencia de humedad.
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

Figura 19. Punto de exploración calicata 4.



Nota. fuente: (elaboración propia)

Punto de exploración N°5 (calicata 5)

Perfil estratigráfico:

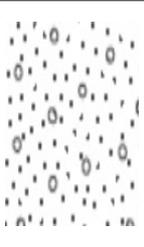
Profundidad (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Clasificación SUCS	Descripción
0.10	1			Estrato conformado de material de relleno para afirmado y presencia abundante de restos de ladrillos
0.20				
0.30				
0.40				
0.50				
0.60	2		CH	Estrato conformado de Arcilla de alta plasticidad, color marrón con presencia de humedad.
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

Figura 20. Punto de exploración calicata 5.



Nota. fuente: (elaboración propia)

## Punto de exploración N°6 (calicata 6)

Perfil estratigráfico:

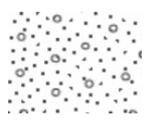
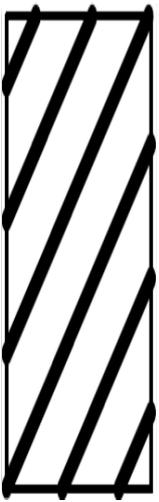
Profundidad (m)	Estrato	Simbolo Grafico	Clasificación SUCS	Descripción
0.10	1			Estrato conformado de material de relleno para afirmado
0.20				
0.30				
0.40	2		CH	Estrato conformado de Arcilla de alta plasticidad, color marrón con presencia de humedad.
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

Figura 21. Punto de exploración calicata 6.



Nota. fuente: (elaboración propia)

### 3.6.2. Obtención de polvo de vidrio reciclado.

Por otra parte, para continuar con los otros ensayos debemos obtener el polvo de vidrio reciclado para lo cual se recolecto vidrio proveniente de la vidriería local llamada "SALAS" ubicado en la vía de evitamiento N° 5238 de la ciudad de cusco (figura 3) dicha vidriería genera entre 50 y 70 kg de residuos de vidrio los cuales son enviados a un botadero de la zona por tal motivo el vidrio se reciclo de los residuos de dicha empresa.

**Figura 22.** Obtención de residuos de vidrio



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

para realizar el proceso de molienda previamente se lavo los residuos de vidrio con agua a presión con la finalidad de eliminar impurezas y después se dejo al secado con el sol durante un día, para todo esto se utilizo las medidas de seguridad adecuadas tales como lentes de seguridad, guantes de badana, polo con manga larga, pantalón jean y mascarilla.

Seguidamente se procedió a realizar el triturado del vidrio para reducirlo a tamaños mas pequeños con ayuda de un combo y martillo, este procedimiento al ser muy peligroso previamente se coloco el vidrio dentro de dos sacos para facilitar la trituración.

**Figura 23.** Residuos de vidrio recolectado

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Figura 24.** vidrio reciclado triturado

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Finalmente se realiza el proceso de molienda del vidrio utilizando un pequeño molino artesanal, de esta manera obtenemos el polvo de vidrio reciclado.

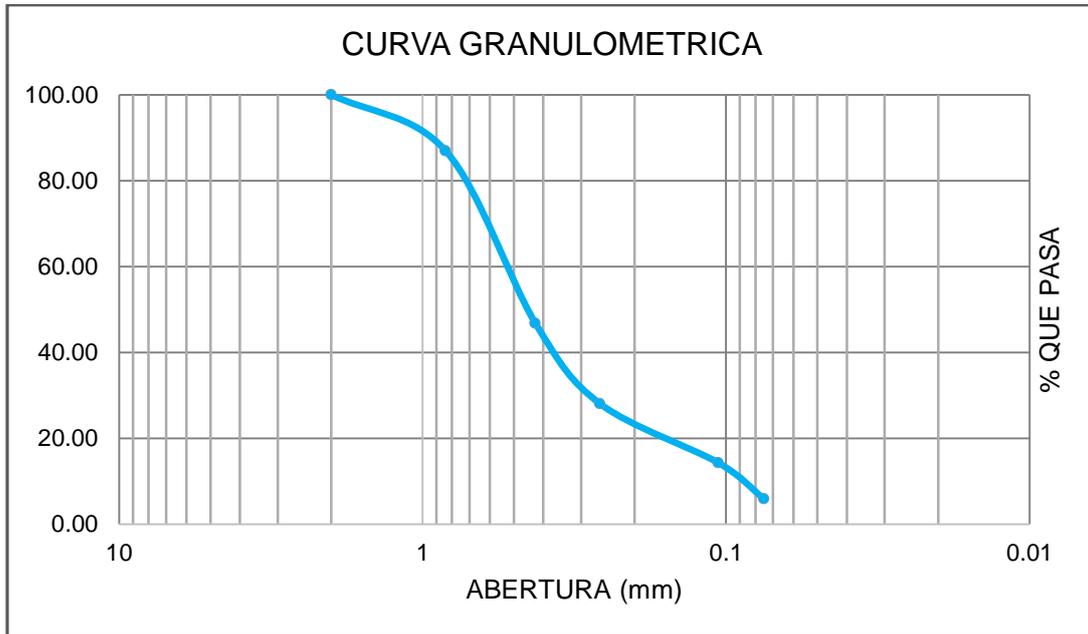
El material obtenido deberá pasar por la malla número 10 y tendrá la siguiente granulometría:

**Tabla 9.** Porcentajes que pasa de polvo de vidrio

número de Tamiz	Abertura (mm)	peso retenido (gr)	% retenido	% que pasa
10	2	0.00	0.00	100.00
20	0.84	130.56	13.06	86.94
40	0.425	401.49	40.15	46.80
60	0.26	187.26	18.73	28.07
140	0.106	137.41	13.74	14.33
200	0.075	83.73	8.37	5.96
cazuela	0.00	59.56	5.96	0.00

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Gráfico 1.** Curva granulométrica del polvo de vidrio reciclado



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Figura 25.** Proceso de trituración con molino artesanal.



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

El resultado del polvo tiene apariencia de una arena fina la cual se mezclará con el suelo arcilloso en diferentes porcentajes de 5%, 10% y 15%.

**Figura 26.** Vidrio molido.



Nota. fuente: (elaboración propia)

### **3.6.3. Criterios de selección.**

La razón por la que se plateó estas dosificaciones se basó en las conclusiones de los antecedentes usados para esta investigación. De acuerdo con dicha referencia, usando dosificaciones variables de vidrio molido de promedio entre 2% a 25% en peso seco del suelo, se obtienen mejoras considerables, en términos de resistencia, sobre el suelo arcilloso a mejorar. De los seis antecedentes usados como referencia, se puede observar que el contenido óptimo de polvo de vidrio se encuentra entre 5% y 15% en peso seco del suelo (Ver tabla N° 10). Siguiendo esa línea, he propuesto usar tres dosificaciones de vidrio molido, 5%, 10% y 15% en peso seco del suelo, para determinar cuál es el contenido de PVR más adecuado para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estudio.

La razón por la que se consideró la ejecución de los siguientes ensayos de limite líquido, limite plástico, Proctor Modificado, CBR, Compresión no Confinada se basó en los antecedentes usados para esta investigación. De acuerdo con la referencia, usando polvo de vidrio, se obtienen mejoras considerables en la propiedad física disminuyendo el índice de plasticidad de los suelos (limite líquido, limite plástico) y en términos de propiedad mecánica mejora la resistencia del suelo arcilloso (Proctor Modificado, CBR, Compresión no Confinada). De los antecedentes usados como referencia, se puede observar la realización

de dichos ensayos (Ver tabla N° 10). Siguiendo esa línea, he propuesto realizar los ensayos de límite líquido, límite plástico, Proctor Modificado, CBR, Compresión no Confinada, para hallar el porcentaje óptimo de polvo de vidrio reciclado y determinar el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estudio.

**Tabla 10.** Resumen de antecedentes de la investigación

N°	Autor	Título de Investigación	Dosificación	Ensayos Realizados	Conclusión
1	Casazola Aguilar, Carmen Rosa; Orcon Galdos, Mauricio Gerardo	“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO ARCILLOSO CON FINOS DE CIMENTACIÓN SUPERFICIAL EN EL APV SUCSO AUCCAYLLE DEL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO - 2022”	0%, 2%, 5%, 8% y 11%	Clasificación SUCS y AASHTO, límite líquido, límite plástico, proctor modificado, corte directo y CBR	El contenido óptimo de polvo de vidrio se sitúa entre 5% - 11%
2	Pusari Quispe, Oscar Alonso; Rodrigue z Machuca , Joao Yhazzir	“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO EXPANSIVO CON POLVO DE VIDRIO RECICLADO Y FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LA CIUDAD DE TALARA, DEPARTAMENTO DE PIURA”	0%, 5%, 6% y 7.5%	Clasificación SUCS y AASHTO, límite líquido, límite plástico y corte directo	El contenido óptimo de polvo de vidrio es 5%
3	Mendoza Ticona, Jhon Daivis	“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL POLVO DE VIDRIO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO– MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE DE LA VÍA HUANCANÉ – OJERIA, HUANCANÉ, PUNO 2023”	3%, 6%, 9% y 12%	Clasificación SUCS y AASHTO, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y CBR	El contenido óptimo de polvo de vidrio se sitúa entre 9% - 12%
4	Brayan Brandon Soberon Monja	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS USANDO VIDRIO RECICLADO MOLIDO PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA EN PAVIMENTOS URBANOS EN LA URB. CIUDAD DEL CHOFER, CHICLAYO 2019	3, 6, 9 y 14%	Clasificación SUCS y AASHTO, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y CBR	El contenido óptimo de polvo de vidrio se sitúa entre 9% - 14%

5	Bilgen, Gamzen	"UTILIZATION OF POWDERED GLASS AS AN ADDITIVE IN CLAYEY SOILS"	10 %, 20 % y 25 %	Clasificación SUCS y AASHTO, límite líquido, límite plástico, proctor modificado, CBR y compresión no confinada	Los resultados de las pruebas demostraron que el vidrio en polvo tiene potencial para su uso como aditivo en suelos arcillosos
6	Varios; Faculty of Engineer ing, Soran Universit y, Soran, Kurdistan Region, Iraq	"STRENGTH IMPROVEMENT OF EXPANSIVE SOIL BY UTILIZING WASTE GLASS"	2,5%, 5%, 10%, 15% y 25%	Clasificación SUCS y AASHTO, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y CBR	El contenido óptimo de polvo de vidrio es 15%

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

### 3.7. Clasificación de suelos.

Seguidamente obtenemos el contenido de humedad natural.

**Tabla 11.** Calculo de contenido de humedad natural.

	calicata 1			calicata 2			calicata 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Número de cápsula									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr 87.19	83.82	85.51	93.34	85.01	86.78	96.17	91.47	94.75
Peso suelo seco + cápsula	gr 81.63	78.28	79.96	86.30	79.38	81.15	86.34	82.64	86.01
Cápsula	gr 59.88	57.70	58.13	59.24	57.37	58.75	58.20	58.25	61.33
Peso del agua	gr 5.56	5.54	5.55	7.04	5.63	5.63	9.83	8.83	8.74
Peso del suelo seco	gr 21.75	20.58	21.83	27.06	22.01	22.40	28.14	24.39	24.68
Contenido de agua	% 25.56	26.92	25.42	26.02	25.58	25.13	34.93	36.20	35.41
<b>Contenido de agua promedia</b>	<b>% 25.97</b>			<b>25.58</b>			<b>35.52</b>		
	calicata 4			calicata 5			calicata 6		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Número de cápsula									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr 92.17	84.98	85.92	83.91	88.52	86.97	85.68	84.15	82.54
Peso suelo seco + cápsula	gr 83.05	77.71	78.43	76.52	80.38	78.92	78.11	75.98	74.29
Cápsula	gr 58.83	58.33	59.09	56.91	59.19	57.56	57.65	54.45	52.29
Peso del agua	gr 9.12	7.27	7.49	7.39	8.14	8.05	7.57	8.17	8.25
Peso del suelo seco	gr 24.22	19.38	19.34	19.61	21.19	21.36	20.46	21.53	22.00
Contenido de agua	% 37.65	37.51	38.73	37.68	38.41	37.69	37.00	37.95	37.50
<b>Contenido de agua promedia</b>	<b>% 37.97</b>			<b>37.93</b>			<b>37.48</b>		

Nota. fuente: (elaboración propia)

Ahora realizamos el análisis granulométrico de los suelos por tamizado realizando primeramente el lavado por la malla número 200 obteniendo los siguientes datos:

**Tabla 12.** datos después del lavado por la malla número 200.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
peso para lavado	gr 1000	1000	1000	1000	959.9	1000
peso retenido malla número 200	gr 2.89	5.83	5.84	5.74	6.61	12.33
% retenido malla número 200	% 0.29%	0.58%	0.58%	0.57%	0.69%	1.23%
Peso que pasa malla número 200	gr 997.11	994.17	994.16	994.26	953.29	987.67
% que pasa malla número 200	% 99.71%	99.42%	99.42%	99.43%	99.31%	98.77%

Nota. fuente: (elaboración propia)

## Clasificación AASHTO.

**Tabla 13.** Datos para la clasificación AASHTO

CALICATA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	L.L. -30
C1	42%	22%	20%	12%
C2	40%	22%	18%	10%
C3	63%	29%	34%	33%
C4	63%	30%	33%	33%
C5	61%	30%	31%	31%
C6	60%	29%	31%	30%

Nota. fuente: (elaboración propia)

Según los datos de la tabla 13 se puede observar que se ubican en el mismo sitio para la clasificación AASHTO como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 27.** ubicación del suelo de las 6 calicatas para clasificación **AASHTO**

Clasificación General	Suelos Granulares ( $\leq 35\%$ pasa por tamiz N°200)							Suelos Granulares ( $>35\%$ pasa por tamiz N°200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub - Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6 *	A-2-7 *				A-7-5 **
Del Tamiz (% que pasa)	Tamiz N°10	50 max									
	Tamiz N°40	30 max	50 max	51 min							
	Tamiz N°200	15 max	25 max	10 max	35 max				36 min		
Del Tamiz (max)	LL			40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
	IP	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min
Tipo de material más común	Fragmentos de Rocas, Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Calificación de la Subrasante	Excelente a Buena							Regular a pobre			
** Si: $IP \leq (LL-30)$ es A-7-5							Si el Suelo es NP $\gg IG=0$ ; Si $IG < 0 \gg IG=0$				
** Si: $IP > (LL-30)$ es A-7-6											

Nota. fuente: (elaboración propia)

Ahora calculamos el índice de grupo con la siguiente ecuación:

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

donde:

$F$  = porcentaje pasado por el tamiz núm. 200

$LL$  = límite líquido

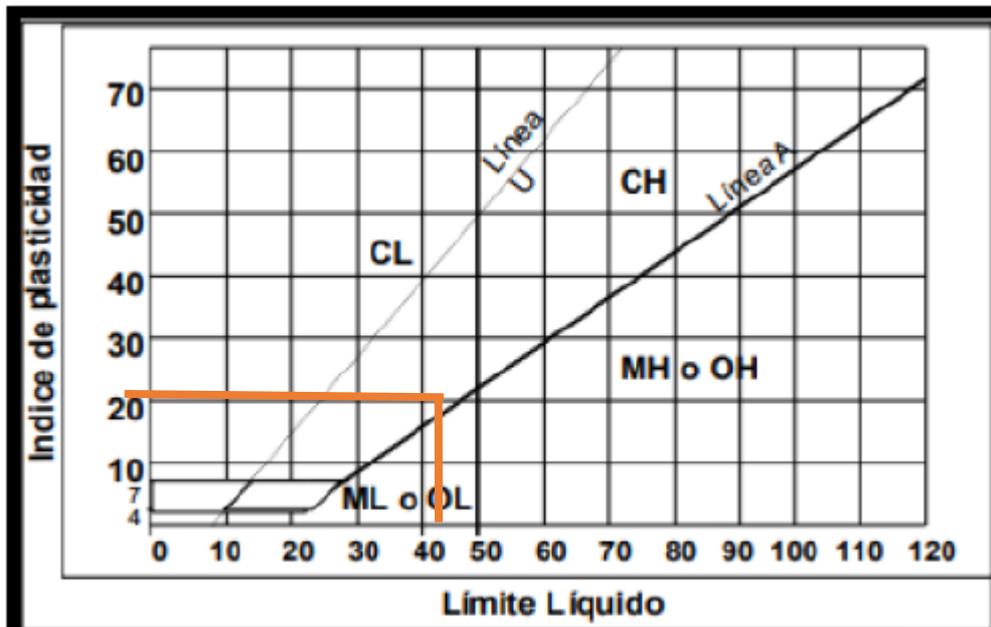
$PI$  = índice de plasticidad

Nota. Fuente: (Das, 2015, pág. 81)

Clasificación SUCS.

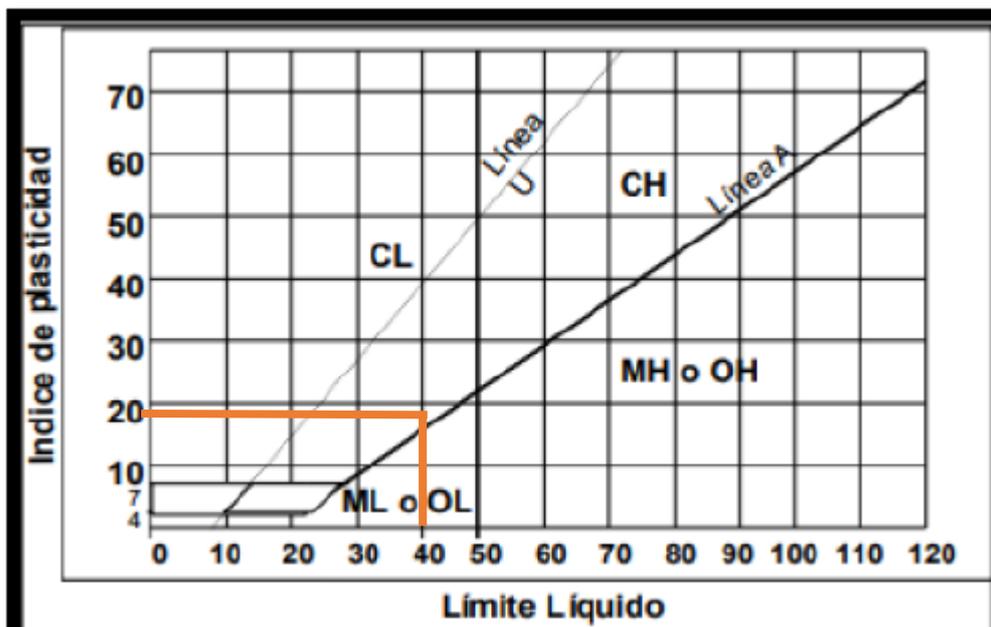
Con los datos de la tabla 13 realizamos la clasificación según SUCS.

**Figura 28.** Clasificación SUCS Calicata n°1



Nota. fuente: (elaboración propia)

**Figura 29.** Clasificación SUCS Calicata n°2



Nota. fuente: (elaboración propia)

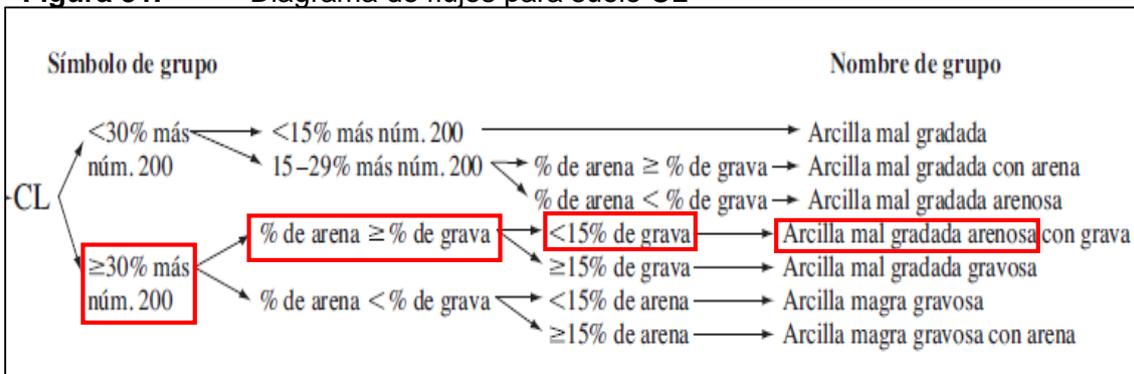
Figura 30. ubicación de calicata 1 y 2 para clasificación SUCS

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con el uso de pruebas de laboratorio <sup>a</sup>				Clasificación de suelos	
				Símbolo	Nombre de Grupo <sup>b</sup>
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % retenido en la malla N°200.	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4	Gravas Limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ <sup>g</sup>	GW	Grava bien graduada <sup>f</sup>
		Menos del 5% de finos <sup>g</sup>	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$ <sup>g</sup>	GP	Grava mal graduada <sup>f</sup>
		Gravas con finos	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa <sup>f,g,h</sup>
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Arenas Limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$ <sup>g</sup>	SW	Arena bien graduada <sup>i</sup>
		Menos del 5% de finos <sup>d</sup>	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$ <sup>g</sup>	SP	Arena mal graduada <sup>i</sup>
		Arenas con finos	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa <sup>g,h,j</sup>
	Más del 12% de finos <sup>d</sup>	Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena Arcillosa <sup>g,h,j</sup>	
Suelos de partículas finas El 50 % o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera) <sup>k,l,m</sup>
			IP < 4 y se grafica en o arriba de la línea "A"	ML	Limo <sup>k,l,m</sup>
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OL	Arcilla Orgánica <sup>k,l,m,n</sup> Limo Orgánico <sup>k,l,m,o</sup>
	Limos y Arcillas Límite Líquido 50 o más	Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad <sup>k,l,m</sup>
			IP se grafica debajo de la línea "A"	MH	Limo Orgánico <sup>k,l,m</sup>
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla Orgánica <sup>k,l,m,p</sup> Limo Orgánico <sup>k,l,m,q</sup>
Suelos altamente orgánicos		Principalmente materia inorgánica, de color oscuro y con olor orgánico		PT	Turba

<sup>a</sup> Basado en el material que pasa la malla de 75 mm (3 pulg).  
<sup>b</sup> Si la muestra de campo contiene guijarros o pedruscos, o ambos, añada al nombre de grupo estos detalles.  
<sup>c</sup> Las gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: GW-GM grava bien graduada con limo.  
<sup>d</sup> Las arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: SW-SM arena bien graduada con limo.  
<sup>e</sup>  $C_u = D_{60}/D_{10}$   $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$   
<sup>f</sup> Si el suelo contiene ≥15% de arena añada con arena al grupo.  
<sup>g</sup> Si los finos se clasifican como CL-ML, use el símbolo dual.  
<sup>h</sup> Si los finos son orgánicos añádelo al nombre de grupo.  
<sup>i</sup> Si el suelo contiene ≥15 % de grava añada con grava al grupo.  
<sup>j</sup> Si los límites de Atterberg se sitúan en el área sombreada, el suelo es una arcilla limosa CL-ML.  
<sup>k</sup> Si el suelo contiene 15 a 29% mayor de la malla N°200, añada con arena o con grava, el que sea predominante.  
<sup>l</sup> Si el suelo contiene ≥30% mayor de la malla N°200, predominantemente arena, añada "arenoso" al nombre de grupo.  
<sup>m</sup> Si el suelo contiene ≥30% mayor de la malla N°200, predominantemente grava, añada "gravoso" al nombre de grupo.  
<sup>n</sup> IP ≥ 4 y se grafica en o arriba de la línea A.  
<sup>o</sup> IP < 4 o se grafica debajo de la línea A.  
<sup>p</sup> IP se grafica en o arriba de la línea A.  
<sup>q</sup> IP se grafica debajo de la línea A.

Nota. fuente: (elaboración propia)

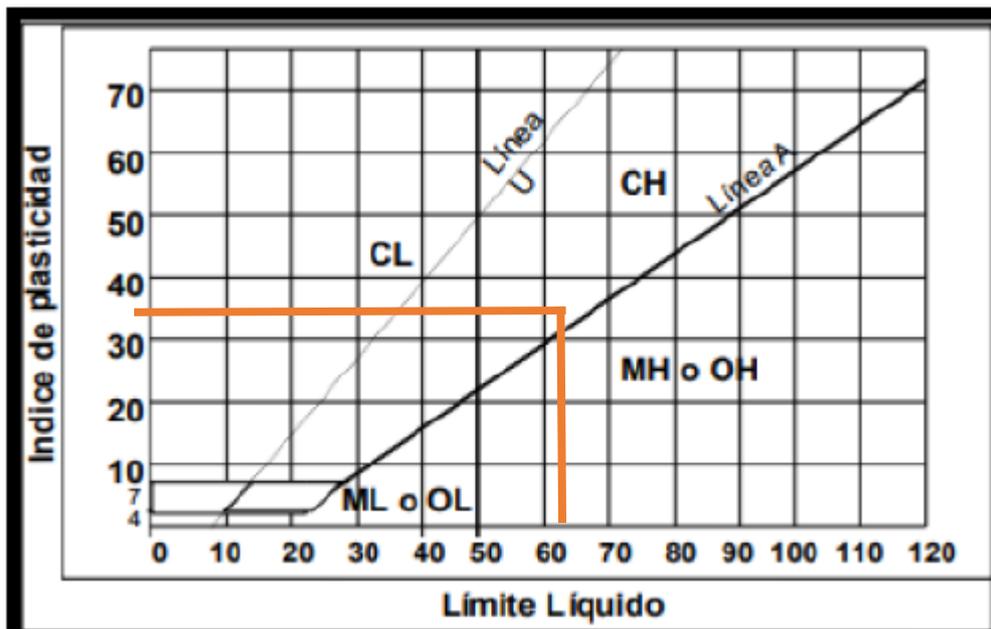
Figura 31. Diagrama de flujos para suelo CL



Nota. Fuente: (Das, 2015, pág. 86)

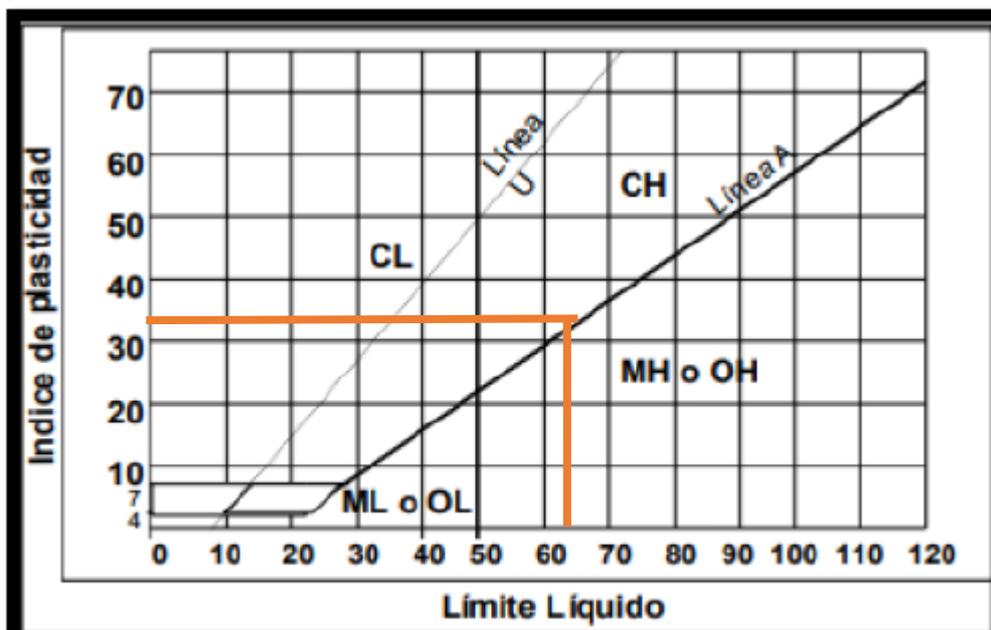
Para determinar el nombre del grupo nos referimos a la figura 31, donde el porcentaje que pasa por el tamiz número 200 es más de 30%. Porcentaje de grava = 0; porcentaje de arena > porcentaje de grava. El porcentaje de grava también es menos de 15%. Por lo tanto, el nombre del grupo es **arcilla mal graduada arenosa**

Figura 32. Clasificación SUCS Calicata n°3



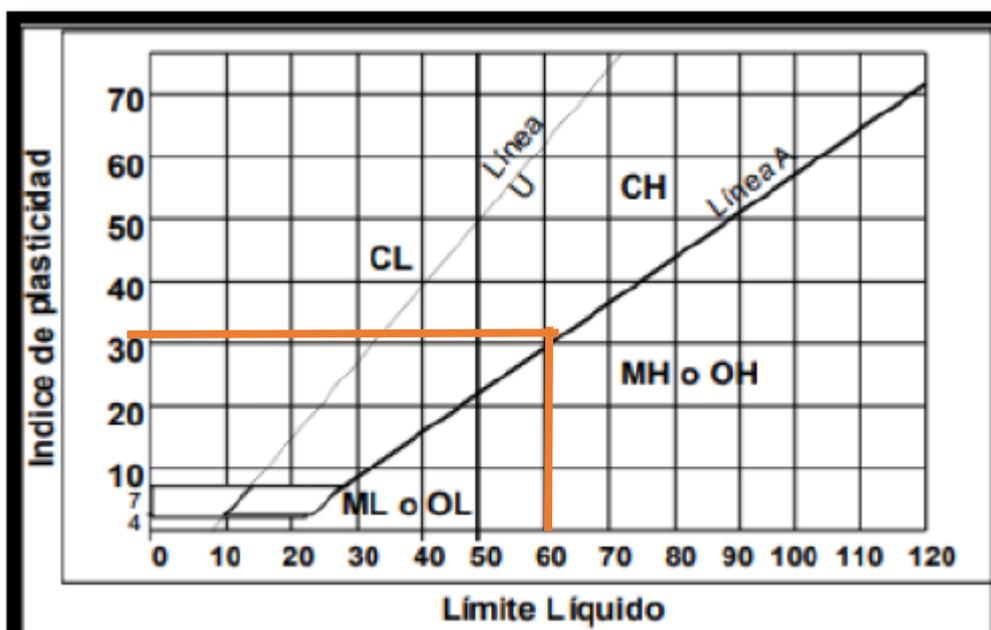
Nota. fuente: (elaboración propia)

Figura 33. Clasificación SUCS Calicata n°4



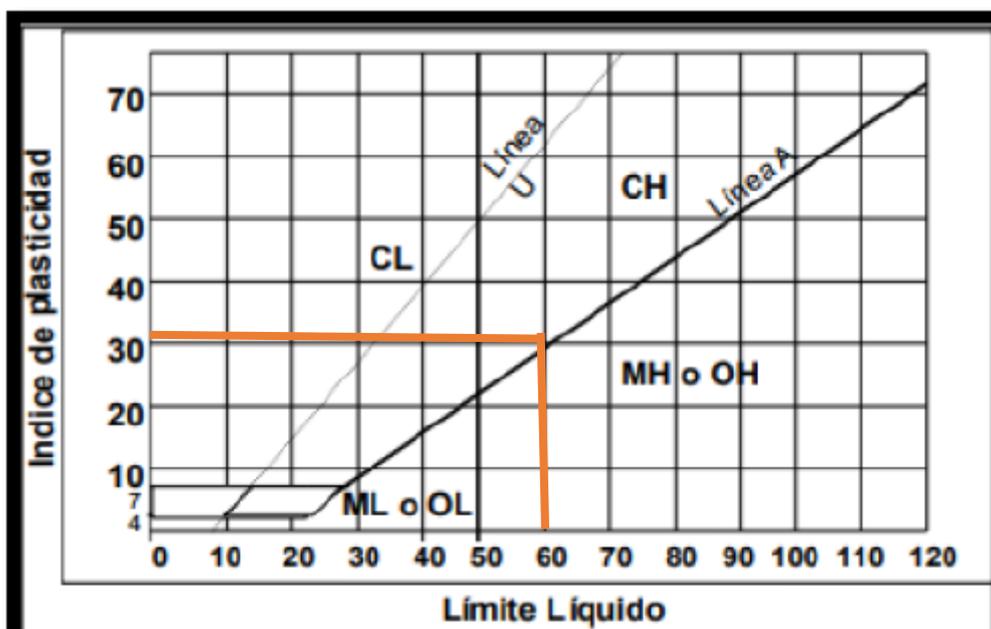
Nota. fuente: (elaboración propia)

Figura 34. Clasificación SUCS Calicata n°5



Nota. fuente: (elaboración propia)

Figura 35. Clasificación SUCS Calicata n°6



Nota. fuente: (elaboración propia)

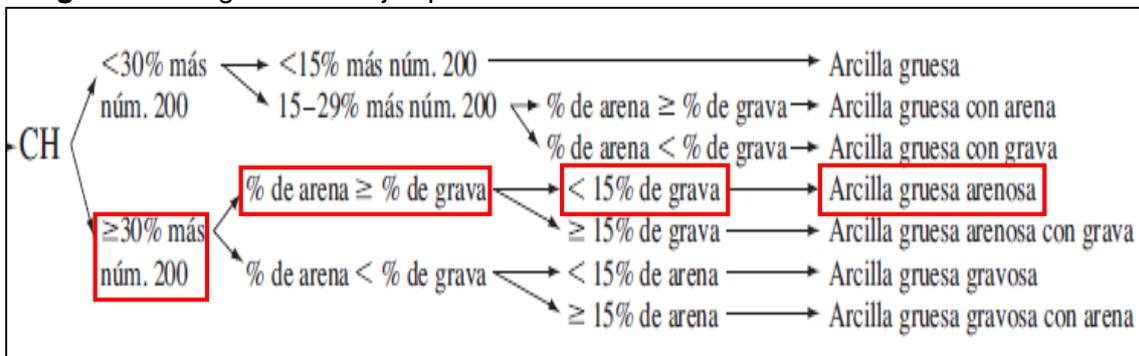
Figura 36. ubicación de calicata 3, 4, 5 y 6 para clasificación SUCS

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con el uso de pruebas de laboratorio <sup>a</sup>				Clasificación de suelos	
				Símbolo	Nombre de Grupo <sup>b</sup>
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % retenido en la malla N°200.	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4	Gravas Limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ <sup>g</sup>	GW	Grava bien graduada <sup>f</sup>
		Menos del 5% de finos <sup>g</sup>	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$ <sup>g</sup>	GP	Grava mal graduada <sup>f</sup>
		Gravas con finos	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa <sup>f,g,h</sup>
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Arenas Limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$ <sup>g</sup>	SW	Arena bien graduada <sup>f</sup>
		Menos del 5% de finos <sup>g</sup>	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$ <sup>g</sup>	SP	Arena mal graduada <sup>f</sup>
		Arenas con finos	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa <sup>f,g,h</sup>
	Más del 12% de finos <sup>g</sup>	Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena Arcillosa <sup>f,g,h</sup>	
Suelos de partículas finas El 50 % o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en o arriba de la línea <sup>1</sup> "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera) <sup>k,l,m</sup>
			IP < 4 y se grafica en o arriba de la línea <sup>1</sup> "A"	ML	Limo <sup>k,l,m</sup>
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OL	Arcilla Orgánica <sup>k,l,m,n</sup> Limo Orgánico <sup>k,l,m,o</sup>
	Limos y Arcillas Límite Líquido 50 o más	Inorgánicos	IP se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad <sup>k,l,m</sup>
			IP se grafica debajo de la línea "A"	MH	Limo Orgánico <sup>k,l,m</sup>
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla Orgánica <sup>k,l,m,p</sup> Limo Orgánico <sup>k,l,m,q</sup>
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia inorgánica, de color oscuro y con olor orgánico		PT	Turba	

<sup>a</sup> Basado en el material que pasa la malla de 75 mm (3 pulg)  
<sup>b</sup> Si la muestra de campo contiene guijarros o pedruscos, o ambos, añada al nombre de grupo estos detalles.  
<sup>c</sup> Las gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: GW-GM grava bien graduada con limo.  
<sup>d</sup> Las arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: SW-SM arena bien graduada con limo.  
<sup>e</sup>  $C_u = D_{60}/D_{10}$   $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$   
<sup>f</sup> Si el suelo contiene  $\geq 15\%$  de arena añadada con arena al grupo.  
<sup>g</sup> Si los finos se clasifican como CL-ML, use el símbolo dual.  
<sup>h</sup> Si los finos son orgánicos añadelo al nombre de grupo.  
<sup>i</sup> Si el suelo contiene  $\geq 15\%$  de grava añadada con grava al grupo.  
<sup>j</sup> Si los límites de Atterberg se sitúan en el área sombreada, el suelo es una arcilla limosa CL-ML.  
<sup>k</sup> Si el suelo contiene 15 a 29% mayor de la malla N°200, añadada con arena o con grava, el que sea predominante.  
<sup>l</sup> Si el suelo contiene  $\geq 30\%$  mayor de la malla N°200, predominantemente arena, añadada "arenoso" al nombre de grupo.  
<sup>m</sup> Si el suelo contiene  $\geq 30\%$  mayor de la malla N°200, predominantemente grava, añadada "gravoso" al nombre de grupo.  
<sup>n</sup> IP  $\geq 4$  y se grafica en o arriba de la línea A.  
<sup>o</sup> IP < 4 o se grafica debajo de la línea A.  
<sup>p</sup> IP se grafica en o arriba de la línea A.  
<sup>q</sup> IP se grafica debajo de la línea A.

Nota. fuente: (elaboración propia)

Figura 37. Diagrama de flujos para suelo CH



Nota. Fuente: (Das, 2015, pág. 86)

Para determinar el nombre del grupo nos referimos a la figura 37, donde el porcentaje que pasa por el tamiz número 200 es más de 30%. Porcentaje de grava = 0; porcentaje de arena > porcentaje de grava. El porcentaje de grava también es menos de 15%. Por lo tanto, el nombre del grupo es **arcilla gruesa arenosa**.

### 3.8. Análisis ANOVA

Como se pudo observar en la tabla 12, el material pasante por la malla número 200 después del lavado representa más del 99 % del total; esto mismo se repite en las seis calicatas mostrando una semejanza en la granulometría entre las mismas. Por otra parte, al realizar la clasificación AASHTO los suelos de las seis calicatas se clasifican como A-7-6 (suelo arcilloso) y según la clasificación SUCS los suelos de las calicatas 1 y 2 son semejantes clasificándose como CL (arcilla de baja plasticidad) y los suelos de las calicatas 3, 4, 5 y 6 son semejantes clasificándose como CH (arcilla de alta plasticidad). Así mismo, después del cálculo de los límites de Atterberg podemos ver una semejanza de las características plásticas entre las calicatas 1 y 2, y otra semejanza entre las calicatas 3, 4, 5 y 6 como podemos observar en las tablas 90, 91 y 92 ; para tener la certeza de la semejanza de los valores de los límites de Atterberg, realizamos un análisis ANOVA para tener un sustento estadístico, este análisis determinará si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos (calicatas), de ser así se realizará la comparación de Tukey para determinar entre que calicatas se encuentra la igualdad estadística y así poder elegir una calicata representativa del grupo para reducir costos y tiempo, este análisis estadístico justifica la reducción del tamaño de la muestra si se encuentra que no hay diferencias significativas. Para este análisis hacemos uso del programa Minitab 19.

#### **Análisis ANOVA con datos del límite líquido (tabla 90), utilizando el programa Minitab 19**

##### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

##### Información del factor

Factor 6 niveles C1; C2; C3; C4; C5; C6

### Análisis de Varianza

Factor, GL 5, SC Ajust. 0.169745, MC Ajust 0.033949, Valor F 229.50 Valor p 0.0

Error, GL 12, SC Ajust. 0.001775, MC Ajust 0.000148

Total, GL 17, SC Ajust 0.171520

### Resumen del modelo

R-cuad= 98.97%

R-cuad. (ajustado) = 98.53%

R-cuad. (pred)=97.67%

### Medias

C1,3: media = 0.42045, Desv.Est.= 0.00764

C2,3: media = 0.40175, Desv.Est.= 0.00644

C3,3: media = 0.63033, Desv.Est.= 0.01149

C4,3: media = 0.62546, Desv.Est.= 0.00269

C5,3: media = 0.60750, Desv.Est.= 0.00244

C6,3: media = 0.5991, Desv.Est.= 0.0254

*Desv.Est. agrupada = 0.0121625*

### Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C3,3: media = 0.63033, A

C4,3: media = 0.62546, A

C5,3: media = 0.60750, A

C6,3: media = 0.5991, A

C1,3: media = 0.42045, B

C2,3: media = 0.40175, B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y las que comparten misma letra son estadísticamente iguales*

## **Análisis ANOVA con datos del límite plástico (tabla 91), utilizando el programa Minitab 19**

### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor 6 niveles C1; C2; C3; C4; C5; C6

### Análisis de Varianza

Factor, GL 5, SC Ajust. 0.021501, MC Ajust 0.004300, Valor F 182.97 Valor p 0.0

Error, GL 12, SC Ajust. 0.007282, MC Ajust 0.000024

Total, GL 17, SC Ajust 0.021783

### Resumen del modelo

R-cuad= 98.71%

R-cuad. (ajustado) = 98.17%

R-cuad. (pred)=97.09%

### Medias

C1,3: media = 0.218996, Desv.Est.= 0.001706

C2,3: media = 0.22253, Desv.Est.= 0.00789

C3,3: media = 0.29163, Desv.Est.= 0.00212

C4,3: media = 0.29887, Desv.Est.= 0.00374

C5,3: media = 0.29741, Desv.Est.= 0.00486

C6,3: media = 0.28621, Desv.Est.= 0.00581

*Desv.Est. agrupada = 0.00484792*

### Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C4,3: media = 0.29887, A

C5,3: media = 0.29741, A

C3,3: media = 0.29163, A

C6,3: media = 0.28621, A

C2,3: media = 0.22253, B

C1,3: media = 0.218996, B

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y las que comparten misma letra son estadísticamente iguales*

Después de realizar el análisis ANOVA con datos de límite líquido y límite plástico se obtiene un p-valor  $< 0.05$  lo que indica que no todas las medias son iguales existiendo diferencias significativas, en ese sentido realizamos la comparación en parejas utilizando el método de Tukey con una confianza del 95%, determinando que las calicatas 1 y 2 son estadísticamente iguales (no hay diferencias significativas), se obtendrán resultados similares por tal motivo se trabajará con una calicata y se considera como arcilla de baja plasticidad (CL) según su clasificación SUCS y por el otro lado las calicatas 3, 4, 5 y 6 son estadísticamente iguales (no hay diferencias significativas), se obtendrán resultados similares por tal motivo se trabajará con una calicata y se considera como arcilla de alta plasticidad (CH) según su clasificación SUCS.

Para continuar con los ensayos y la investigación de la presente tesis se tomará en cuenta una calicata representativa: de los suelos CH (arcilla de alta plasticidad) será la calicata 6 y de los suelos CL (arcilla de baja plasticidad) será la calicata 1.

### 3.9. Procedimiento de recolección de datos.

#### 3.9.1. Análisis granulométrico de suelos por hidrómetro (MTC E109, 2016).

##### a. Equipos e instrumentos.

Los equipos e instrumentos utilizados son:

- Aparato agitador.
- Hidrómetro.
- Defloculante.
- Balanza, con sensibilidad a 0.01gr
- Tamiz N° 10.
- Probeta de 1000 ml.
- Pipeta.
- Agua destilada.
- Termómetro de inmersión.
- Cronometro.

**Figura 38.** Equipos e instrumentos del ensayo por hidrómetro



Nota. fuente: (elaboración propia)

##### b. Procedimiento.

- Para limos y arcillas el tamaño aproximado de la muestra debe ser de 50 a 60 gr. en peso seco.
- Se determina el peso específico de los sólidos.
- Colocar los 50 gr. de muestra de suelo en un recipiente y sobre este echar la mezcla del defloculante con agua destilada en una proporción de 40 gr/l. y dejar en remojo por el periodo de una noche.
- Después del remojo se debe transferir la muestra al vaso de dispersión y esta se colocará en el aparato agitador por el periodo de un minuto.

- Seguidamente transferimos la mezcla a la probeta de 1000 ml. y se llena con agua destilada hasta la marca donde se mide 1000 ml.
- Tapando con la palma de la mano se agita la probeta por un minuto para remover los sedimentos.
- Terminando el minuto de agitación, la probeta se coloca sobre una mesa, se pone en marcha el cronometro y se introduce lentamente el hidrómetro en la suspensión.
- Se debe observar y anotar las lecturas del hidrómetro al minuto y a los dos minutos, una vez terminado se retira el hidrómetro y se procede a medir la temperatura.
- Al termino de los dos minutos se vuelve a introducir el hidrómetro y se anotan las lecturas a los 5; 15; 30; 60; 120; 250 y 1440 minutos.
- Al finalizar debemos corregir las lecturas del hidrómetro. Para esto se debe determinar las correcciones por menisco, por defloculante y por temperatura.

**Figura 39.** Agitación de la muestra



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Figura 40.** Lectura del hidrómetro



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

## c. Toma de datos.

Tipo de densímetro	152-H
Lectura de 0 a 60 del densímetro (cm)	9.81
Lectura del densímetro por cada unidad de medida (cm)	0.16
Lectura desde 60 al borde extremo del budo del densímetro (cm)	14.75
Volumen del bulbo (cm <sup>3</sup> )	70
Distancia entre 70ml de agua (cm)	2.3
Área transversal de la probeta de sedimentación (cm <sup>2</sup> )	30.43

Corrección por menisco	Lectura por encima del menisco	2
	Lectura por debajo del menisco	3
<b>cm</b>		<b>1</b>
Corrección por defloculante	Lectura del densímetro sin agente defloculante	1.1
	Lectura del densímetro con agente defloculante	8
	<b>cd</b>	<b>6.9</b>

- Suelo CH (arcilla de alta plasticidad)

**Tabla 14.** Lecturas iniciales hidrómetro suelo CH

Tiempo	Lectura g/L			Temperatura °C		
	1	2	3	1	2	3
20 s	51	51.7	52	16.7	20.5	19
40 s	49	50	49.4	20	20.9	21
1 min	48.5	49.5	48.5	20.1	21.1	21.2
2 min	48.5	48.5	48	19.9	20.7	21.2
3 min	48	48	47	20.8	21.1	21.2

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 15.** Lecturas del hidrómetro suelo CH

Tiempo	Lectura g/L	Temperatura °C
4 min	47.5	21.2
8 min	46.5	21.5
15 min	44.5	21.7
30 min	42.5	22.2
60 min	39.5	23
120 min	35.5	24.5
180 min	33.5	25.5
1320 min	29.5	14.9
1579 min	27.5	18.4
1607 min	27.0	18.6

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL (arcilla de baja plasticidad)

**Tabla 16.** Lecturas iniciales hidrómetro suelo CL

Tiempo	Lectura g/L			Temperatura °C		
	1	2	3	1	2	3
20 s	52	53	52.5	18.1	17.9	19.3
40 s	51.5	52.5	52	18.3	18.4	18.9
1 min	51	51.5	51	18.3	18.5	18.8
2 min	49	49	48.5	18.2	18.4	18.9
3 min	47.5	48	47	18.1	18.5	19

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 17.** Lecturas del hidrómetro suelo CL

Tiempo	Lectura g/L	Temperatura °C
4 min	46.0	19
8 min	43.5	19
15 min	40.0	19.2
30 min	36.5	19.7
60 min	32.5	20.5
120 min	28.0	21.9
190 min	25.5	23.1
1397 min	20.0	18
1440 min	19.0	19.5

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

### 3.9.2. Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E110, 2016).

a. Equipos e instrumentos.

Los equipos e instrumentos utilizados son:

- Cuchara de Casagrande.
- Tamiz N° 40.
- Recipiente de porcelana.
- Acanalador.
- Probeta.
- Pipeta.
- Horno.
- Balanza, con sensibilidad a 0.01gr.
- Cápsulas.
- Espátula.

**Figura 41.** Equipos e instrumentos del ensayo límite líquido



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

b. Procedimiento.

- Secar la muestra para disgregarla con el mortero y hacerlo pasar por la malla N°40 para conseguir una muestra representativa de 150 gr a 200 gr.
- Con la ayuda de una espátula mezclar la muestra obtenida en un recipiente añadiendo gotas de agua para humedecer la mezcla.
- Colocar una porción pequeña de la muestra preparada en el medio de la copa presionándola, esparciéndola y nivelando con la ayuda de la espátula.
- Utilizar el acanalador pasándolo por medio de la copa para dividir la muestra, haciendo una ranura a través del suelo.
- Poner en funcionamiento la copa haciendo girar a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que la ranura se cierre en 13 mm.
- Después de cerrarse la ranura en 13mm. Anotar el número de golpes q fueron necesarios y extraer del medio una porción de muestra y suministrarla en una capsula para determinar el contenido de humedad.
- El remanente que se encuentra en la copa se regresa al recipiente y se vuelve a mezclar añadiendo agua repitiendo los pasos como mínimo 2 veces para obtener número de golpes más bajos para cerrar la ranura y se determinan sus contenidos de humedad.

**Figura 42.** Colocación de la muestra en la copa



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Figura 43.** cierre de ranura

Nota. fuente: (elaboración propia)

c. Toma de datos para limite líquido.

- Suelo CH (arcilla de alta plasticidad)

**Tabla 18.** Datos límite líquido de suelo CH – suelo solo

LIMITE LIQUIDO				
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CH - 1				
1	18	75.31	68.75	58.55
2	27	70.6	65.49	57.27
3	35	69	63.8	55.18
CH - 2				
1	19	77.63	70.32	59.04
2	29	77.89	70.54	58.75
3	36	77.91	70.54	58.23
CH - 3				
1	16	75.83	69.15	58.91
2	22	75.64	68.56	57.16
3	31	74.67	69.01	59.85

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 19.** Datos límite líquido de Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE LIQUIDO				
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CH + 5 % PVR -1				
1	14	72.48	66.82	58.17
2	22	69.39	64.51	56.57
3	35	67.59	63.08	55.47
CH + 5 % PVR -2				
1	16	68.07	64.15	57.90
2	24	65.2	61.34	54.94
3	32	73.02	68.03	59.48
CH + 5 % PVR -3				
1	15	67.90	63.27	56.07
2	23	65.02	60.80	53.87
3	34	67.93	63.34	55.53

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 20.** Datos límite líquido de Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE LIQUIDO				
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CH + 10 % PVR -1				
1	19	70.69	65.98	58.16
2	26	71.44	65.97	56.56
3	43	68.04	63.58	55.48
CH + 10 % PVR -2				
1	14	70.43	65.55	57.9
2	23	68.84	63.77	54.95
3	35	73.41	68.44	59.47
CH + 10 % PVR -3				
1	17	68.17	63.54	56.07
2	24	67.77	62.68	53.87
3	39	68.33	63.78	55.53

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 21.** Datos límite líquido de Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE LIQUIDO				
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CH + 15 % PVR -1				
1	13	68.67	62.87	53.82
2	27	74.52	69.21	59.44
3	36	74.7	70.21	61.39
CH + 15 % PVR -2				
1	14	72.47	66.98	58.24
2	24	66.17	61.28	52.57
3	28	75.26	69.43	59.03
CH + 15 % PVR -3				
1	14	68.18	62.73	54.14
2	26	67.97	63.04	54.11
3	32	72.44	67.46	58.17

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL (arcilla de baja plasticidad)

**Tabla 22.** Datos límite líquido de Suelo CL – suelo solo

LIMITE LIQUIDO				
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CL - 1				
1	19	77.15	72.79	62.57
2	24	71.96	67.81	57.83
3	30	81.49	75.20	59.87
CL - 2				
1	20	74.48	69.60	58.20
2	28	73.76	69.13	57.96
3	30	77.89	73.29	61.82
CL - 3				
1	22	76.45	70.46	56.75
2	27	78.50	72.76	59.14
3	36	76.40	71.72	60.19

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 23.** Datos límite líquido de Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE LIQUIDO				
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CL + 5 % PVR -1				
1	13	74.08	69.29	58.17
2	21	69.41	65.66	56.57
3	29	67.98	64.39	55.47
CL + 5 % PVR -2				
1	15	71.77	67.63	57.9
2	22	73.68	68.26	54.94
3	31	73.66	69.66	59.48
CL + 5 % PVR -3				
1	14	71.50	67.12	56.90
2	22	70.14	65.65	54.66
3	30	69.43	65.71	56.35

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 24.** Datos límite líquido de Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE LIQUIDO				
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CL + 10 % PVR -1				
1	13	74.26	69.88	59.4
2	21	74.76	70.98	61.37
3	29	65.57	62.3	53.83
CL + 10 % PVR -2				
1	12	69.59	64.57	52.52
2	20	72.68	68.86	58.98
3	32	74.35	69.9	58.23
CL + 10 % PVR -3				
1	13	69.83	65.27	54.33
2	20	71.57	67.88	58.42
3	31	67.92	64.17	54.40

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 25.** Datos límite líquido de Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE LIQUIDO				
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CL + 15 % PVR -1				
1	12	38.08	33.24	21.63
2	22	73.39	69.11	57.64
3	28	74.13	69.92	58.25
CL + 15 % PVR -2				
1	13	37.19	32.51	21.19
2	24	73.62	69.69	59.03
3	29	76.10	71.17	57.33
CL + 15 % PVR -3				
1	12	36.72	32.07	20.89
2	23	71.71	67.71	56.91
3	30	73.28	68.82	56.38

Nota. fuente: (elaboración propia)

### 3.9.3. Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad (MTC E111, 2016).

#### a. Equipos e instrumentos.

Los equipos e instrumentos utilizados son:

- Tamiz N° 40.
- Recipiente de porcelana.
- Probeta.
- Pipeta.
- Horno.
- Balanza, con sensibilidad a 0.01gr.
- Cápsulas.
- Espátula.
- Vidrio esmerilado.
- Varilla de 3 mm.

**Figura 44.** Instrumentos para el ensayo Límite plástico



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

b. Procedimiento.

- Se utiliza aproximadamente 20gr. del material preparado para el límite líquido, se toma en una etapa donde el material es fácil de moldear.
- Se coge la mitad y se moldea de manera elipsoidal en las palmas de las manos.
- Luego se coloca sobre el vidrio esmerilado y se procede a rodar usando los dedos de la mano ejerciendo una leve presión para así formar rollitos de forma cilíndrica.
- Estos rodillos deben llegar a un diámetro de 3.2mm repitiendo el procedimiento hasta que aparezcan grietas y se desmoronen.
- Se procede a colocar en la capsula hasta conseguir un peso de 6 gr. y así
- Determinar el contenido de humedad.
- Terminando se toma la otra mitad y se repite los pasos anteriores.

**Figura 45.** Formación de rollitos sobre el vidrio



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

c. Toma de datos.

- Suelo CH (arcilla de alta plasticidad)

**Tabla 26.** Datos límite plástico de Suelo CH – suelo solo

LIMITE PLASTICO			
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CH - 1			
1	66.7	65.47	61.31
2	62.46	61.1	56.72
CH - 2			
3	60.22	58.9	54.4
4	66.9	65.58	61.16
CH - 3			
5	62.86	61.74	58.06
6	63.16	61.66	56.50

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 27.** Datos límite plástico de Suelo CH + 5% de PVR

LIMITE PLASTICO			
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CH + 5 % PVR -1			
1	27.16	25.97	21.85
2	27.37	26.11	21.79
CH + 5 % PVR -2			
3	26.69	25.5	21.35
4	27.23	26.18	22.57
CH + 5 % PVR -3			
5	26.01	24.86	20.87
6	26.38	25.26	21.43

**Tabla 28.** Datos límite plástico de Suelo CH + 10% de PVR

LIMITE PLASTICO			
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CH + 10 % PVR -1			
1	27.48	26.25	21.61
2	25.93	24.87	21.18
CH + 10 % PVR -2			
1	26.98	25.84	21.66
2	27.05	25.83	21.67
CH + 10 % PVR -3			
5	20.17	19.29	16.09
6	19.62	18.78	15.77

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 29.** Datos límite plástico de Suelo CH + 15% de PVR

LIMITE PLASTICO			
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CH + 15 % PVR -1			
1	27.82	26.63	22.23
2	27.26	26.07	21.66
CH + 15 % PVR -2			
3	27.14	25.95	21.58
4	28.28	27.05	22.52
CH + 15 % PVR -3			
5	26.55	25.40	21.14
6	26.83	25.66	21.34

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL (arcilla de baja plasticidad)

**Tabla 30.** Datos límite plástico de Suelo CL – suelo solo

LIMITE PLASTICO			
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CL - 1			
1	27.35	26.33	21.69
2	26.93	25.98	21.69
CL - 2			
3	27.65	26.66	22.12
4	26.93	25.98	21.59
CL - 3			
5	64.63	63.61	58.94
6	62.98	61.96	57.32

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 31.** Datos límite plástico de Suelo CL + 5% de PVR

LIMITE PLASTICO			
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CL + 5 % PVR -1			
1	61.19	60.18	55.45
2	65.31	64.26	59.29

CL + 5 % PVR -2			
3	62.39	61.34	56.43
4	60.72	59.64	54.51
CL + 5 % PVR -3			
1	60.58	59.57	54.84
2	61.78	60.74	55.87

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 32.** Datos límite plástico de Suelo CL + 10% de PVR

LIMITE PLASTICO			
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CL + 10 % PVR -1			
1	63.88	62.81	57.87
2	64.06	63.1	58.13
CL + 10 % PVR -2			
3	67.26	66.22	61.19
4	59.76	58.71	53.62
CL + 10 % PVR -3			
5	63.66	62.64	57.80
6	60.11	59.13	54.31

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 33.** Datos límite plástico de Suelo CL + 15% de PVR

LIMITE PLASTICO			
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso de la cápsula (gr)
CL + 15 % PVR -1			
1	64.01	63.01	58.01
2	64.78	63.83	58.97
CL + 15 % PVR -2			
3	65.22	64.26	59.39
4	58.37	57.39	52.49
CL + 15 % PVR -3			
5	63.04	62.08	57.18
6	60.07	59.13	54.34

Nota. fuente: (elaboración propia)

### 3.9.4. Ensayo de Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado) (MTC E115, 2016).

Método A: utilizamos el método A debido a que el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4

#### a. Equipos e instrumentos.

Los equipos e instrumentos utilizados son:

- Molde de 4”
- Pisón manual.
- Horno.
- Balanza, con sensibilidad a 1 gr.
- Tamiz N° 4.
- Probeta.
- Pipeta.
- Cápsulas.
- Enrasador.
- Cuchillo.
- Recipientes.

**Figura 46.** Instrumentos para el ensayo de proctor modificado



Nota. fuente: (elaboración propia)

b. Procedimiento.

- Preparar mínimo 4 muestras de 2.3 kg. De material para ser compactado.
- Mezclar uniformemente añadiendo agua constante para cada muestra.
- Ensamblar y asegurar el molde y el collarín sobre la base. Pesar molde más base.
- Colocar el material dentro del molde y comenzar con la compactación en toda el área de manera helicoidal, esto se realizará en 5 capas con 25 golpes en cada una.
- Una vez concluida la quinta capa, se remueve el collarín y se empieza a enrasar al borde del molde.
- Seguidamente pesar el molde más base junto con la muestra.
- Remover el suelo del molde y extraer material para ser colocado en las capsulas.
- Llevar las cápsulas al horno y así determinar el contenido de humedad.
- Repetir el procedimiento para las otras muestras con diferentes porcentajes de humedad.

**Figura 47.** Compactación de material de forma helicoidal



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

## c. Toma de datos.

- Suelo CH

**Tabla 34.** Datos proctor modificado de Suelo CH – suelo solo-1

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3853.59	3967.33	3932.67	3881.57				
Peso molde	gr	2032.43	2032.43	2032.43	2032.43				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	103.99	107.34	96.38	99.88	109.11	119.01	118.32	116.39
Peso suelo seco + cápsula	gr	96.53	99.70	89.63	92.09	98.19	106.99	104.77	102.89
Cápsula	gr	57.24	57.92	58.96	57.70	54.95	61.19	57.57	57.53
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 35.** Datos proctor modificado de Suelo CH – suelo solo-2

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3829.41	3955.36	3926.61	3880.31				
Peso molde	gr	2032.08	2032.08	2032.08	2032.08				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	108.45	96.14	83.81	86.11	99.49	98.72	101.96	108.99
Peso suelo seco + cápsula	gr	101	89.26	79.53	81.68	91.35	90.21	92.47	97.70
Cápsula	gr	59.05	56.56	59.69	61.42	59.49	57.33	58.28	58.29
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 36.** Datos proctor modificado de Suelo CH – suelo solo-3

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3870.13	3972.4	3953	3887.97				
Peso molde	gr	2032.08	2032.08	2032.08	2032.08				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	83.86	85.66	82.56	98.70	92.38	95.50	99.53	98.26
Peso suelo seco + cápsula	gr	79.62	81.13	77.92	91.94	86.64	88.04	90.25	89.81
Cápsula	gr	57.84	58.60	57.64	61.05	62.73	58.38	58.40	60.27
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 37.** Datos proctor modificado de Suelo CH + 5% de PVR– 1

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3765.24	3866.00	3921.59	3904.50				
Peso molde	gr	1989.75	1989.75	1989.75	1989.75				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	84.83	91.96	97.10	84.59	94.00	97.55	106.53	95.99
Peso suelo seco + cápsula	gr	81.46	88.38	90.96	80.47	88.84	90.89	96.87	88.59
Cápsula	gr	57.77	63.14	56.80	57.69	65.15	57.35	58.13	57.76
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 38.** Datos proctor modificado de Suelo CH + 5% de PVR– 2

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3856.09	3920.92	3942.88	3864.90				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	102.66	113.37	96.47	91.26	102.26	91.16	103.44	117.83
Peso suelo seco + cápsula	gr	96.72	105.37	90.21	85.94	94.35	84.91	93.85	105.78
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	54.69	57.34	58.13	58.50	59.40
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 39.** Datos proctor modificado de Suelo CH + 5% de PVR – 3

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3805.19	3913.03	3951.99	3904.22				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	95.17	104.23	98.26	89.26	99.62	95.79	106.58	108.54
Peso suelo seco + cápsula	gr	90.68	98.40	91.96	84.47	92.99	89.24	96.81	98.66
Cápsula	gr	58.65	61.40	57.66	57.05	62.18	58.62	59.20	59.47
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 40.** Datos proctor modificado de Suelo CH + 10% de PVR – 1

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3831.65	3986.18	3970.38	3889.61				
Peso molde	gr	2031.41	2031.41	2031.41	2031.41				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	100.81	98.62	98.89	90.58	89.18	104.14	95.49	113.91
Peso suelo seco + cápsula	gr	95.30	94.17	92.42	85.37	83.54	96.29	88.01	102.80
Cápsula	gr	57.78	63.13	56.79	57.69	58.50	59.40	59.58	60.15
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 41.** Datos proctor modificado de Suelo CH + 10% de PVR – 2

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3843.08	3969.19	3992.64	3938.24				
Peso molde	gr	2031.41	2031.41	2031.41	2031.41				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	93.52	82.67	91.68	92.54	103.97	93.75	106.36	109.69
Peso suelo seco + cápsula	gr	89.87	79.79	86.72	87.36	95.75	87.14	97.02	99.68
Cápsula	gr	65.14	57.34	58.13	57.76	58.44	57.82	60.42	61.34
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 42.** Datos proctor modificado de Suelo CH + 10% de PVR – 3

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3840.63	3981.16	3984.99	3917.30				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	106.61	107.18	102.43	94.44	106.02	107.32	108.61	124.01
Peso suelo seco + cápsula	gr	101.11	102.02	96.37	89.71	98.51	100.04	99.66	112.02
Cápsula	gr	64.91	67.12	63.12	64.11	63.89	65.75	65.61	66.44
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 43.** Datos proctor modificado de Suelo CH + 15% de PVR – 1

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3840.49	3946.29	3953.94	3924.19				
Peso molde	gr	2031.20	2031.20	2031.20	2031.20				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	105.53	87.66	95.02	84.94	91.06	96.49	92.64	116.72
Peso suelo seco + cápsula	gr	99.95	84.23	89.28	80.8	84.96	90.01	85.75	105.8
Cápsula	gr	59.64	58.26	57.40	58.28	57.08	59.54	59.10	60.03
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 44.** Datos proctor modificado de Suelo CH + 15% de PVR – 2

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3831.76	3953.84	3942.38	3894.98				
Peso molde	gr	2031.20	2031.20	2031.20	2031.20				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	103.53	86.00	93.22	83.33	89.34	94.66	90.88	114.51
Peso suelo seco + cápsula	gr	97.97	82.56	87.51	79.20	83.28	88.23	84.05	103.70
Cápsula	gr	58.46	57.10	56.26	57.12	55.94	58.36	57.92	58.85
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 45.** Datos proctor modificado de Suelo CH + 15% de PVR – 3

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3836.13	3950.07	3948.16	3909.59				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	106.12	88.15	95.55	85.42	91.57	97.03	93.16	117.38
Peso suelo seco + cápsula	gr	100.47	84.66	89.74	81.22	85.40	90.48	86.19	106.35
Cápsula	gr	59.95	58.56	57.70	58.58	57.37	59.85	59.40	60.35
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL

**Tabla 46.** Datos proctor modificado de Suelo CL – suelo solo-1

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3909.54	4023.75	4017.04	3942.66				
Peso molde	gr	2032.43	2032.43	2032.43	2032.43				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	85.72	87.39	102.43	94.31	99.03	104.24	128.72	122.88
Peso suelo seco + cápsula	gr	82.62	84.40	96.90	89.42	92.45	97.23	115.42	111.49
Cápsula	gr	57.57	57.57	59.43	56.94	56.31	60.06	57.56	57.51
Volumen de molde	cm3	939.70							

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 47.** Datos proctor modificado de Suelo CL – suelo solo-2

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3936.49	4034.10	4012.95	3917.82				
Peso molde	gr	2032.08	2032.08	2032.08	2032.08				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	91.00	90.31	111.82	97.65	106.12	102.05	127.25	121.49
Peso suelo seco + cápsula	gr	87.34	86.91	105.19	91.79	98.58	95.11	113.68	109.89
Cápsula	gr	57.22	57.90	61.18	54.93	57.66	58.95	57.55	57.52
Volumen de molde	cm3	939.70							

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 48.** Datos proctor modificado de Suelo CL – suelo solo-3

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3882.58	4013.40	4021.13	3967.49				
Peso molde	gr	2031.97	2031.97	2031.97	2031.97				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	80.44	84.47	93.04	90.96	91.93	106.42	130.19	124.26
Peso suelo seco + cápsula	gr	77.89	81.88	88.60	87.05	86.31	99.34	117.16	113.09
Cápsula	gr	57.92	57.23	57.68	58.94	54.96	61.17	57.57	57.50
Volumen de molde	cm3	939.70							

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 49.** Datos proctor modificado de Suelo CL + 5% de PVR – 1

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3849.02	3984.49	4058.47	3986.82				
Peso molde	gr	2031.21	2031.21	2031.21	2031.21				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	87.76	101.03	89.23	90.74	108.92	109.39	116.49	117.57
Peso suelo seco + cápsula	gr	85.44	97.89	85.51	87.53	102.04	102.08	106.90	107.90
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	57.69	57.34	58.13	58.50	59.40
Volumen de molde	cm3	939.7							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 50.** Datos proctor modificado de Suelo CL + 5% de PVR – 2

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3931.72	4048.43	4009.59	3921.28				
Peso molde	gr	2031.16	2031.16	2031.16	2031.16				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	89.09	89.00	110.92	89.14	115.70	107.97	109.25	109.61
Peso suelo seco + cápsula	gr	86.25	85.48	102.88	85.03	100.42	106.85	99.68	100.08
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	57.69	57.34	58.13	58.50	59.40
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 51.** Datos proctor modificado de Suelo CL + 5% de PVR – 3

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3904.92	4031.64	4049.30	3968.92				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	89.72	96.41	101.55	91.26	113.97	110.29	114.54	115.27
Peso suelo seco + cápsula	gr	87.15	93.08	95.63	87.59	102.77	106.06	104.86	105.57
Cápsula	gr	58.66	58.70	57.65	58.57	58.21	59.02	59.39	60.30
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 52.** Datos proctor modificado de Suelo CL + 10% de PVR – 1

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3927.11	4083.67	4063.45	3995.19				
Peso molde	gr	2031.04	2031.04	2031.04	2031.04				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	81.24	91.77	85.73	93.11	95.03	101.86	110.80	98.80
Peso suelo seco + cápsula	gr	78.74	89.25	82.04	89.01	89.62	95.38	101.38	91.57
Cápsula	gr	54.83	63.13	57.37	57.93	57.78	57.82	56.79	57.69
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 53.** Datos proctor modificado de Suelo CL + 10% de PVR – 2

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3922.93	4082.06	4060.66	3990.21				
Peso molde	gr	2031.16	2031.16	2031.16	2031.16				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	92.40	84.51	96.19	96.14	96.85	90.59	115.92	108.29
Peso suelo seco + cápsula	gr	89.44	82.14	91.60	91.56	91.29	85.93	105.46	99.31
Cápsula	gr	58.08	57.93	58.06	58.35	58.50	59.40	57.34	58.13
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 54.** Datos proctor modificado de Suelo CL + 10% de PVR – 3

prueba n°		1	2	3	4				
Peso suelo + molde	gr	3925.02	4082.87	4062.06	3992.70				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	88.14	89.48	92.35	96.07	97.40	97.69	115.09	105.12
Peso suelo seco + cápsula	gr	85.37	87.00	88.14	91.66	91.83	92.04	104.99	96.89
Cápsula	gr	57.31	61.45	58.59	59.03	59.03	59.50	57.93	58.79
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 55.** Datos proctor modificado de Suelo CL + 15% de PVR – 1

prueba n°		1		2		3		4	
Peso suelo + molde	gr	3934.43		4051.74		4012.93		3934.21	
Peso molde	gr	2031.79		2031.79		2031.79		2031.79	
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	81.28	80.11	80.14	88.21	101.82	86.13	104.65	101.32
Peso suelo seco + cápsula	gr	79.20	78.28	77.43	84.49	95.39	81.84	96.73	93.68
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	57.69	58.50	59.40	57.34	58.13
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 56.** Datos proctor modificado de Suelo CL + 15% de PVR – 2

prueba n°		1		2		3		4	
Peso suelo + molde	gr	3967.14		4052.77		4032.11		3965.50	
Peso molde	gr	2031.71		2031.71		2031.71		2031.71	
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	80.10	85.63	85.88	85.34	86.46	95.76	111.33	98.56
Peso suelo seco + cápsula	gr	77.95	83.20	82.56	81.94	82.52	90.33	101.86	91.97
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	57.69	58.50	59.40	57.34	58.13
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 57.** Datos proctor modificado de Suelo CL + 15% de PVR – 3

prueba n°		1		2		3		4	
Peso suelo + molde	gr	3955.79		4057.26		4027.52		3954.86	
Peso molde	gr	2031.25		2031.25		2031.25		2031.25	
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	81.92	84.13	84.27	88.10	95.57	92.33	109.63	101.46
Peso suelo seco + cápsula	gr	79.77	81.97	81.21	84.48	90.31	87.40	100.81	94.24
Cápsula	gr	58.66	58.70	57.65	58.57	59.39	60.30	58.21	59.02
Volumen de molde	cm3	939.70							

Nota. fuente: (elaboración propia)

### 3.9.5. Ensayo de CBR de suelos en laboratorio (MTC E132, 2016).

#### a. Equipos e instrumentos.

Los equipos e instrumentos utilizados son:

- Prensa para forzar la penetración.
- Molde de CBR.
- Disco espaciador.
- Pisón de compactación.
- Deformímetro.
- Pesas.
- Balanza.
- Tamiz N° 4.
- Probeta.
- Pipeta.
- Cápsulas.
- Enrasador.
- Cuchillo.
- Recipientes.

**Figura 48.** Instrumentos para el ensayo de CBR



Nota. fuente: (elaboración propia)

b. Procedimiento.

- Primeramente, se debe desarrollar el ensayo de compactación para determinar la densidad máxima y la humedad óptima.
- Se prepara aproximadamente 15 kg de material con la humedad óptima para los tres moldes.
- Seguidamente se pesa el molde con su base, se ensambla el collarín y se coloca el disco espaciador y sobre este se pone papel filtro.
- Se comienza a compactar con diferentes energías de compactación de 55, 26 y 12 golpes por cada capa, en total se compactan cinco capas abarcando toda el área de manera helicoidal.
- Se retira el collarín y se procede a enrasar a nivel del molde, una vez terminado se desajusta el molde y se le da vuelta para poder retirar el disco espaciador, se vuelve ajustar y se pesa.
- Se colocan las placas perforadas con vástago y encima de esta los anillos necesarios para completar la sobrecarga.
- Se toma la primera medida de expansión colocando el trípode en el borde del molde y se hace coincidir el vástago con el dial de deformación.
- Se sumergen los tres moldes de CBR dentro de una poza de agua para que se sature durante cuatro días y se registra la expansión de los tres moldes a una misma hora en los cuatro días.
- Culminado el periodo de inmersión se saca los moldes de la poza y se vierte el agua por un periodo de 15 minutos y de ahí se procede a pesar.
- Se procede a colocar el molde sobre la base de la prensa haciendo coincidir el pistón de penetración en el centro de la muestra.
- El dial de deformación y el dial de indicador de presión de anillo de carga se colocan en cero y se procede a aplicar la carga a una velocidad de 1.27 mm por minuto.
- Anotamos las lecturas de presiones a 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.200, 0.300, 0.400 y 0.500 pulgadas de penetración.
- Para terminar, se desmonta el molde y se extrae material cercano a donde se hizo la penetración para determinar el contenido de humedad.

**Figura 49.** Inmersión de moldes de CBR en poza de agua



Nota. fuente: (elaboración propia)

**Figura 50.** Penetración de moldes de CBR



Nota. fuente: (elaboración propia)

c. Toma de datos.

- Suelo CH (arcilla de alta plasticidad)

**Tabla 58.** Datos de CBR de Suelo CH – suelo solo – 1

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	21.5		21.5		21.5	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11055.8		10560		11627	
Peso del molde (gr)	7067		6367.5		7119	
Peso del suelo húmedo (gr)	3988.8		4192.5		4508	
Diámetro del molde	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde	12.70		12.80		12.60	
Volumen del molde	2304.52		2322.67		2286.38	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.3	86.17	80.94	80.86	84.33	79.73
Peso suelo seco + cápsula (gr)	80.5	81.79	76.71	77.75	80.2	75.91
Cápsula (gr)	58.47	63.25	58.44	63.33	61.98	57.26

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.0	0.00
185.0	160.0	123.0
276.5	224.0	164.0
402.0	355.0	278.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
0.5	1	1.5
2	3	4.5
2.5	4	7
3	5	9
3.5	6	10.5
4	7	12.5
4.5	8	15
5	9.5	20
5.2	11	24
5.7	12	27

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 59.** Datos de CBR de Suelo CH – suelo solo – 2

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	22		22		22	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11060		10605		11694	
Peso del molde (gr)	7061		6365		7118	
Peso del suelo húmedo (gr)	3999		4240		4576	
Diámetro del molde	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde	12.70		12.80		12.60	
Volumen del molde	2304.52		2322.67		2286.38	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	88.66	88.61	75.51	83.71	82.17	79.26
Peso suelo seco + cápsula (gr)	82.83	83.42	72.22	78.94	78.41	75.64
Cápsula (gr)	57.17	59.55	57.72	57.32	61.54	59.02

Ensayo de expansión			Ensayo de penetración		
DIAL (0.001")			DIAL (0.0001")		
12	25	56	12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00	0	0	0
192.0	175.0	121.0	0.5	0.8	2
407.0	366.0	282.0	2	2.7	5.5
			2.5	4.2	8
			3	5.5	10
			3.3	6.5	12
			3.7	7.2	13.5
			4	8.5	16
			5	11	21
			5.3	13	25
			5.8	15	28

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 60.** Datos de CBR de Suelo CH – suelo solo – 3

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	21.9	21.9	21.9			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11058	10583	11686			
Peso del molde (gr)	7064	6366	7119			
Peso del suelo húmedo (gr)	3993.9	4216.25	4567			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.70	12.80	12.60			
Volumen del molde	2304.52	2322.67	2286.38			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	86.98	87.39	78.23	82.29	83.25	79.50
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.77	82.69	74.61	78.35	79.37	75.77
Cápsula (gr)	57.82	61.40	58.08	60.33	61.76	58.14

Ensayo de expansión			Ensayo de penetración		
DIAL (0.001")			DIAL (0.0001")		
12	25	56	12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00	0	0	0
178.0	170.0	115.0	0.7	1.3	2
410.0	370.0	290.0	2	3.1	5
			3	4.5	8
			4	5	9.8
			5	6	12
			6	6.7	13.5
			7	8.2	15
			8	10	19
			9	12	23
			10	14	26

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 61.** Datos de CBR de Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado-1

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	20.1	20.1	20.1			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11066	10591	11629			
Peso del molde (gr)	7061	6371	7116.5			
Peso del suelo húmedo (gr)	4005	4220	4512.5			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.70	12.80	12.60			
Volumen del molde	2304.52	2322.67	2286.38			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	87.87	81.04	89.96	84.76	85.04	90.2
Peso suelo seco + cápsula (gr)	82.77	76.94	84.82	80.38	80.6	84.96
Cápsula (gr)	57.15	57.99	59.03	58.17	57.28	59.28

Ensayo de expansión			Ensayo de penetración		
DIAL (0.001")			DIAL (0.0001")		
12	25	56	12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00	0	0	0
362.0	303.0	231.0	1.5	1.8	1
371.0	315.0	243.0	3	4.5	6
			4	6	9.5
			5	7.5	12
			5.5	9	14
			6	10	15.5
			7	11	18
			7.8	13	22
			8.5	15	26.5
			10	17	30

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 62.** Datos de CBR de Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado-2

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	19	19	19			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11071	10600	11675			
Peso del molde (gr)	7119	6371	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3952	4229	4608			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	84.15	84.82	88.73	80.33	74.17	73.5
Peso suelo seco + cápsula (gr)	79.91	80.62	83.9	76.2	71.67	70.76
Cápsula (gr)	57.88	58.75	59.54	53.7	58.52	56.54

Ensayo de expansión			Ensayo de penetración		
DIAL (0.001")			DIAL (0.0001")		
12	25	56	12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00	0	0	0
351.0	296.0	221.0	1	2	4
364.0	307.0	233.0	3.5	5.5	8
			5	7	10.5
			6	8.5	12.5
			7	9.5	14.5
			7.5	10.5	16
			8	12	18.5
			9	14	22.5
			10	16	26
			11	18	30.5

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 63.** Datos de CBR de Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado-3

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	19.1	19.1	19.1			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10987	10548	11650			
Peso del molde (gr)	7061	6371	7116.5			
Peso del suelo húmedo (gr)	3926	4177	4533.5			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.70	12.80	12.60			
Volumen del molde	2304.52	2322.67	2286.38			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.58	82.22	88.68	82.19	79.21	81.26
Peso suelo seco + cápsula (gr)	80.94	78.39	83.94	77.9	75.76	77.47
Cápsula (gr)	57.23	58.08	58.99	55.66	57.61	57.62

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
367.0	308.0	236.0
376.0	320.0	248.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1	2.5	3.5
3	4.5	7
4.5	6.5	10
5.5	8	12
6	8.5	13.5
6.5	9.5	15
7	10.5	17.5
7.8	13	22.5
9.1	15	27
10.5	17	31

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 64.** Datos de CBR de Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado-1

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	18	18	18			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11139	10650	11712			
Peso del molde (gr)	7119	6371	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	4020	4279	4645			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	78.54	75.06	76.91	73.92	74.26	79.79
Peso suelo seco + cápsula (gr)	75.64	72.56	73.95	71.66	72.41	76.56
Cápsula (gr)	59.59	58.74	57.83	58.9	62.3	58.69

Ensayo de expansión			Ensayo de penetración		
DIAL (0.001")			DIAL (0.0001")		
12	25	56	12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00	0	0	0
195.0	154.0	85.0	1.5	3	4
254.0	198.0	125.0	4	7	11.5
264.0	208.0	136.0	6.5	11	16
			8	14	19.5
			8.5	15.5	23
			9	16.5	25.5
			10	18	29
			11	20	31
			12.5	21.5	33
			15	23	35.5

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 65.** Datos de CBR de Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado-2

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	17.9	17.9	17.9			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11089	10674	11658			
Peso del molde (gr)	7119	6371	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3970	4303	4591			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	84.44	72.86	83.42	72.18	69.72	67.62
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.23	70.68	79.45	70.14	67.85	65.58
Cápsula (gr)	63.13	58.71	57.22	58.79	57.25	54.29

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
201.0	138.0	72.0
219.0	164.0	93.0
271.0	215.0	143.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1.7	3	5
3.5	7	13
5.5	10	16.5
7	12.5	20
8	14	22
8.5	15.5	24
9	17	27.5
10.5	18.5	30
12	20	32
14	22	34.5

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 66.** Datos de CBR de Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado-3

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	18.2	18.2	18.2			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11116	10653	11695			
Peso del molde (gr)	7119	6371	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3997	4282	4628			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	84.54	72.91	83.48	72.24	69.8	67.62
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.23	70.68	79.45	70.14	67.85	65.58
Cápsula (gr)	63.13	58.71	57.22	58.79	57.25	54.29

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
206.0	145.0	78.0
226.0	170.0	98.0
276.0	220.0	148.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1	2.5	3
3.5	7	11
6	10	16
7.5	13	19
8	14.5	22
8.5	15.5	25
9.5	17.5	28
10.5	19	30
12	20	32
14	21.5	34.5

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 67.** Datos de CBR de Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado-1

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	17	17	17			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10361	11256	11590			
Peso del molde (gr)	6371	7119	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3990	4137	4523			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.80	12.60	12.70			
Volumen del molde	2322.67	2286.38	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	76.58	110.15	85.87	83.67	81.24	90.01
Peso suelo seco + cápsula (gr)	73.74	103.16	82.57	79.39	78.53	86.03
Cápsula (gr)	57.02	62.29	62.69	54.71	62.49	62.55

Ensayo de expansión			Ensayo de penetración		
DIAL (0.001")			DIAL (0.0001")		
12	25	56	12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00	0	0	0
168.0	118.0	49.0	1	2	3.5
195.0	142.0	72.0	4	6.5	10
246.0	195.0	115.0	5.5	9	14
			6.5	11	16.5
			7	12	19
			7.5	13	20.5
			8	14.5	23
			9	16	25.5
			10	17	28
			12	19	31

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 68.** Datos de CBR de Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado-2

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	17	17	17			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10335.5	11244	11607			
Peso del molde (gr)	6371	7119	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3964.5	4125	4540			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.80	12.60	12.70			
Volumen del molde	2322.67	2286.38	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	76.91	91.45	83.85	76.14	78.05	77.25
Peso suelo seco + cápsula (gr)	74.14	86.94	80.73	72.95	75.48	74.48
Cápsula (gr)	57.86	60.57	62.15	54.23	60.34	58.35

Ensayo de expansión			Ensayo de penetración		
DIAL (0.001")			DIAL (0.0001")		
12	25	56	12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00	0	0	0
173.0	123.0	47.0	1.2	2.5	3
190.0	137.0	74.0	4.5	6	9.5
248.0	197.0	112.0	6	9.5	13.5
			7	11.5	16
			7.5	13	18.5
			8	14	21
			8.5	15	23.5
			9.5	16.5	26
			11	18	28.5
			12.5	19.5	32

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 69.** Datos de CBR de Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado-3

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	17.1	17.1	17.1			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10310	11281	11624			
Peso del molde (gr)	6371	7119	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3939	4162	4557			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.80	12.60	12.70			
Volumen del molde	2322.67	2286.38	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	77.16	72.75	81.88	68.66	74.86	64.43
Peso suelo seco + cápsula (gr)	74.54	70.71	78.89	66.5	72.42	62.92
Cápsula (gr)	58.70	58.84	61.61	53.74	58.18	54.15

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
161.0	111.0	42.0
187.0	136.0	66.0
239.0	189.0	108.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1.5	2	4
4	7	10
6	10	14
6.8	11.5	16
7	12	18
7.2	13	20
7.5	14	22
9	16	25
11	17.5	27.8
13	20	31.5

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL (arcilla de baja plasticidad)

**Tabla 70.** Datos de CBR de Suelo CL – suelo solo-1

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	15	15	15			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11121	10789	11916			
Peso del molde (gr)	7060	6371	7117			
Peso del suelo húmedo (gr)	4061	4418	4799			
Diámetro del molde	15.30	15.20	15.20			
Altura del molde	12.50	12.60	12.50			
Volumen del molde	2298.17	2286.38	2268.23			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	98.89	96.73	101.15	95.75	102.58	97.49
Peso suelo seco + cápsula (gr)	93.62	91.83	95.44	90.63	97.02	92.35
Cápsula (gr)	58.94	59.51	57.07	56.30	59.91	58.07

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.0	0.0	0.0
333.0	238.0	214.0
341.0	258.0	223.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
0.8	1.5	2
2.1	4	7.5
3.2	5.5	10
3.8	7.2	11.5
4.5	9	13
5	10	1
5.5	11	17
6	12.5	22.5
7	14	27
8	16	30

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 71.** Datos de CBR de Suelo CL – suelo solo-2

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	14.7		14.7		14.7	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11103		11570		11708	
Peso del molde (gr)	7042		7150		6865	
Peso del suelo húmedo (gr)	4061		4420		4843	
Diámetro del molde	15.30		15.20		15.20	
Altura del molde	12.50		12.60		12.50	
Volumen del molde	2298.17		2286.38		2268.23	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	92.07	89.88	101.5	92.63	98.33	90.32
Peso suelo seco + cápsula (gr)	87.56	85.99	95.87	88.15	93.62	86.29
Cápsula (gr)	57.17	59.53	57.71	57.3	61.54	59.03

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.0	0.0	0.0
341.0	247.0	221.0
349.0	266.0	230.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1	1.8	3.5
2.5	4	7
3.5	6	10
4	7.5	12
4.5	8.5	13.5
5	10	15
6	11.5	18
7	13	24.5
8	15	28
8.5	17	32

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 72.** Datos de CBR de Suelo CL – suelo solo-3

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	15	15	15			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11142.5	10911	11987			
Peso del molde (gr)	7060	6371	7117			
Peso del suelo húmedo (gr)	4082.5	4540	4870			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.70	12.80	12.60			
Volumen del molde	2304.52	2322.67	2286.38			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	105.71	103.58	100.80	98.76	106.82	104.67
Peso suelo seco + cápsula (gr)	99.67	97.68	95.01	93.11	100.41	98.40
Cápsula (gr)	60.71	59.50	56.42	55.29	58.28	57.11

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.0	0.0	0.0
145.0	126.0	89.0
336.0	261.0	225.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1.5	2	3
3	5	8
4	6.5	11
4.5	8	12.5
5.3	9	14.5
6	10	16
6.5	12	18.5
7	14	24
8	16	27.5
9	18	31.5

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 73.** Datos de CBR de Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado-1

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	14	14	14			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11338	10930	11985			
Peso del molde (gr)	7117	6365	7066			
Peso del suelo húmedo (gr)	4221	4565	4919			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.22	89.52	73.96	78.75	85.17	86.42
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.94	85.81	72.12	76.21	81.81	83.14
Cápsula (gr)	58.42	59.38	58.76	57.98	58.17	59.59

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
122.0	102.0	79.0
278.0	207.0	183.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1.1	1.5	2.7
3	5	8
4	7	12
5	9.5	15
5.5	11	18
6	12.5	20.5
7.5	14	23
9	16.5	28.5
10.5	19	32
12	21	36

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 74.** Datos de CBR de Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado-2

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	14.1	14.1	14.1			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11325	10930	11970			
Peso del molde (gr)	7119	6370	7068			
Peso del suelo húmedo (gr)	4206	4560	4902			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.76	81.79	81.82	78.84	80.58	79.41
Peso suelo seco + cápsula (gr)	82.53	78.82	79.29	76.33	77.79	76.83
Cápsula (gr)	59.58	57.86	60.72	58.9	57.89	58.75

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.0	0.0	0.0
127.0	106.0	81.0
203.0	188.0	152.0
281.0	211.0	186.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1.5	2.8	3.5
2.8	6	7.5
3.6	8	11.5
4.5	9.2	14.5
5.5	10.5	16.5
6.2	12	19
7	13.5	22
8.5	15	28
10	18	33.5
11.5	20.5	38

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 75.** Datos de CBR de Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado-3

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	13.9		13.9		13.9	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11302		10899		11939	
Peso del molde (gr)	7117		6365		7066	
Peso del suelo húmedo (gr)	4185		4534		4873	
Diámetro del molde	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde	12.60		12.80		12.70	
Volumen del molde	2286.38		2322.67		2304.52	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.49	83.47	83.56	81.98	82.90	82.29
Peso suelo seco + cápsula (gr)	83.88	82.02	82.26	80.78	81.51	81.03
Cápsula (gr)	72.40	71.54	72.97	72.06	71.56	71.99

Ensayo de expansión			Ensayo de penetración		
DIAL (0.001")			DIAL (0.0001")		
12	25	56	12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.0	0.0	0.0	0	0	0
130.0	110.0	82.0	1	3	3.5
206.0	189.0	155.0	3	5.5	8
283.0	215.0	187.0	4	7.5	11.5
			4.5	9	14
			5	10	17
			5.5	11.5	18.5
			6.5	13	21
			8	15.5	27
			9	18.5	33
			10.5	20	37

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 76.** Datos de CBR de Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado-1

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	13.2	13.2	13.2			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11400	11015	12047			
Peso del molde (gr)	7119	6370	7068			
Peso del suelo húmedo (gr)	4281	4645	4979			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	80.08	88.35	96.14	77.13	73.65	80.17
Peso suelo seco + cápsula (gr)	77.95	84.89	92.79	74.7	71.89	77.65
Cápsula (gr)	61.52	58.74	66.44	56.78	58.39	58.83

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
96.0	67.0	42.0
154	95	73
211.0	143.0	118.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1.5	2	4
4	9	13
6	13	18
7.5	15.5	23
8	17.5	26
8.5	19	29
9.5	21	32.5
11.5	23.5	37
13.5	26	40
15	28	45

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 77.** Datos de CBR de Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado-2

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	13		13		13	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10751		11743		12057	
Peso del molde (gr)	6371		7119		7067	
Peso del suelo húmedo (gr)	4380		4624		4990	
Diámetro del molde	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde	12.80		12.60		12.70	
Volumen del molde	2322.67		2286.38		2304.52	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	88.65	99.37	85.65	92.05	79.97	86.03
Peso suelo seco + cápsula (gr)	85.06	95.06	83.13	88.13	77.49	82.47
Cápsula (gr)	57.88	61.64	63.75	57.7	58.64	54.86

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
91.0	60.0	35.0
204.0	136.0	109.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
2	4	7
5	10	13.5
7	14	19
8.5	17	24
9	19.5	27
9.5	21	29.5
10.5	22.5	33.5
12.5	24	36
14.5	25.5	39.5
16	27	43

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 78.** Datos de CBR de Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado-3

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	13.2	13.2	13.2			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11365	11190	12090			
Peso del molde (gr)	7065	6515	7101			
Peso del suelo húmedo (gr)	4300	4675	4989			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	84.37	93.86	90.90	84.59	76.81	83.10
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.51	89.98	87.96	81.42	74.69	80.06
Cápsula (gr)	59.70	60.19	65.10	57.24	58.52	56.85

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
99.0	71.0	44.0
215.0	147.0	122.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1.2	3	6.5
4.5	9.5	13
6.5	13.5	18
8	16	23.5
8.5	18	27
9	20	30
10	21.5	33
12	24.5	36.5
14	27	41
15.5	29	44

Nota. fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 79.** Datos de CBR de Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado-1

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N° de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	12.3	12.3	12.3			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10626	11628	11953			
Peso del molde (gr)	6371	7119	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	4255	4509	4886			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.80	12.60	12.70			
Volumen del molde	2322.67	2286.38	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	108.48	110.15	96.43	83.67	75.94	90.01
Peso suelo seco + cápsula (gr)	103.05	104.96	92.20	80.52	73.72	86.98
Cápsula (gr)	60.00	62.29	58.70	54.71	55.29	62.55

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
76.0	46.0	21.0
184.0	116.0	89.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1	2	3
5	8.5	10
6.5	11.5	15.5
7.5	13	18.5
8	15	22
8.5	16.5	24
9	18	26
10.5	19.5	31
11.5	22	35.5
14	25	41

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 80.** Datos de CBR de Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado-2

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	12.5	12.5	12.5			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10575	11578	11928			
Peso del molde (gr)	6371	7119	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	4204	4459	4861			
Diámetro del molde	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde	12.80	12.60	12.70			
Volumen del molde	2322.67	2286.38	2304.52			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	74.36	109.22	86.95	82.30	86.81	94.09
Peso suelo seco + cápsula (gr)	71.58	103.46	83.66	79.69	83.62	86.08
Cápsula (gr)	49.60	57.29	57.35	58.71	58.05	22.55

Ensayo de expansión		
DIAL (0.001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00
78.0	50.0	25.0
132	80	60
187.0	120.0	91.0

Ensayo de penetración		
DIAL (0.0001")		
12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES
0	0	0
1.3	3	5
4	8	11
6	11	16
7.5	13.5	19
8.5	15.5	22
9	17	23.5
9.5	18.5	25.5
10.5	21	29.5
12	22.5	35
14	24	40

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 81.** Datos de CBR de Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado-3

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	12.4		12.4		12.4	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11248		11633		11740	
Peso del molde (gr)	7042		7150		6865	
Peso del suelo húmedo (gr)	4206		4483		4875	
Diámetro del molde	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde	12.70		12.60		12.70	
Volumen del molde	2304.52		2286.38		2304.52	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	91.37	98.48	91.63	83.01	81.39	92.02
Peso suelo seco + cápsula (gr)	87.32	94.21	87.93	80.11	78.67	86.53
Cápsula (gr)	54.8	59.79	58.03	56.71	56.67	42.55

Ensayo de expansión			Ensayo de penetración		
DIAL (0.001")			DIAL (0.0001")		
12	25	56	12	25	56
GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES	GOLPES
0.00	0.00	0.00	0	0	0
80.0	47.0	23.0	1.5	2.5	5.5
131	78	62	4.5	8.5	12
185.0	119.0	92.0	6.5	12	16
			8	14	19
			9	15.5	22.5
			9.5	17	24
			10	19	27
			11	22	31
			12.5	23	35.5
			14.5	24.5	40

Nota. fuente: (elaboración propia)

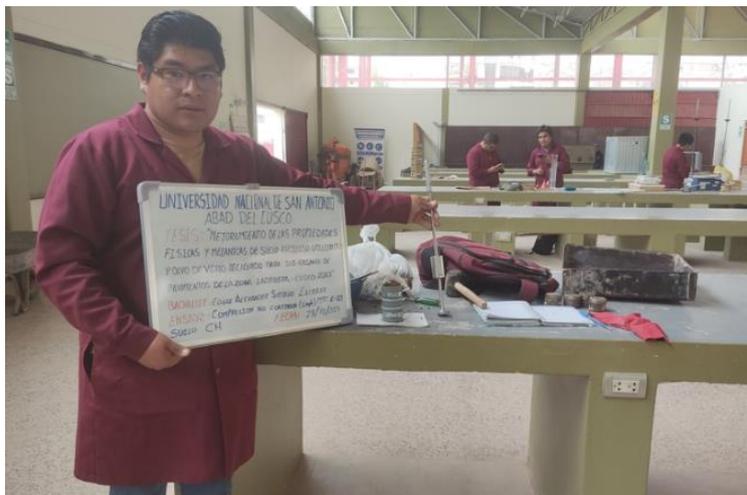
### 3.9.6. Ensayo de Compresión no confinada en muestra de suelos (MTC E121, 2016).

#### a. Equipos e instrumentos.

Los equipos e instrumentos utilizados son:

- Aparato de compresión.
- Pisón manual.
- Molde para preparación de muestra.
- Horno.
- Balanza, con sensibilidad a 0.01 gr.
- Tamiz N° 4.
- Probeta.
- Pipeta.
- Cápsulas.
- Cuchillo.
- Recipientes.

**Figura 51.** Instrumentos para ensayo compresión no confinada



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

#### b. Procedimiento.

- Previamente se realizan ensayos de proctor modificado para calcular los pesos unitarios y los contenidos óptimos de humedad para realizar el compactado de las probetas.
- Se prepara probetas cilíndricas, la relación de la altura al diámetro será aproximadamente igual y no inferior a dos.
- Seguidamente se miden la altura y diámetro de la probeta y se procede a pesar.

- Luego se coloca la probeta en el aparato de compresión de modo que quede centrada, se acciona el aparato hasta que la placa toque la superficie de la probeta y se coloca en cero el dial de deformación.
- El ensayo se podrá realizar controlando la deformación o controlando la carga.
- En este caso se realizará controlando la deformación; se acciona la prensa de modo que la velocidad de deformación de la probeta este comprendida entre  $\frac{1}{2}\%$  y  $2\%$  por minuto, se toman medidas de las deformaciones cada 30 segundos hasta que la carga disminuya o hasta llegar a una deformación del  $20\%$ .
- De la parte donde se produjo la rotura de la probeta se toma una pequeña muestra y se determina su humedad.

**Figura 52.** Elaboración de probeta cilíndricas



Nota. fuente: (elaboración propia)

**Figura 53.** Compresión de las probetas cilíndricas



Nota. fuente: (elaboración propia)

## c. Toma de datos.

- Suelo CH (arcilla de alta plasticidad)

**Tabla 82.** Dimensiones de las probetas suelo CH

Diámetro (cm)			Altura (cm)		
CH-1	CH-2	CH-3	CH-1	CH-2	CH-3
5.6	5.6	5.5	10.7	10.6	10.7
5.6	5.6	5.7	10.8	10.7	10.7
5.7	5.6	5.6	10.7	10.7	10.7
<b>5.63</b>	<b>5.60</b>	<b>5.60</b>	<b>10.73</b>	<b>10.67</b>	<b>10.70</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 83.** Lecturas de dial suelo CH

CH-1		CH-2		CH-3	
deformación	carga	deformación	carga	deformación	carga
Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)
0	0	0	0	0	0
10	1.5	10	1	10	1.2
20	4	20	4.5	20	4
30	6	30	6	30	6
40	7.8	40	7.5	40	7
50	9	50	8.5	50	8
60	10	60	9	60	9.5
70	9.5	70	8.5	70	8.5
80	8	80	7.5	80	7.8
90	7.5	90	7	90	6.5
100	7	100	6	100	6

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

- Suelo CH + % óptimo de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 84.** Dimensiones de las probetas suelo CH+% Opt. PVR

Diámetro (cm)			Altura (cm)		
CH+% Opt. PVR-1	CH+% Opt. PVR-2	CH+% Opt. PVR-3	CH+% Opt. PVR-1	CH+% Opt. PVR-2	CH+% Opt. PVR-3
5.6	5.7	5.6	10.6	10.7	10.5
5.6	5.6	5.5	10.7	10.6	10.6
5.5	5.6	5.6	10.7	10.6	10.6
<b>5.57</b>	<b>5.63</b>	<b>5.57</b>	<b>10.67</b>	<b>10.63</b>	<b>10.57</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 85.** Lecturas de dial suelo CH+% Opt. PVR

CH+% Opt. PVR-1		CH+% Opt. PVR-2		CH+% Opt. PVR-3	
deformación	carga	deformación	carga	deformación	carga
Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)
0	0	0	0	0	0
10	2	10	1.5	10	1
20	4	20	4.5	20	4
30	7	30	7	30	6.5
40	9	40	10	40	9
50	11	50	12	50	11
60	13	60	14	60	13.5
70	14	70	15	70	16
80	15	80	14	80	15.5
90	14.5	90	13.5	90	14
100	13	100	12	100	13
110	12				

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL (arcilla de baja plasticidad)

**Tabla 86.** Dimensiones de las probetas suelo CL

Diámetro (cm)			Altura (cm)		
CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2	CL-3
5.6	5.6	5.5	10.6	10.7	10.5
5.5	5.7	5.7	10.7	10.6	10.6
5.5	5.5	5.5	10.7	10.6	10.6
<b>5.53</b>	<b>5.60</b>	<b>5.57</b>	<b>10.67</b>	<b>10.63</b>	<b>10.57</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 87.** Lecturas de dial suelo CL

CL-1		CL-2		CL-3	
deformación	carga	deformación	carga	deformación	carga
Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)	Dial(div)
0	0	0	0	0	0
10	1	10	0.5	10	1
20	3	20	3	20	3.5
30	5.5	30	6	30	5
40	8	40	7.5	40	7
50	10	50	9	50	8.5
60	10.5	60	9.5	60	10
70	11	70	10.5	70	11
80	10	80	9	80	10.5
90	9	90	8.5	90	9
100	8	100	7	100	8.5

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

- Suelo CL + % óptimo de polvo de vidrio reciclado

**Tabla 88.** Dimensiones de las probetas suelo CL+% Opt. PVR

Diámetro (cm)			Altura (cm)		
CL+% Opt. PVR-1	CL+% Opt. PVR-2	CL+% Opt. PVR-3	CL+% Opt. PVR-1	CL+% Opt. PVR-2	CL+% Opt. PVR-3
5.6	5.6	5.5	10.6	10.7	10.5
5.5	5.7	5.7	10.7	10.6	10.6
5.5	5.5	5.5	10.7	10.6	10.6
<b>5.53</b>	<b>5.60</b>	<b>5.57</b>	<b>10.67</b>	<b>10.63</b>	<b>10.57</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 89.** Lecturas de dial suelo CL+% Opt. PVR

CL+% Opt. PVR-1		CL+% Opt. PVR-2		CL+% Opt. PVR-3	
deformación Dial(div)	carga Dial(div)	deformación Dial(div)	carga Dial(div)	deformación Dial(div)	carga Dial(div)
0	0	0	0	0	0
10	3.5	10	3	10	3
20	6	20	6	20	6.5
30	9	30	9	30	10.5
40	13.5	40	13	40	14.5
50	15.5	50	16	50	16
60	16	60	17	60	16.5
70	15	70	16.5	70	16
80	13.5	80	15.5	80	15
90	12.5	90	13	90	14
100	11	100	12	100	12

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

## CAPITULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Resultados de clasificación de suelo

Resumen resultados límite líquido

**Tabla 90.** Resumen de los límites líquidos

<b>LIMITE LIQUIDO</b>						
Nro	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	41.53%	40.86%	61.85%	62.56%	60.63%	57.52%
2	41.68%	39.58%	63.11%	62.81%	61.03%	59.63%
3	42.92%	40.09%	64.14%	62.27%	60.59%	62.57%

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Resumen resultados límite plástico

**Tabla 91.** Resumen de los límites plásticos

<b>LIMITE PLASTICO</b>						
Nro	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	22.06%	22.49%	29.14%	30.31%	29.27%	28.43%
2	21.72%	21.37%	28.96%	29.60%	29.71%	28.16%
3	21.91%	22.90%	29.39%	29.75%	30.24%	29.27%

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Resumen de cálculo del índice de plasticidad

**Tabla 92.** Cálculo del índice de plasticidad

promedio	C1	C2	C3	C4	C5	C6
límite líquido	42%	40%	63%	63%	61%	60%
límite plástico	22%	22%	29%	30%	30%	29%
índice de plasticidad	20%	18%	34%	33%	31%	31%

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Clasificación AASHTO:

**Figura 54.** clasificación AASHTO

Clasificación General		Suelos Granulares ( $\leq 35\%$ pasa por tamiz N°200)						Suelos Granulares ( $>35\%$ pasa por tamiz N°200)				
		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub - Grupo		A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6 *	A-2-7 *				A-7-5 **
Del Tamiz N°200	Tamiz N°10	50 max										
	Tamiz N°40	30 max	50 max	51 min								
	Tamiz N°200	15 max	25 max	10 max	35 max				36 min			
Del Tamiz N°200	LL				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
	IP	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Tipo de material más común		Fragmentos de Rocas, Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Calificación de la Subrasante		Excelente a Buena						Regular a pobre				
** Si: $IP \leq (LL-30)$ es A-7-5					Si el Suelo es NP $\gg IG=0$ ; Si $IG < 0 \gg IG=0$							
** Si: $IP > (LL-30)$ es A-7-6												

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Tabla 93.** Clasificación AASHTO 6 calitas

CALICATA	GRUPO	TIPO DE MATERIAL COMUN	CALIFICACION DE LA SUBRASANTE
C1	A-7-6 (22)	SUELO ARCILLOSO	REGULAR A POBRE
C2	A-7-6 (20)	SUELO ARCILLOSO	REGULAR A POBRE
C3	A-7-6 (41)	SUELO ARCILLOSO	REGULAR A POBRE
C4	A-7-6 (40)	SUELO ARCILLOSO	REGULAR A POBRE
C5	A-7-6 (37)	SUELO ARCILLOSO	REGULAR A POBRE
C6	A-7-6 (37)	SUELO ARCILLOSO	REGULAR A POBRE

Nota. fuente: (elaboración propia)

## Clasificación SUCS

**Tabla 94.** Clasificación SUCS 6 calicatas

CALICATA	CLASIFICACION	CARACTERISTICA	NOMBRE DE GRUPO
C1	CL	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	ARCILLA MAL GRADADA ARENOSA
C2	CL	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	ARCILLA MAL GRADADA ARENOSA
C3	CH	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	ARCILLA GRUESA ARENOSA
C4	CH	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	ARCILLA GRUESA ARENOSA
C5	CH	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	ARCILLA GRUESA ARENOSA
C6	CH	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	ARCILLA GRUESA ARENOSA

Nota. fuente: (elaboración propia)

**Figura 55.** Clasificación SUCS de 6 calicatas

Criterios para la asignación de grupo y nombres de grupo con el uso de pruebas de laboratorio <sup>a</sup>				Clasificación de suelos	
				Símbolo	Nombre de Grupo <sup>b</sup>
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % retenido en la malla N°200.	Gravas Más del 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4	Gravas Limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ <sup>o</sup>	GW	Grava bien graduada <sup>f</sup>
		Menos del 5% de finos <sup>c</sup>	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$ <sup>o</sup>	GP	Grava mal graduada <sup>f</sup>
	Arenas El 50% de la fracción gruesa pasa el tamiz N°4	Gravas con finos Más del 12% de finos <sup>c</sup>	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa <sup>f,g,h</sup>
		Menos del 5% de finos <sup>d</sup>	Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa <sup>f,g,h</sup>
		Arenas Limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$ <sup>o</sup>	SW	Arena bien graduada <sup>i</sup>
		Menos del 5% de finos <sup>d</sup>	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$ <sup>o</sup>	SP	Arena mal graduada <sup>i</sup>
Arenas con finos Más del 12% de finos <sup>d</sup>	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa <sup>g,h,j</sup>		
	Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena arcillosa <sup>g,h,j</sup>		
Suelos de partículas finas El 50 % o más pasa la malla N°200.	Limos y Arcillas Límite Líquido menor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera) <sup>k,l,m</sup>
		Orgánicos	$IP > 4$ y se grafica en o arriba de la línea "A"	OL	Limo <sup>n</sup>
	Limos y Arcillas Límite Líquido 50 o más	Inorgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla Orgánica <sup>k,l,m,p</sup>
		Orgánicos	$IP$ se grafica en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad <sup>k,l,m</sup>
		Inorgánicos	$IP$ se grafica debajo de la línea "A"	MH	Limo Orgánico <sup>n</sup>
		Orgánicos	$\frac{\text{Límite Líquido secado en horno}}{\text{Límite Líquido no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla Orgánica <sup>k,l,m,p</sup>
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia inorgánica, de color oscuro y con olor orgánico		PT	Turba	

<sup>a</sup> Basado en el material que pasa la malla de 75 mm (3 pulg.)  
<sup>b</sup> Si la muestra de campo contiene guijarros o pedruscos, o ambos, añada al nombre de grupo estos detalles.  
<sup>c</sup> Las gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: GW-GM grava bien graduada con limo.  
<sup>d</sup> Las arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos duales: SW-SM arena bien graduada con limo.

$C_u = D_{60}/D_{10}$   $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$

<sup>f</sup> Si el suelo contiene  $\geq 15\%$  de arena añadada con arena al grupo.  
<sup>g</sup> Si los finos se clasifican como CL-ML, use el símbolo dual.  
<sup>h</sup> Si los finos son orgánicos añadalo al nombre de grupo.  
<sup>i</sup> Si el suelo contiene  $\geq 15\%$  de grava añadada con grava al grupo.  
<sup>j</sup> Si los límites de Atterberg se sitúan en el área sombreada, el suelo es una arcilla limosa CL-ML.  
<sup>k</sup> Si el suelo contiene 15 a 29% mayor de la malla N°200, añadada con arena o con grava, el que sea predominante.  
<sup>l</sup> Si el suelo contiene  $\geq 30\%$  mayor de la malla N°200, predominantemente arena, añadada "arenoso" al nombre de grupo.  
<sup>m</sup> Si el suelo contiene  $\geq 30\%$  mayor de la malla N°200, predominantemente grava, añadada "gravoso" al nombre de grupo.  
<sup>n</sup>  $IP \geq 4$  y se grafica en o arriba de la línea A.  
<sup>o</sup>  $IP < 4$  o se grafica debajo de la línea A.  
<sup>p</sup>  $IP$  se grafica en o arriba de la línea A.  
<sup>q</sup>  $IP$  se grafica debajo de la línea A.

Nota. fuente: (elaboración propia)

Según el análisis ANOVA realizado con datos de límites líquidos y límites plásticos se obtiene un p-valor  $< 0.05$  lo que indica que no todas las medias son iguales y al agrupar

utilizando el método de Tukey con una confianza de 95% se obtiene los siguientes resultados:

**Tabla 95.** Agrupación método de Tukey para límite líquido

Factor	N	Media	Agrupación
C3	3	0.63033	A
C4	3	0.62546	A
C5	3	0.60750	A
C6	3	0.5991	A
C1	3	0.42045	B
C2	3	0.40175	B

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 96.** Agrupación método de Tukey para límite plástico

Factor	N	Media	Agrupación
C4	3	0.29887	A
C5	3	0.29741	A
C3	3	0.29163	A
C6	3	0.28621	A
C2	3	0.22253	B
C1	3	0.218996	B

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

#### 4.2. Resultados de Ensayo análisis granulométrico por tamizado.

Para este ensayo se realizó el lavado por la malla N°200 obteniendo los siguientes resultados

**Tabla 97.** Resultados de lavado por malla N°200

		CL	CH
peso para lavado	gr	1000	1000
peso retenido tamiz 200	gr	2.89	5.74
% retenido tamiz 200	%	0.29%	0.57%
pasa tamiz 200	gr	997.11	994.26
% que pasa tamiz 200	%	99.71%	99.43%

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

#### 4.3. Resultados de Ensayo análisis granulométrico por hidrómetro.

Para el suelo CH (arcilla de alta plasticidad) se obtuvo la siguiente granulometría.

**Tabla 98.** Granulometría por hidrómetro suelo CH

Granulometría	
arena	0.57%
limo	27.90%
arcilla	71.53%

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Para el suelo CL (arcilla de baja plasticidad) se obtuvo la siguiente granulometría.

**Tabla 99.** Granulometría por hidrómetro suelo CL

Granulometría	
arena	0.29%
limo	48.49%
arcilla	51.22%

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

#### 4.4. Resultados de Ensayo de límites de Atterberg.

Determinación del límite líquido.

Los resultados obtenidos para suelo CH (arcilla de alta plasticidad) son:

**Tabla 100.** Resultados de límite líquido suelo CH

N° de Ensayos	SUELO CH - SOLO	SUELO CH + 5 % PVR.	SUELO CH + 10 % PVR.	SUELO CH + 15 % PVR.
1	62.60%	61.29%	58.47%	55.57%
2	62.80%	59.84%	57.74%	56.68%
3	62.30%	60.85%	58.53%	56.16%
<b>PROMEDIO</b>	<b>63%</b>	<b>61%</b>	<b>58%</b>	<b>56%</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Los resultados obtenidos para suelo CL (arcilla de baja plasticidad) son:

**Tabla 101.** Resultados de límite líquido suelo CL

N° de Ensayos	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + 5 % PVR.	SUELO CL + 10 % PVR.	SUELO CL + 15 % PVR.
1	41.50%	40.87%	38.86%	36.80%
2	41.70%	40.19%	38.72%	36.55%
3	42.90%	40.35%	38.81%	36.87%
<b>PROMEDIO</b>	<b>42%</b>	<b>40%</b>	<b>39%</b>	<b>37%</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Determinación del límite plástico.

Los resultados obtenidos para suelo CH (arcilla de alta plasticidad) son:

**Tabla 102.** Resultados de límite plástico suelo CH

N° de Ensayos	SUELO CH - SOLO	SUELO CH + 5 % PVR.	SUELO CH + 10 % PVR.	SUELO CH + 15 % PVR.
1	30.31%	29.03%	27.62%	27.01%
2	29.60%	28.88%	28.30%	27.19%
3	29.75%	28.95%	27.74%	27.03%
<b>PROMEDIO</b>	<b>30%</b>	<b>29%</b>	<b>28%</b>	<b>27%</b>

Nota. fuente: (elaboración propia)

Los resultados obtenidos para suelo CL (arcilla de baja plasticidad) son:

**Tabla 103.** Resultados de límite plástico suelo CL

N° de Ensayos	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + 5 % PVR.	SUELO CL + 10 % PVR.	SUELO CL + 15 % PVR.
1	22.06%	21.24%	20.49%	19.77%
2	21.72%	21.22%	20.65%	19.86%
3	21.91%	21.41%	20.70%	19.57%
<b>PROMEDIO</b>	<b>22%</b>	<b>21%</b>	<b>21%</b>	<b>20%</b>

Nota. fuente: (elaboración propia)

#### 4.5. Resultados de Ensayo de proctor modificado.

El ensayo se realizó por el método A

Los resultados obtenidos para suelo CH (arcilla de alta plasticidad) mezclados con diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado son:

Densidad máxima seca (gr/cm<sup>3</sup>)

**Tabla 104.** Resultados de Proctor Modificado suelo CH – DMS (gr/cm<sup>3</sup>)

N° de Ensayos	SUELO CH - SOLO	SUELO CH + 5 % PVR.	SUELO CH + 10 % PVR.	SUELO CH + 15 % PVR.
1	1.690	1.704	1.760	1.728
2	1.685	1.712	1.758	1.735
3	1.692	1.702	1.755	1.730
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.69</b>	<b>1.71</b>	<b>1.76</b>	<b>1.73</b>

Nota. fuente: (elaboración propia)

Contenido óptimo de humedad (%)

**Tabla 105.** Resultados de Proctor Modificado suelo CH – COA (%)

N° de Ensayos	SUELO CH - SOLO	SUELO CH + 5 % PVR.	SUELO CH + 10 % PVR.	SUELO CH + 15 % PVR.
1	21.50%	20.10%	18.00%	17.00%
2	22.00%	19.00%	17.90%	17.10%
3	21.90%	19.10%	18.20%	17.00%
<b>PROMEDIO</b>	<b>21.80%</b>	<b>19.40%</b>	<b>18.03%</b>	<b>17.03%</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Los resultados obtenidos para suelo CL (arcilla de baja plasticidad) mezclados con diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado son:

Densidad máxima seca (gr/cm<sup>3</sup>)

**Tabla 106.** Resultados de Proctor Modificado suelo CL – DMS (gr/cm<sup>3</sup>)

N° de Ensayos	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + 5 % PVR.	SUELO CL + 10 % PVR.	SUELO CL + 15 % PVR.
1	1.848	1.872	1.920	1.900
2	1.850	1.870	1.925	1.902
3	1.852	1.868	1.922	1.904
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.85</b>	<b>1.87</b>	<b>1.92</b>	<b>1.90</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Contenido óptimo de humedad (%)

**Tabla 107.** Resultados de Proctor Modificado suelo CL – COA (%)

N° de Ensayos	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + 5 % PVR.	SUELO CL + 10 % PVR.	SUELO CL + 15 % PVR.
1	15.00%	14.00%	13.20%	12.50%
2	14.70%	14.10%	13.00%	12.40%
3	15.00%	13.90%	13.10%	12.30%
<b>PROMEDIO</b>	<b>14.90%</b>	<b>14.00%</b>	<b>13.10%</b>	<b>12.40%</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

#### 4.6. Resultados de Ensayo de CBR.

Los resultados obtenidos para suelo CH (arcilla de alta plasticidad) mezclados con diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado son:

**Tabla 108.** Resultados de CBR de suelo CH (%)

N° de Ensayos	SUELO CH - SOLO	SUELO CH + 5 % PVR.	SUELO CH + 10 % PVR.	SUELO CH + 15 % PVR.
1	3.89	4.65	7.06	5.93
2	3.98	4.72	7.03	5.95
3	3.92	4.61	6.97	5.88
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.93</b>	<b>4.66</b>	<b>7.02</b>	<b>5.92</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 109.** Resultados de porcentaje de expansión suelo CH (%)

N° de Golpes	SUELO CH - SOLO	SUELO CH + 5 % PVR.	SUELO CH + 10 % PVR.	SUELO CH + 15 % PVR.
12	8.13	7.41	5.45	4.85
25	7.22	6.23	4.25	3.90
56	5.71	4.86	2.85	2.23

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

Los resultados obtenidos para suelo CL (arcilla de baja plasticidad) mezclados con diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado son:

**Tabla 110.** Resultados de CBR de suelo CL (%)

N° de Ensayos	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + 5 % PVR.	SUELO CL + 10 % PVR.	SUELO CL + 15 % PVR.
1	4.07	4.82	7.26	6.28
2	4.11	4.74	7.21	6.23
3	4.16	4.76	7.18	6.27
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.12</b>	<b>4.77</b>	<b>7.22</b>	<b>6.26</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

**Tabla 111.** Resultados de porcentaje de expansión suelo CL (%)

N° de Golpes	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + 5 % PVR.	SUELO CL + 10 % PVR.	SUELO CL + 15 % PVR.
12	6.91	5.64	4.21	3.69
25	5.25	4.19	2.83	2.39
56	4.58	3.72	2.33	1.81

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

#### 4.7. Resultados de Ensayo de compresión no confinada.

Al determinar los contenidos óptimos de polvo de vidrio reciclado para CH (arcilla de alta plasticidad) y CL (arcilla de baja plasticidad); se prosiguió a realizar el ensayo de compresión no confinada obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 112.** Resumen de resultados de Compresión no confinada (kg/cm<sup>2</sup>)

N° de Ensayos	SUELO CH		SUELO CL	
	SUELO CH	+ %opt. PVR	SUELO CL	+ %opt. PVR
1	2.34	3.24	2.59	3.47
2	2.19	3.17	2.44	3.56
3	2.28	3.42	2.56	3.52
<b>promedio</b>	<b>2.27</b>	<b>3.28</b>	<b>2.53</b>	<b>3.52</b>

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

## **CAPITULO V: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **5.1. Análisis de resultados de Clasificación de suelo y análisis ANOVA.**

Según la clasificación AASHTO las muestras de suelo calicata 1 se encuentra en el grupo A-7-6 (22), calicata 2 se encuentra en el grupo A-7-6 (20), calicata 3 se encuentra en el grupo A-7-6 (41), calicata 4 se encuentra en el grupo A-7-6 (40), calicata 5 y 6 se encuentra en el grupo A-7-6 (37); cuyo tipo de material más común es el suelo arcilloso con una calificación de la subrasante de regular a pobre como se pueden observar en la figura 54 y tabla 93.

Según la clasificación SUCS la muestra de suelo de la calicata 1 y 2 se clasifican como CL (arcilla de baja plasticidad) su nombre de grupo es arcilla mal gradada arenosa y los suelos de las calicatas 3, 4, 5 y 6 se clasifican como CH (arcilla de alta plasticidad) su nombre de grupo es arcilla gruesa arenosa. como se pueden observar en la tabla 94.

Según el análisis ANOVA se obtiene un p-valor  $< 0.05$  lo que indica que no todas las medias son iguales y al agrupar utilizando el método de Tukey resulta que de las calicatas 1 y 2 se obtendrán resultados similares por tener medias estadísticamente iguales y por consecuente el material extraído de estas calicatas son estadísticamente iguales y se clasificarán como arcilla de baja plasticidad (CL) y por el otro lado de las calicatas 3, 4, 5 y 6 se obtendrán resultados similares por tener medias estadísticamente iguales y por consecuente el material extraído de estas calicatas son estadísticamente iguales y se consideran como arcilla de alta plasticidad (CH).

Para los ensayos y la investigación de la presente tesis se tomó en cuenta una calicata representativa: de los suelos CH (arcilla de alta plasticidad) fue la calicata 6 y de los suelos CL (arcilla de baja plasticidad) fue la calicata 1.

### **5.2. Análisis de resultados de Ensayo análisis granulométrico por tamizado.**

Este ensayo no se pudo concluir debido que después de realizar el lavado del material por la malla N°200 más del 99 % del total paso por dicha malla impidiendo el tamizado en seco por las demás mallas. Por tal razón se realizó el ensayo de análisis granulométrico por hidrómetro.

### 5.3. Análisis de resultados de Ensayo análisis granulométrico por hidrómetro.

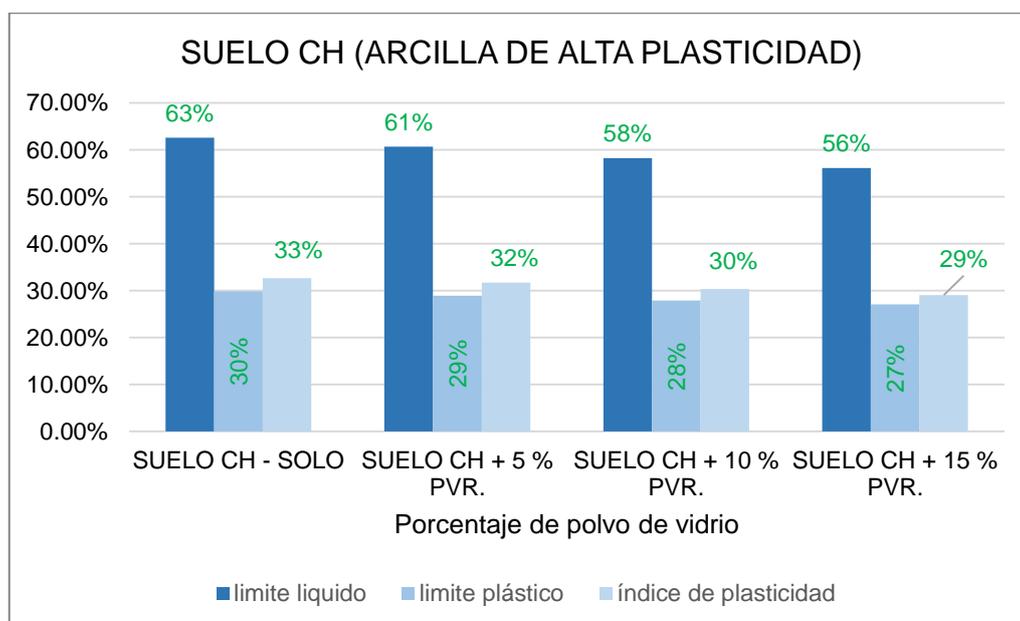
De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 98 se puede observar que el suelo CH (arcilla de alta plasticidad) contiene 0.57 % de arena, 27.90 % de limo y 71.53 % de arcilla y de acuerdo a los resultados de la tabla 99 podemos observar que el suelo CL (arcilla de baja plasticidad) contiene 0.29 % de arena, 48.49 % de limo y 51.22% de arcilla.

Como se mencionó en el párrafo anterior el suelo CH contiene mayor porcentaje de arcilla que el suelo CL, lo cual se ve reflejado en su clasificación SUCS donde un suelo tiene más plasticidad que el otro, esto mismo se pudo evidenciar al momento de la manipulación y trabajabilidad de las muestras de suelo.

### 5.4. Análisis de resultados de Ensayo de límites de Atterberg.

El suelo CH (arcilla de alta plasticidad) tiene un límite líquido de 63%, límite plástico de 30% y un índice de plasticidad de 33 % y al ser mezclado con 15% de polvo de vidrio disminuyó a 56% de límite líquido, 27% de límite plástico y 29% de índice de plasticidad (tabla 100. Pág.139).

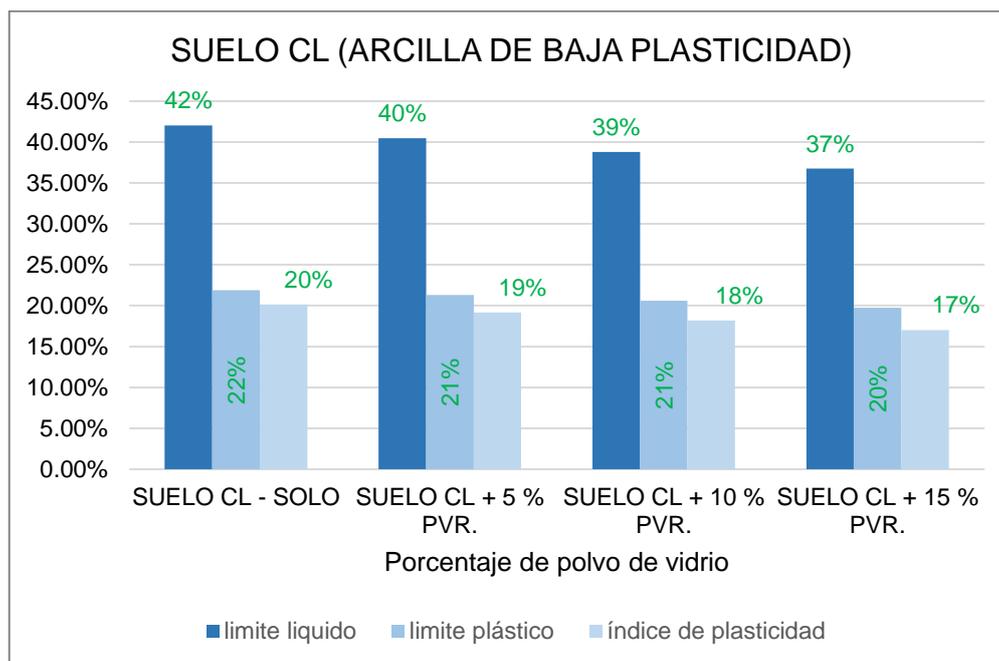
**Gráfico 2.** Resultado límites de Atterberg suelo CH



Nota. fuente: (elaboración propia)

El suelo CL (arcilla de baja plasticidad) tiene un límite líquido de 42%, límite plástico de 22% y un índice de plasticidad de 20 % y al ser mezclado con 15% de polvo de vidrio reciclado disminuyó a 37% de límite líquido, 20% de límite plástico y 17% de índice de plasticidad (tabla 101. Pág. 139.).

**Gráfico 3.** Resultado límites de Atterberg suelo CL



*Nota.* fuente: (elaboración propia)

En las muestras de suelo CH (arcilla de alta plasticidad) y suelo CL (arcilla de baja plasticidad) resultó una visible disminución de los límites líquidos, plásticos y por consecuencia una disminución del índice de plasticidad, a medida que se va añadiendo mayor porcentaje de polvo de vidrio reciclado. Mejorando positivamente esta propiedad física de los suelos arcillosos.

### 5.5. Análisis de resultados de Ensayo de proctor modificado

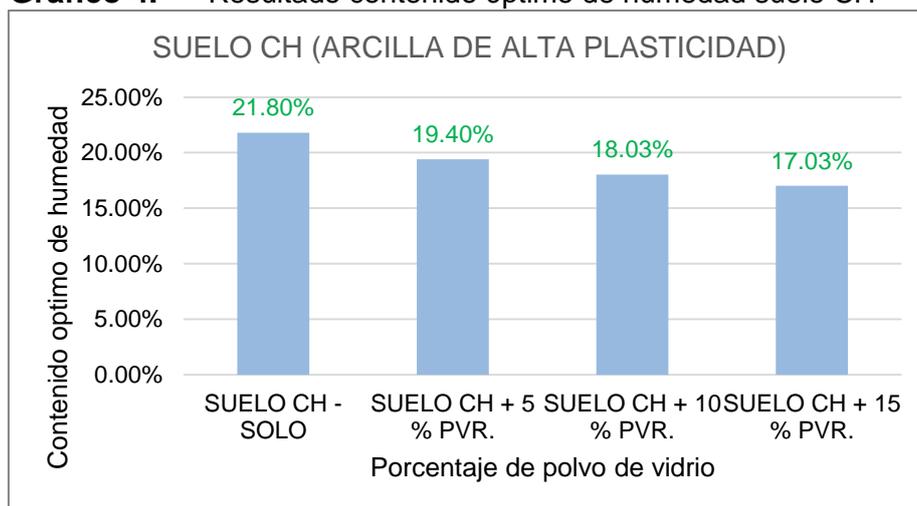
Los resultados obtenidos sacando el promedio respectivo para suelo CH (arcilla de alta plasticidad) son:

**Tabla 113.** Resultado promedio proctor modificado suelo CH

	SUELO CH - SOLO	SUELO CH + 5 % PVR.	SUELO CH + 10 % PVR.	SUELO CH + 15 % PVR.
promedio contenido óptimo de humedad	21.80%	19.40%	18.03%	17.03%
promedio Densidad máxima seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.69	1.71	1.76	1.73

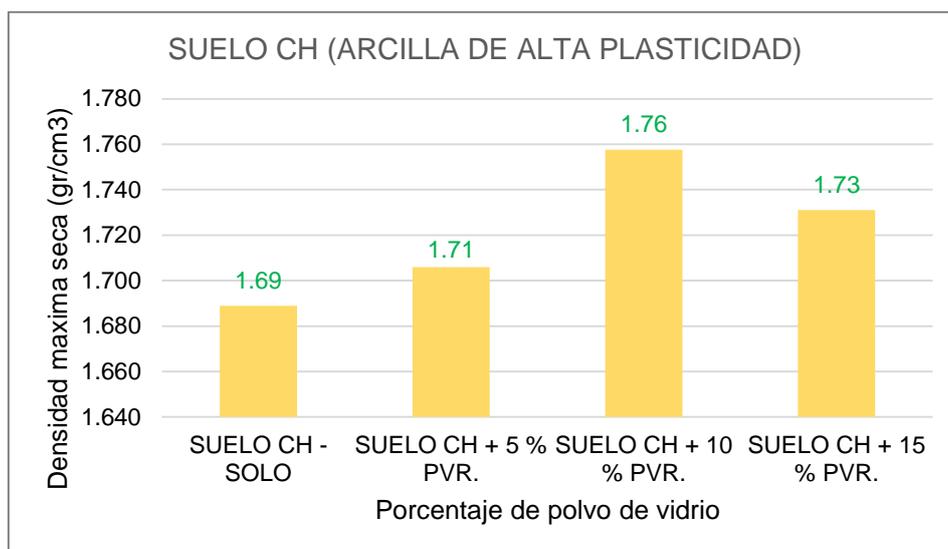
Nota. fuente: (elaboración propia)

En la muestra de suelo CH (arcilla de alta plasticidad) resultó una visible disminución del contenido óptimo de humedad a medida que se va añadiendo mayor porcentaje de polvo de vidrio reciclado. El suelo CH tiene 21.80% de humedad óptima y al ser mezclado con 15% de polvo de vidrio reciclado disminuyó a 17.03% de humedad óptima.

**Gráfico 4.** Resultado contenido óptimo de humedad suelo CH

Nota. fuente: (elaboración propia)

En la muestra de suelo CH (arcilla de alta plasticidad) tiene una densidad máxima seca de 1.69 gr/cm<sup>3</sup>, al ser mezclado con 10% de PVR la densidad máxima seca sube a 1.76 gr/cm<sup>3</sup> y al mezclar con 15 % de polvo de vidrio reciclado baja a una densidad máxima seca de 1.73 gr/cm<sup>3</sup>

**Gráfico 5.** Resultado densidad máxima seca suelo CH

Nota. fuente: (elaboración propia)

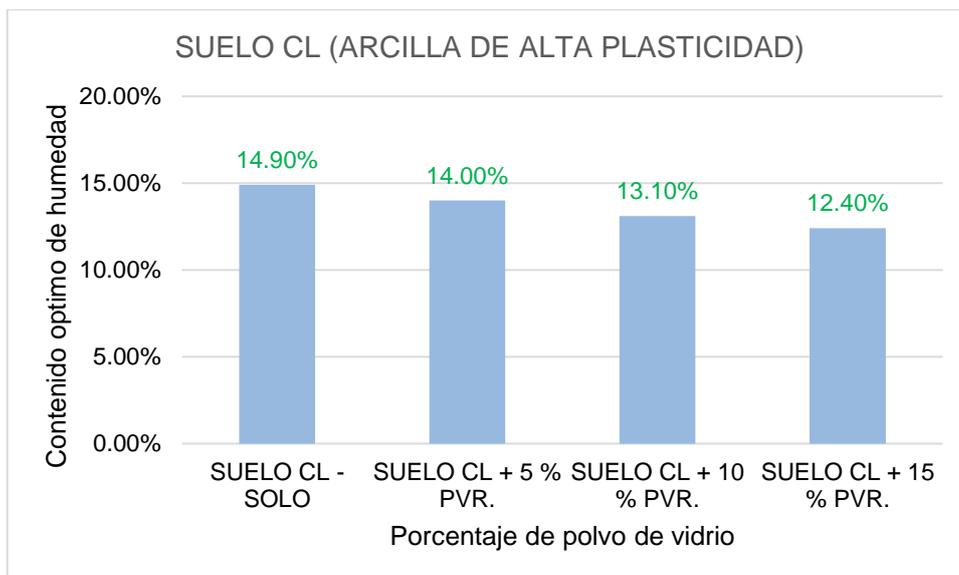
Los resultados obtenidos sacando el promedio respectivo para suelo CL (arcilla de baja plasticidad) son:

**Tabla 114.** Resultado promedio proctor modificado suelo CL

	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + 5 % PVR.	SUELO CL + 10 % PVR.	SUELO CL + 15 % PVR.
promedio contenido óptimo de humedad	14.90%	14.00%	13.10%	12.40%
promedio Densidad máxima seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.85	1.87	1.92	1.90

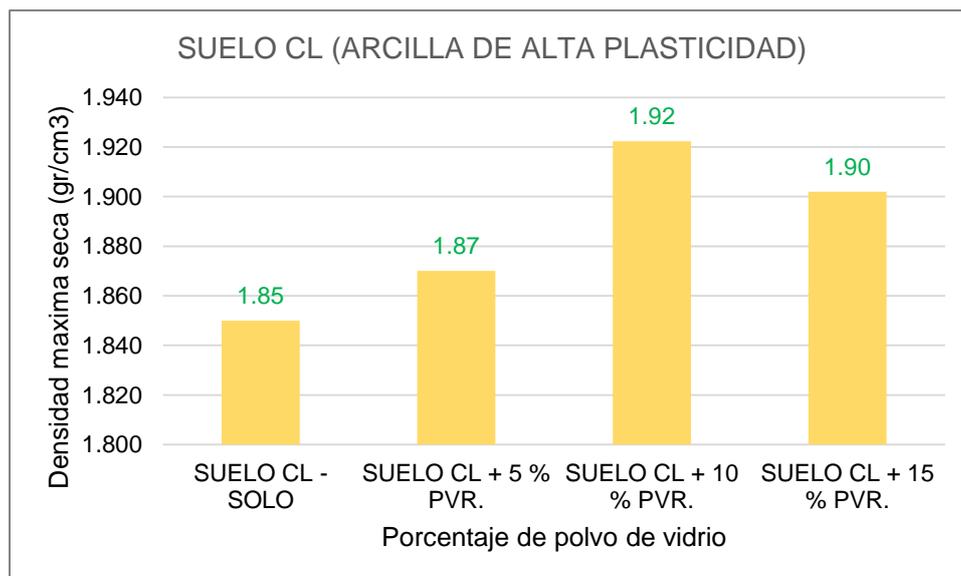
Nota. fuente: (elaboración propia)

En la muestra de suelo CL (arcilla de baja plasticidad) resultó una visible disminución del contenido óptimo de humedad a medida que se va añadiendo mayor porcentaje de polvo de vidrio reciclado. El suelo CL tiene 14.90% de humedad óptima y al ser mezclado con 15% de polvo de vidrio reciclado disminuyó a 12.40% de humedad óptima.

**Gráfico 6.** Resultado contenido óptimo de humedad suelo CL

Nota. fuente: (elaboración propia)

En la muestra de suelo CL (arcilla de baja plasticidad) tiene una densidad máxima seca de 1.85 gr/cm<sup>3</sup>, al ser mezclado con 10% de PVR la densidad máxima seca sube a 1.92 gr/cm<sup>3</sup> y al mezclar con 15 % de polvo de vidrio reciclado baja a una densidad máxima seca de 1.90 gr/cm<sup>3</sup>

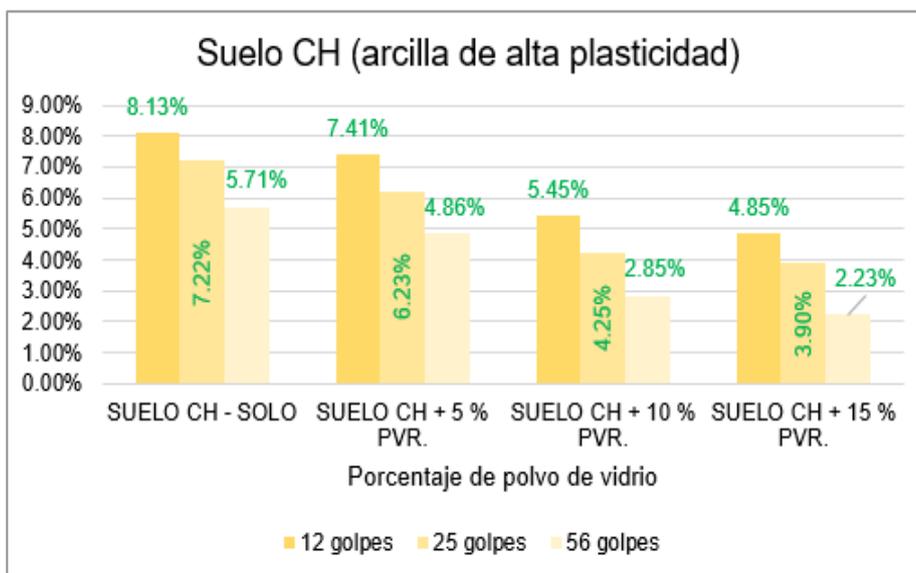
**Gráfico 7.** Resultado densidad máxima seca suelo CL

Nota. fuente: (elaboración propia)

### 5.6. Análisis de resultados de Ensayo de CBR

Según (tabla N° 109) En la muestra de suelo CH (arcilla de alta plasticidad) se observa una visible disminución del porcentaje de expansión, a medida que se va añadiendo mayor porcentaje de polvo de vidrio reciclado.

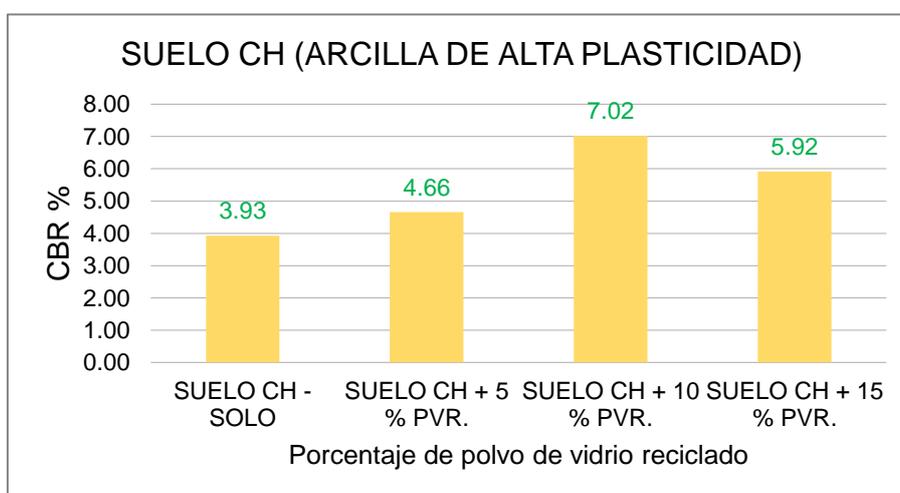
**Gráfico 8.** Resultados de porcentajes de expansión suelo CH



Nota. fuente: (elaboración propia)

Según (tabla N° 108) En la muestra de suelo CH (arcilla de alta plasticidad) alcanza un CBR de 3.93%, al ser mezclado con 10% de PVR el CBR sube a 7.02% y al mezclar con 15 % de polvo de vidrio reciclado baja a un CBR de 5.92%.

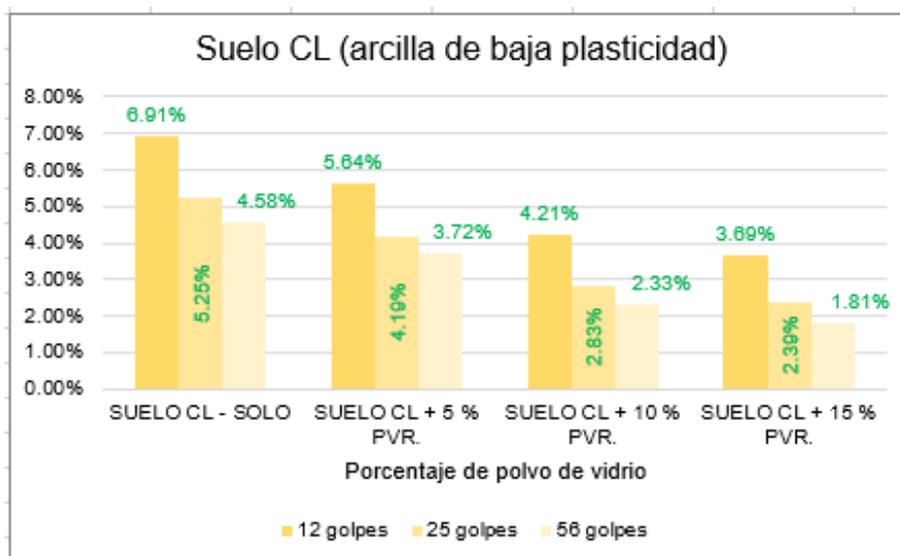
**Gráfico 9.** Resultado de CBR suelo CH



Nota. fuente: (elaboración propia)

Según (tabla N° 111) En la muestra de suelo CL (arcilla de baja plasticidad) se observa una visible disminución del porcentaje de expansión, a medida que se va añadiendo mayor porcentaje de polvo de vidrio reciclado.

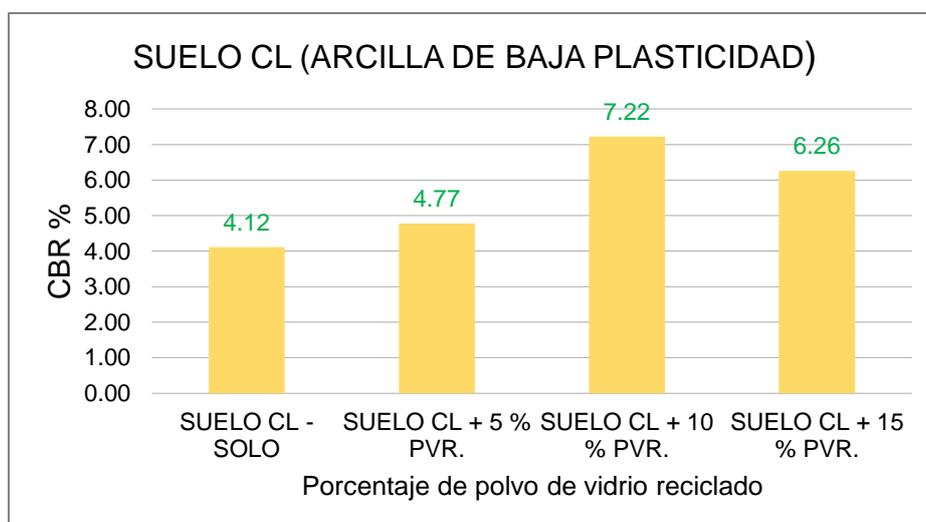
**Gráfico 10.** Resultados de porcentajes de expansión suelo CL



Nota. fuente: (elaboración propia)

Según (tabla N° 110) En la muestra de suelo CL (arcilla de baja plasticidad) alcanza un CBR de 4.12%, al ser mezclado con 10% de PVR el CBR sube a 7.22% y al mezclar con 15 % de polvo de vidrio reciclado baja a un CBR de 6.26%.

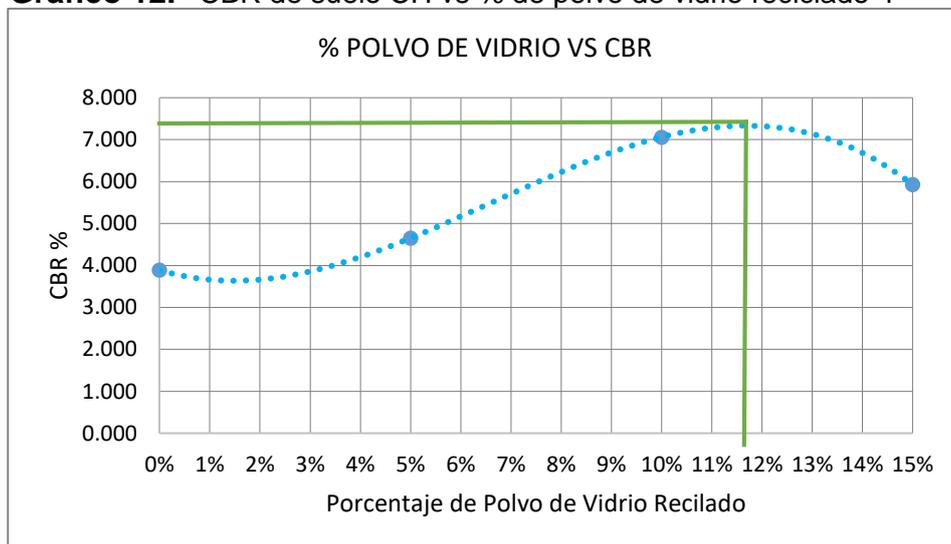
**Gráfico 11.** Resultado de CBR suelo CL



Nota. fuente: (elaboración propia)

Con datos de la tabla 108 realizamos 3 curvas que muestra la relación entre el porcentaje de polvo de vidrio y el CBR para obtener el porcentaje óptimo de polvo de vidrio para suelo CH (arcilla de alta plasticidad).

**Gráfico 12.** CBR de suelo CH vs % de polvo de vidrio reciclado-1

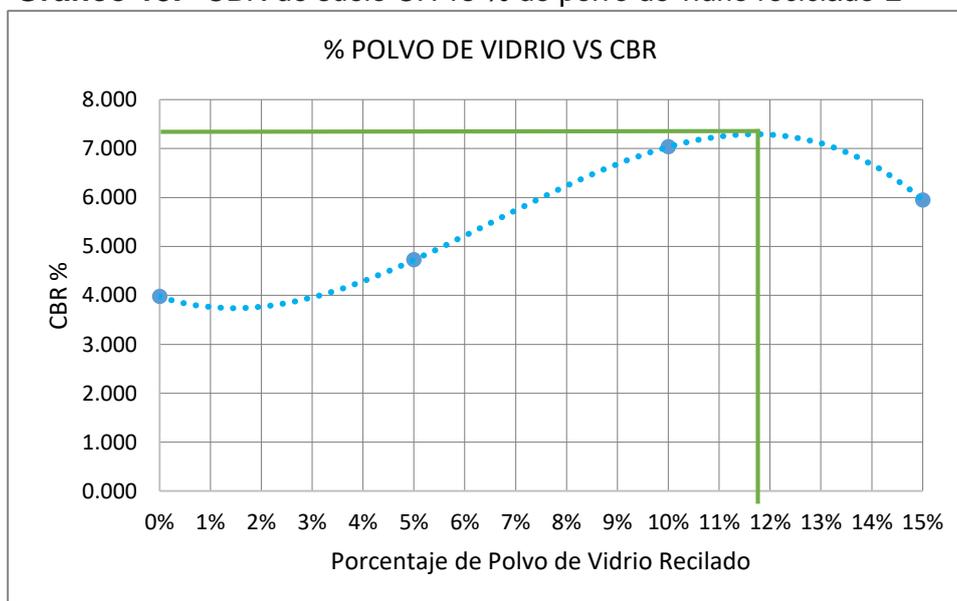


Nota. fuente: (elaboración propia)

Porcentaje Óptimo de Polvo de Vidrio: **11.70 %**

CBR alcanzado: **7.33 %**

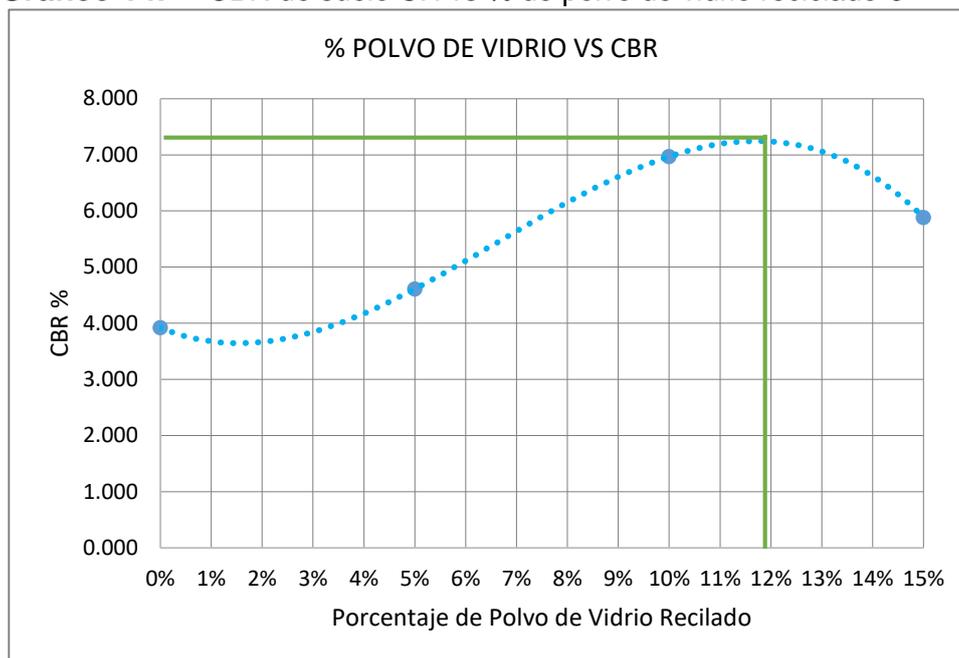
**Gráfico 13.** CBR de suelo CH vs % de polvo de vidrio reciclado-2



Nota. fuente: (elaboración propia)

Porcentaje Óptimo de Polvo de Vidrio: **11.80 %**

CBR alcanzado: **7.35 %**

**Gráfico 14.** CBR de suelo CH vs % de polvo de vidrio reciclado-3

Nota. fuente: (elaboración propia)

Porcentaje Óptimo de Polvo de Vidrio: **11.90 %**

CBR alcanzado: **7.36 %**

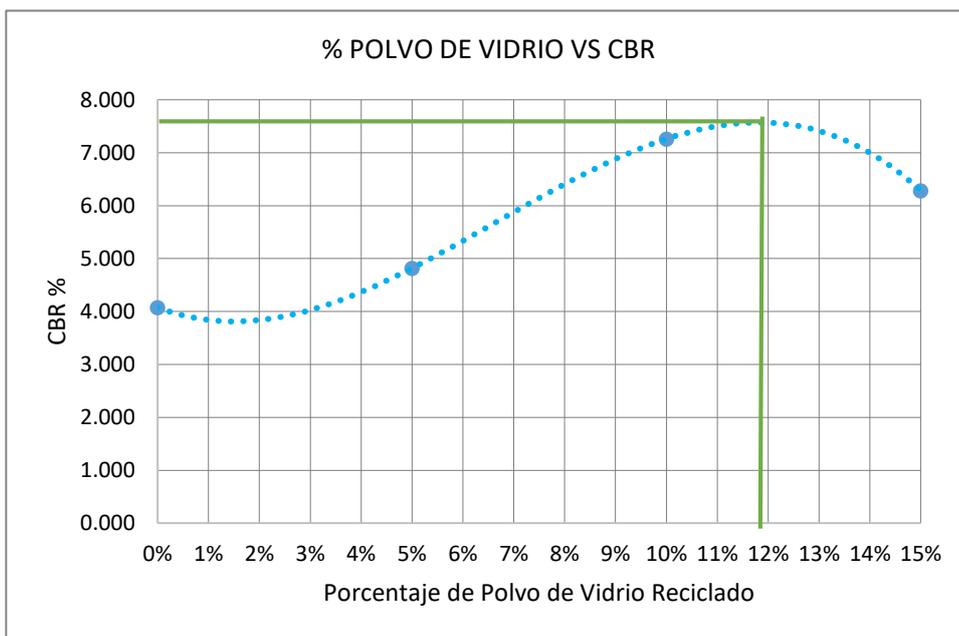
**Tabla 115.** Resultado de % óptimo de PVR para suelo CH

	% óptimo de polvo de vidrio reciclado	CBR
1	11.70%	7.33%
2	11.80%	7.35%
3	11.90%	7.36%
Promedio	<b>11.80%</b>	<b>7.35%</b>

Nota. fuente: (elaboración propia)

Con datos de la tabla 110 realizamos 3 curvas que muestra la relación entre el porcentaje de polvo de vidrio y el CBR para obtener el porcentaje óptimo de polvo de vidrio para suelo CL (arcilla de baja plasticidad).

**Gráfico 15.** CBR de suelo CL vs % de polvo de vidrio reciclado-1

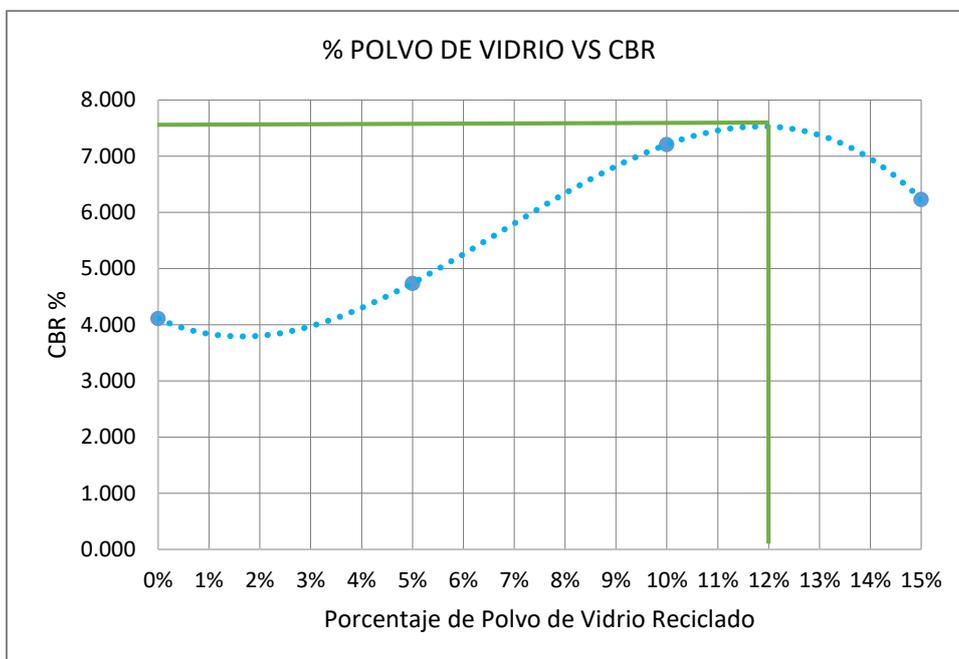


Nota. fuente: (elaboración propia)

Porcentaje Óptimo de Polvo de Vidrio: **11.90 %**

CBR alcanzado: **7.60 %**

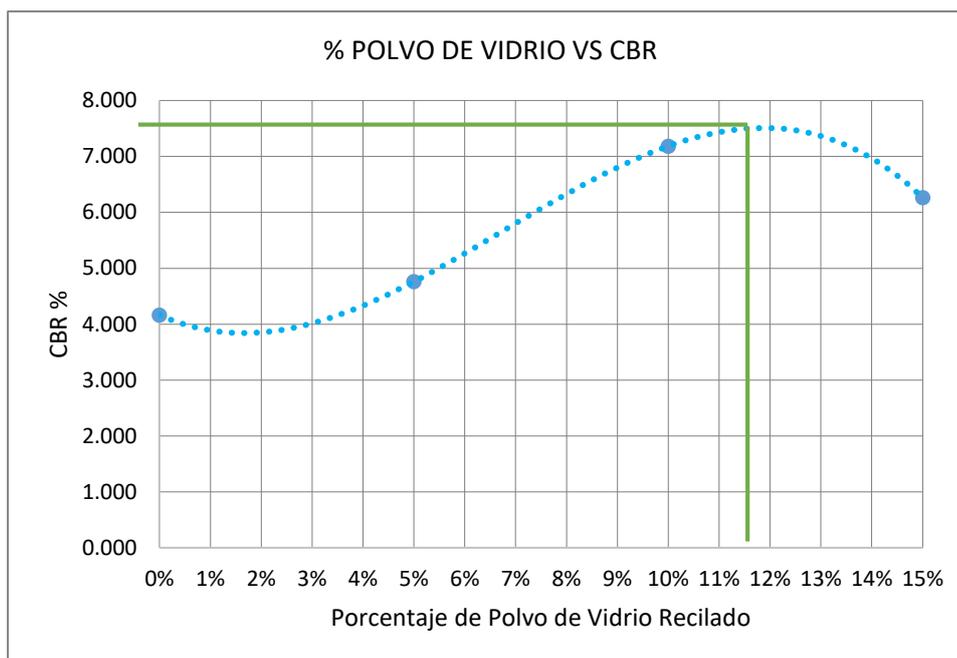
**Gráfico 16.** CBR de suelo CL vs % de polvo de vidrio reciclado-2



Nota. fuente: (elaboración propia)

Porcentaje Óptimo de Polvo de Vidrio: **12.00 %**

CBR alcanzado: **7.66 %**

**Gráfico 17.** CBR de suelo CL vs % de polvo de vidrio reciclado-3

Nota. fuente: (elaboración propia)

Porcentaje Óptimo de Polvo de Vidrio: **12.00 %**

CBR alcanzado: **7.58 %**

**Tabla 116.** Resultado de % óptimo de PVR para suelo CL

	% óptimo de polvo de vidrio reciclado	CBR
1	11.90%	7.60%
2	12.00%	7.66%
3	12.00%	7.58%
Promedio	<b>11.97%</b>	<b>7.61%</b>

Nota. fuente: (elaboración propia)

Como observamos párrafos atrás el suelo CH (arcilla de alta plasticidad) presenta un CBR de 3.93 % y con el porcentaje óptimo de polvo de vidrio alcanza un CBR de 7.35% teniendo un incremento del 87.02 % y para el suelo CL (arcilla de baja plasticidad) presenta un CBR de 4.12 % y con el porcentaje óptimo de polvo de vidrio alcanza un CBR de 7.61% teniendo un incremento del 84.22 %

De la misma forma con los datos de la tabla 115 y 116 realizamos un análisis de T de 2 muestras con programa minitab 19 para comparar las medias de los dos grupos de suelo y

así verificar si existen diferencias o similitud entre el porcentaje óptimo de polvo de vidrio del suelo CH (arcilla de alta plasticidad) y CL (arcilla de baja plasticidad)

### Prueba T e IC de dos muestras: SUELO CH; SUELO CL

#### Método

$\mu_1$ : media de SUELO CH

$\mu_2$ : media de SUELO CL

Diferencia:  $\mu_1 - \mu_2$

*No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.*

**Tabla 117.** Estadísticas descriptivas suelo CH y CL

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
SUELO CH	3	0.11800	0.00100	0.00058
SUELO CL	3	0.119667	0.000577	0.00033

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

#### Estimación de la diferencia

Diferencia = -0.001667

IC de 95% para la diferencia = (-0.003788; 0.000455)

#### Prueba

Hipótesis nula:  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna:  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T = -2.50

GL=3

Valor P = 0.088

Según el análisis T de 2 muestras se obtiene un p-valor de 0.088 lo que resulta ser mayor a 0.05 lo que indica que las medias son estadísticamente iguales; en ese entender tanto para suelo CH (arcilla de alta plasticidad) y suelo CL (arcilla de baja plasticidad) el porcentaje

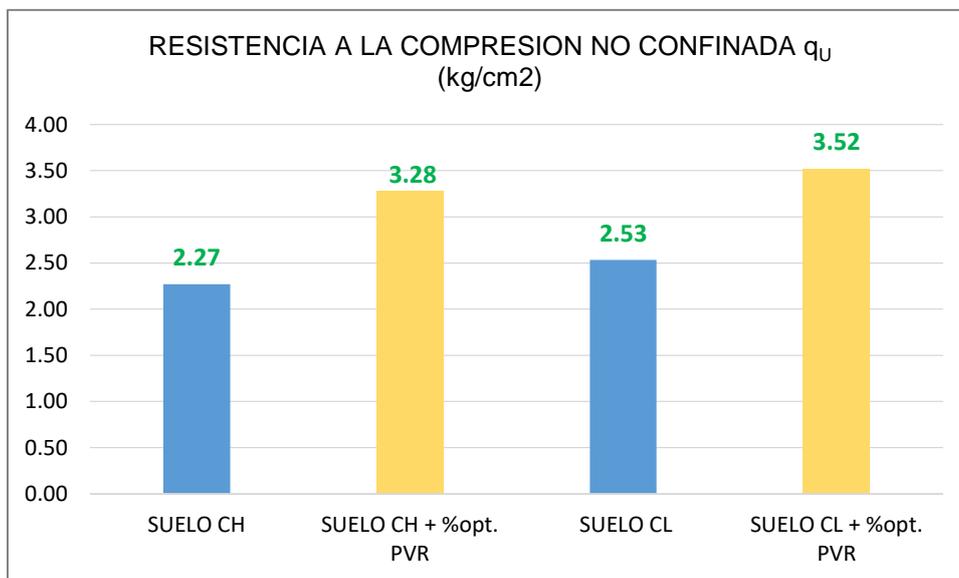
óptimo de polvo de vidrio reciclado será el mismo debido a que se obtendrán resultados similares estadísticamente.

### 5.7. Análisis de resultados de Ensayo de compresión no confinada.

En la muestra de suelo CH (arcilla de alta plasticidad) tiene una resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ) de 2.27 kg/cm<sup>2</sup> y al ser mezclada con el porcentaje óptimo de polvo de vidrio su resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ) subió a 3.28 kg/cm<sup>2</sup>. Como se muestra en la tabla 112.

En la muestra de suelo CL (arcilla de baja plasticidad) tiene una resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ) de 2.53 kg/cm<sup>2</sup> y al ser mezclada con el porcentaje óptimo de polvo de vidrio su resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ) subió a 3.52 kg/cm<sup>2</sup>. Como se muestra en la tabla 112.

**Gráfico 18.** Resultado resistencia a la compresión no confinada



Nota. fuente: (elaboración propia)

la resistencia nos ayuda a calificar la consistencia del suelo. En los cuatro casos las muestras califican como muy firme. Sin embargo; se observa una proximidad a calificar como dura al mezclar con el porcentaje óptimo de polvo de vidrio.

Para verificar lo mencionado anteriormente sobre la igualdad estadística de los porcentajes óptimos de polvo de vidrio reciclado tanto para suelo CH (arcilla de alta plasticidad) y suelo CL (arcilla de baja plasticidad) realizamos otro análisis t de 2 muestras con programa minitab 19 para datos de la tabla 285 con los valores obtenidos de la compresión no confinada mezclados con sus respectivos porcentajes óptimos de polvo de vidrio para cada tipo de suelo.

### Prueba T e IC de dos muestras: CH + % opt de PVR; CL + % opt de PVR

#### Método

$\mu_1$ : media de CH + % opt de PVR

$\mu_2$ : media de CL + % opt de PVR

Diferencia:  $\mu_1 - \mu_2$

*No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.*

**Tabla 118.** Estadísticas descriptivas suelo CH y CL + % opt. De PVR

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
CH + % opt de PVR	3	3.277	0.129	0.074
CL + % opt de PVR	3	3.5167	0.0451	0.026

*Nota.* fuente: (elaboración propia)

#### Estimación de la diferencia

Diferencia = -0.2400

IC de 95% para la diferencia = (-0.5794; 0.0994)

#### Prueba

Hipótesis nula:  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna:  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T = -3.04

GL=2

Valor P = 0.093

Según el análisis T de 2 muestras se obtiene un p-valor de 0.093 lo que resulta ser mayor a 0.05 lo que indica que las medias son estadísticamente iguales y se verifica lo demostrado anteriormente.

Por otra parte, al utilizar polvo de vidrio reciclado se logró una estabilización Química, que consiste en la adición de productos químicos o materiales con capacidad reactiva, que modifican su estructura interna a través de reacciones químicas. Debido a que el polvo de vidrio contiene bastante Sílice y este al interactuar con los componentes mineralógicos del suelo arcilloso forma productos cementantes lo cual mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo; disminuyendo el índice de plasticidad, la expansión, la trabajabilidad y por otra parte aumentando el valor de CBR y la resistencia a la compresión no confinada.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

#### Conclusión general

Se consiguió demostrar la hipótesis general **“El polvo de vidrio reciclado tiene una influencia positiva en las propiedades físicas y mecánicas de suelo arcilloso para sub-rasante de pavimentos de la zona ladrillera-cusco 2023”** por consecuencia de añadir polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10% y 15% a los suelos CH (arcilla de alta plasticidad) y suelo CL (arcilla de baja plasticidad) se concluye que el polvo de vidrio reciclado influye positivamente mejorando las propiedades físicas y mecánicas, reduciendo el valor del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, aumentando el valor del CBR y de la compresión no confinada; así los dos suelos al mezclarse con el porcentaje óptimo de polvo de vidrio reciclado pueden usarse a nivel de subrasante en la zona ladrillera.

#### Conclusión N°1

Se demostró la hipótesis específica N°1 **“El polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10%, 15% influye en las propiedades físicas (límites de Atterberg) de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-cusco 2023”** debido a la adición de polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10% y 15% se concluye que influye positivamente en los límites de Atterberg reduciendo los límites líquidos, límites plásticos y en consecuencia el índice de plasticidad, teniendo una reducción de 10.28%, 12.59% y 11.08% respectivamente para suelos CH (arcilla de alta plasticidad) y teniendo una reducción de 12.59%, 9.91% y 15.50% para suelo CL (arcilla de baja plasticidad).

#### Conclusión N°2

Se demostró la hipótesis específica N°2 **“El polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10% y 15% influye en las propiedades mecánicas ( relación de soporte – CBR ) de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-cusco 2023”** debido a la adición de polvo de vidrio reciclado en porcentajes de 5%, 10% y 15% se concluye que influye positivamente en las propiedades mecánicas disminuyendo el contenido óptimo de humedad, aumentando la máxima densidad seca y de

la misma forma aumenta el valor de CBR de los suelos CH (arcilla de alta plasticidad) alcanzando un CBR de 7.35% con un porcentaje óptimo de polvo de vidrio de 11.80% teniendo un incremento del 87.02 % y suelo CL (arcilla de baja plasticidad) alcanzando un CBR de 7.61% con un porcentaje óptimo de polvo de vidrio de 12.00% teniendo un incremento del 84.22 %.

### **Conclusión N°3**

Se demostró la hipótesis específica N°3 **“El porcentaje óptimo de polvo de vidrio reciclado influye en la Resistencia a la compresión no confinada de un suelo arcilloso para sub-rasante de pavimento de la zona ladrillera-cusco 2023.”** debido a la adición del porcentaje óptimo de polvo de vidrio reciclado se concluye que influye positivamente en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos CH (arcilla de alta plasticidad) aumentando de 2.27 kg/cm<sup>2</sup> a 3.28 kg/cm<sup>2</sup> teniendo un incremento de 44.49 % y del suelo CL (arcilla de baja plasticidad) aumento de 2.53 kg/cm<sup>2</sup> a 3.52 kg/cm<sup>2</sup> teniendo un incremento de 39.13 %.

### **Conclusión N°4**

Para los suelos CH (arcilla de alta plasticidad) y suelo CL (arcilla de baja plasticidad) se puede utilizar 11.80% o 12.00% de polvo de vidrio reciclado en cualquiera de los dos casos se obtendrán resultados de CBR estadísticamente iguales y serán los valores más altos.

### **Conclusión N°5**

Para los suelos CH (arcilla de alta plasticidad) y suelo CL (arcilla de baja plasticidad) a medida que se va añadiendo mayor porcentaje de polvo de vidrio reciclado el porcentaje de expansión disminuye. Mejorando positivamente la propiedad física del suelo.

## RECOMENDACIONES

### **Recomendación General:**

Se recomienda usar polvo de vidrio reciclado debido a su influencia positiva al mezclarse con el suelo arcilloso, mejorando las propiedades físicas y mecánicas, reduciendo el valor del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, aumentando el valor del CBR y de la compresión no confinada. así los dos suelos pueden usarse a nivel de subrasante en la zona ladrillera.

### **Recomendación N°1:**

Para los límites de Atterberg, se recomienda usar porcentajes de polvo de vidrio reciclado por encima del 15 %, ya que con este porcentaje se redujeron los valores de los límites líquidos, límites plásticos y en consecuencia el índice de plasticidad de los suelos CH (arcilla de alta plasticidad) y suelo CL (arcilla de baja plasticidad).

### **Recomendación N°2:**

Usar 11.80 % de polvo de vidrio reciclado en función al peso del suelo arcilloso CH (arcilla de alta plasticidad) para obtener un mejor valor de CBR llegando a incrementar de 3.93 % a 7.35 % y usar 12.00 % de polvo de vidrio reciclado en función al peso del suelo arcilloso CL (arcilla de baja plasticidad) para obtener un mejor valor de CBR llegando a incrementar de 4.12 % a 7.61 %.

### **Recomendación N°3:**

Se recomienda usar los porcentajes óptimos de polvo de vidrio reciclado para mejorar la resistencia a la compresión no confinada, los cuales son 11.80 % de polvo de vidrio reciclado en función al peso del suelo arcilloso CH (arcilla de alta plasticidad) incrementando la resistencia y usar 12.00 % de polvo de vidrio reciclado en función al peso del suelo arcilloso CL (arcilla de baja plasticidad) para incrementar la resistencia.

**Recomendación N°4:**

Realizar ensayos químicos al polvo de vidrio reciclado para comprender mejor su composición y el comportamiento que tiene al mezclarse con el suelo arcilloso y con otros componentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Badillo, J. & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de Suelos. Tomo 1. Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Limusa.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Chiclayo.
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. McGraw-Hill.
- Braja, M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. 4ta. Edición. Cengage Learning.
- Castillo, M., Rocha, A., Morales, J., Gutierrez, E., Chi, A., & Vázquez, E. (2020). Ecovitral: reciclado de vidrio. *Industria Ambiente*, 36 - 39.
- Casazola, C. & Orcon, M. (2023). *Influencia de la adición de polvo de vidrio reciclado en la estabilización de un suelo arcilloso con finos de cimentación superficial en el apv Sucso Auccaylle del distrito de san Sebastián, Cusco - 2022* (Tesis de pregrado). Universidad Andina del Cusco. Cusco, Perú.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. 5ta. Edición. Limusa.
- Epure, C., Munteanu, C., Istrate, B., Harja, M., & Buium, F. (2023). *Applications of Recycled and Crushed Glass (RCG) as a Substitute for Natural Materials in Various Fields—A Review*. *Materials*, 1-30.
- Fernández, J. (2003). *El vidrio*. Madrid, España: Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.
- Hernández Sampieri, R., Fernández C. & Baptista, L. (2014). *Metodología de la Investigación*. 6ta. Edición. McGraw-Hill.
- Mendoza Ticona, J. (2024). *Evaluación de la influencia del polvo de vidrio reciclado en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de la vía Huancané – Ojeria, Huancané, Puno 2023*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección de Suelos y Pavimentos*. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Lima, Perú.

Morales, L. (2017). *El vidrio en la edificación. propiedades, aplicaciones y estudios de fracturas en casos reales*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Pearson, C., Levacic, D., Bergant, D. & Diez, M. (2009). *Manual del Vidrio Plano*. 3ra. Edición. Caviplan.

Premathilaka, K., Liyanapathirana, D., Leo, C., & Hu, P. (2024). *Application of recycled waste glass to replace traditional quarried aggregates: A comprehensive review*. Journal of Building Engineering, 1-18

Pusari, O. & Rodriguez, J. (2020). *Estudio experimental de mejoramiento de las propiedades de resistencia al corte de un suelo expansivo con polvo de vidrio reciclado y fibras de polipropileno en la ciudad de Talara, departamento de Piura*. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú.

Quispe Vilca, D. (2021). *Estabilización de suelos expansivos con ceniza de mazorca de maíz en la ciudad del cusco*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). *Norma E.040, Vidrio*. Lima, Perú.

Rizgar, B., Aryan, S., Hawkar, I., Rabar, F., & Ako, D. (2020). *Strength improvement of expansive soil by utilizing waste glass*, 1-12.

Soberon Monja, B. (2022). *Estabilización de suelos arcillosos usando vidrio reciclado molido para su uso como subrasante mejorada en pavimentos urbanos en la urb. Ciudad del*

*Chofer, Chiclayo 2019.* (Tesis de pregrado). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Chiclayo, Perú.

Suárez, L., Franco, D., López, E., & Durán, S. (2018). *Evaluación de la influencia de la composición química y el tiempo de fusión en las propiedades físicas del vidrio obtenido a partir de material reciclado de botella.* *Revista Colombiana de Materiales*, 70-82.

## ANEXOS

Anexo 1: Certificado de uso de laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Av. de la cultura Nros. 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 testista, conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. EDGAR ALEXANDER SOTELO ESCOBAR, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023".

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Análisis granulométrico de suelos por tamizado	MTC E 107	06
02	Contenido de humedad total evaporable de un suelo	MTC E 108	06
03	Método de ensayo de análisis granulométrico por Medio del Hidrómetro	MTC E 109	02
04	Determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	MTC E 110 y MTC E 111	42
05	Método de ensayo para determinar la gravedad específica de sólidos de suelo mediante un picnómetro de agua	MTC E 113	02
06	Ensayo de Proctor Modificado	MTC E 115	26
07	Compresión no Confinada para muestras de suelo	MTC E 121	12
08	Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)	MTC E 132	24

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 31 de marzo del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO  
Facultad de Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

*Ing. Luz Marlene Nieba Palomino*  
Jefe de Laboratorio



Anexo 2: Certificado de calibración maquina CBR



## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP-392-2024

Página 1 de 6

Expediente : T 213-2024  
Fecha de Emisión : 2024-04-19

1. Solicitante : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL  
CUSCO  
Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 - CUSCO - CUSCO

2. Descripción del Equipo : ANILLO DE CARGA DE PRENSA CBR

Marca de Prensa : HUMBOLDT  
Modelo de Prensa : NO INDICA  
Serie de Prensa : 17-1575  
Código de Identificación : 016745

Marca de Anillo : HUMBOLDT  
Modelo de Anillo : H-4454  
Serie de Anillo : 1004216  
Capacidad del Anillo : 10000 lb  
Código de Identificación : NO INDICA

Marca del Dial : HUMBOLDT  
Modelo del Dial : H4450  
Serie del Dial : 171244906  
Procedencia : USA  
Código de Identificación : NO INDICA

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.

3. Lugar y fecha de Calibración  
AV. DE LA CULTURA NRO. 733 - CUSCO - CUSCO  
17 - ABRIL - 2024

4. Método de Calibración  
La calibración se realizó por el método de comparación del dial del anillo y la lectura de celda patrón.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	ZEMIC	MT-8009-2023	SISTEMA INTERNACIONAL
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

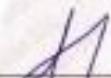
6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	16.5	16.6
Humedad %	51	51

7. Observaciones

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.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Lpayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Anexo 3: Panel fotográfico.

**Figura 56.** Extracción de material de suelo arcilloso



**Nota.** En las figuras a, b, c y d podemos observar las ubicaciones y excavaciones de los puntos de exploración para poder obtener las muestras de suelo arcilloso.

**Figura 57.** Materiales y lavado de material por malla N° 200



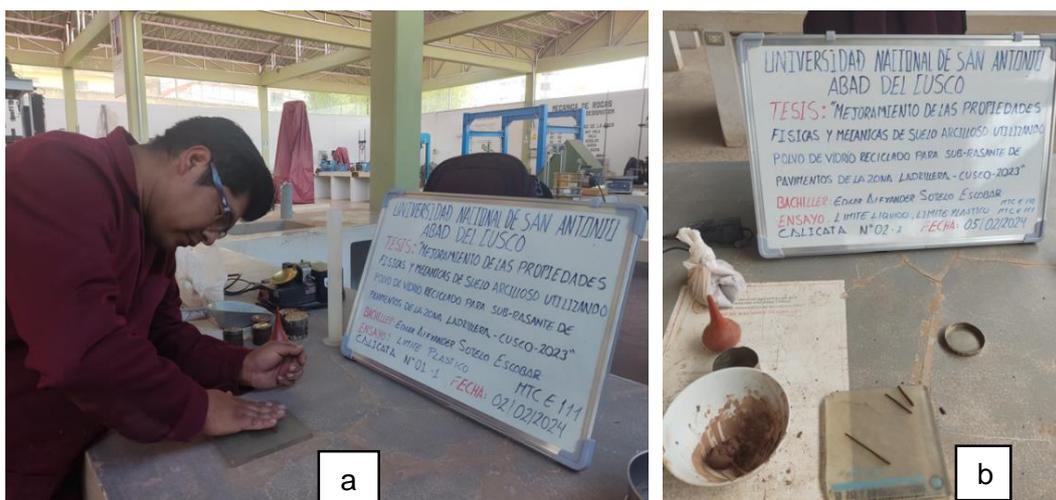
**Nota.** En las figuras a y b podemos observar los materiales para realizar el lavado de muestra de suelo arcilloso por la malla N°200. Y en las figuras c y d se muestra dicho lavado mencionado.

**Figura 58.** Procedimiento de límite líquido para análisis ANOVA



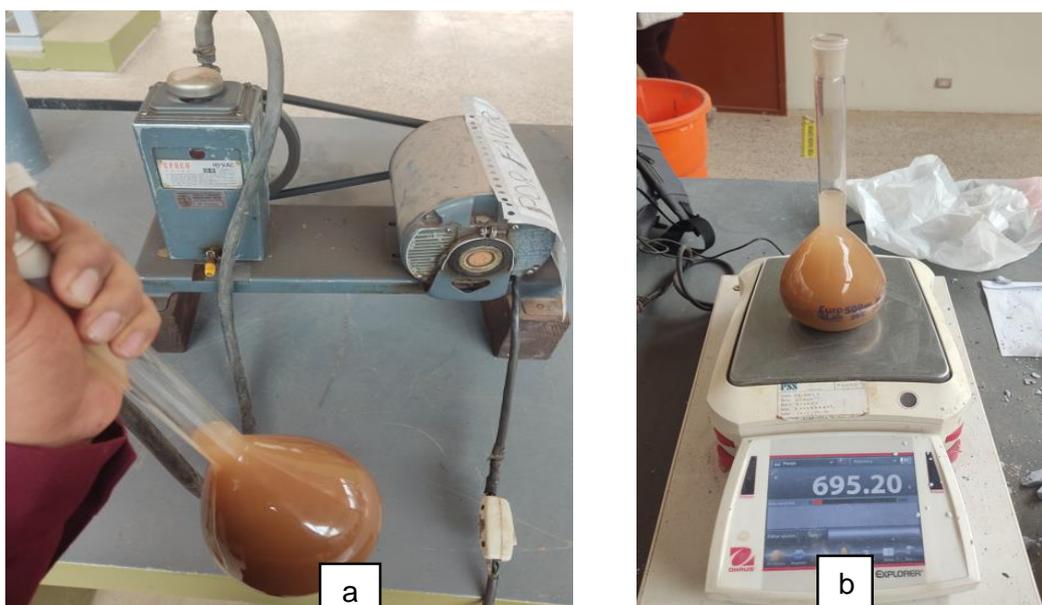
Nota. En las figuras a, b y c podemos observar el procedimiento para la determinación del límite líquido para el análisis de ANOVA.

**Figura 59.** Procedimiento de límite plástico para análisis ANOVA



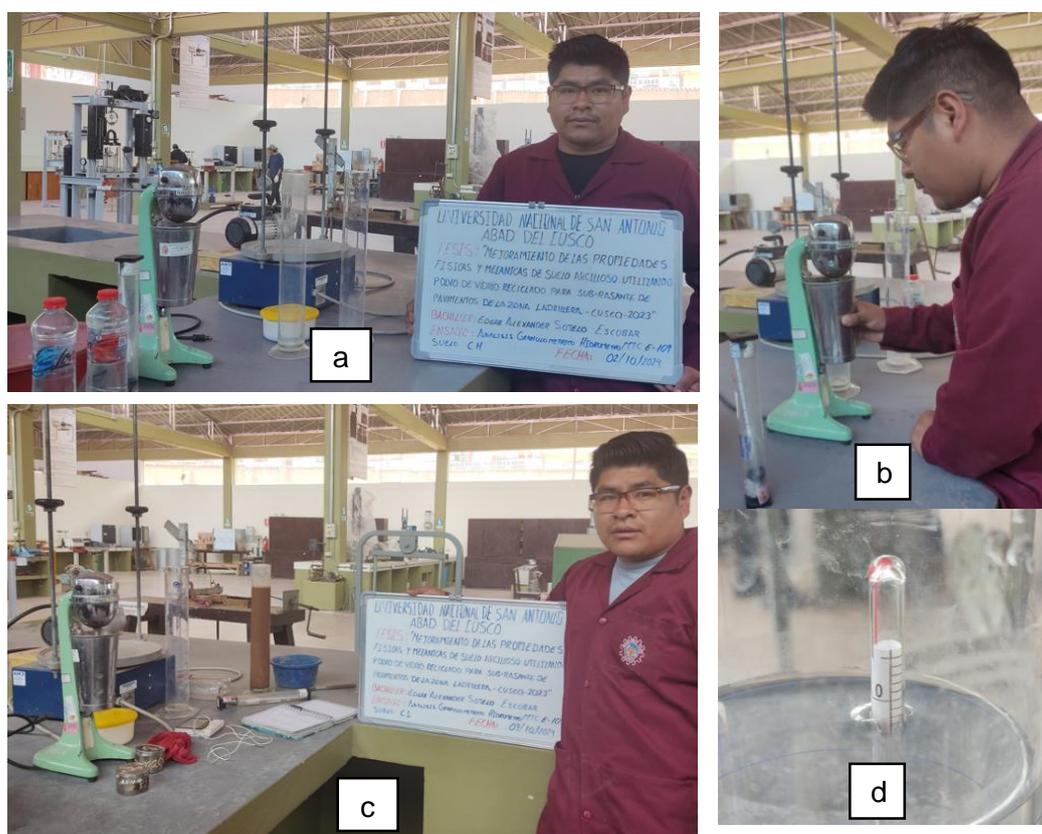
Nota. En las figuras a y b podemos observar el procedimiento para la determinación del límite plástico para el análisis de ANOVA.

**Figura 60.** Procedimiento para peso específico de los sólidos



*Nota.* En las figuras a y b podemos apreciar el procedimiento para determinar el peso específico de los sólidos.

**Figura 61.** Análisis granulométrico por hidrómetro



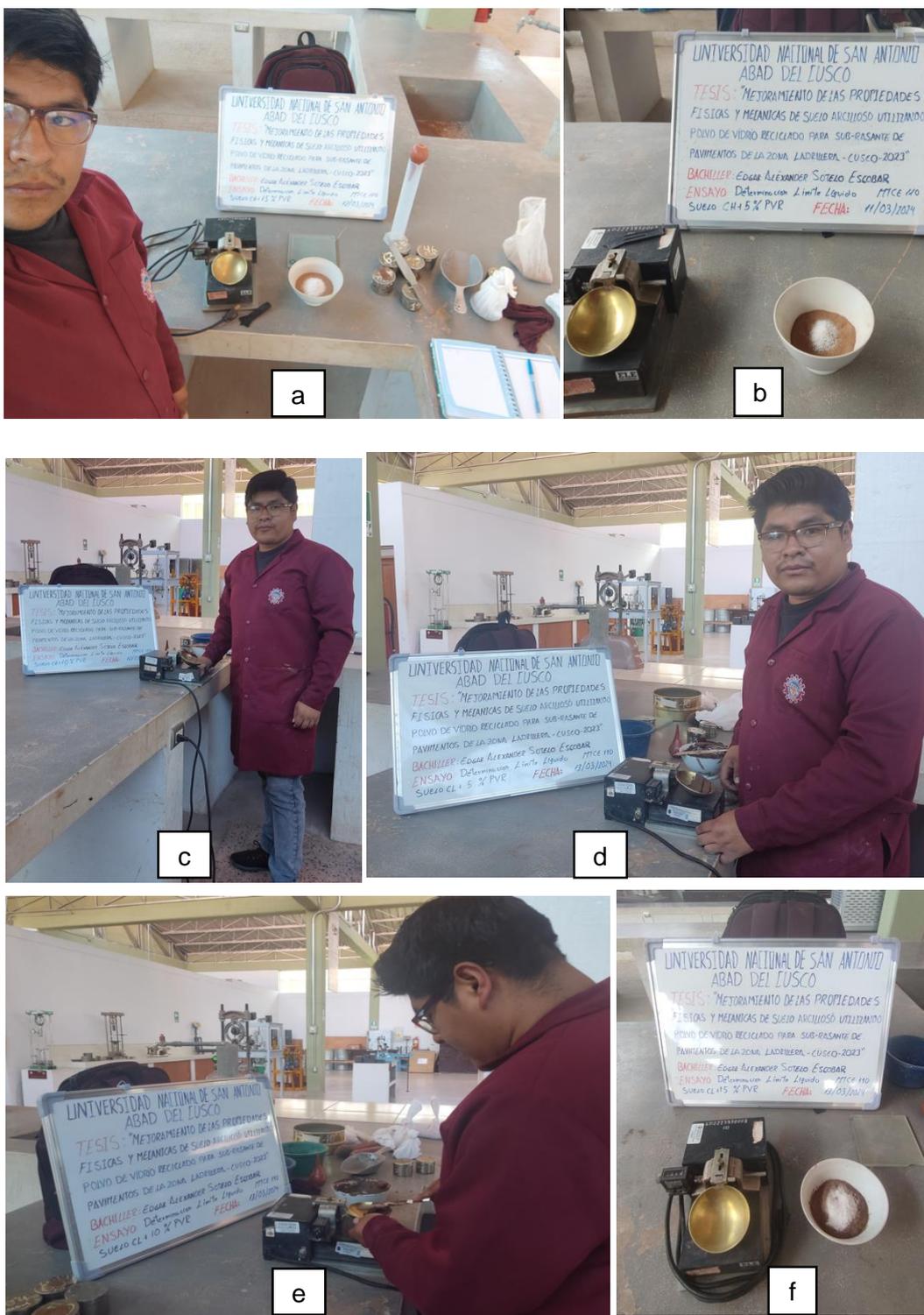
*Nota.* En las figuras a, b, c y d podemos observar la realización del ensayo granulométrico de suelos por hidrómetro.

**Figura 62.** Obtención de polvo de vidrio reciclado



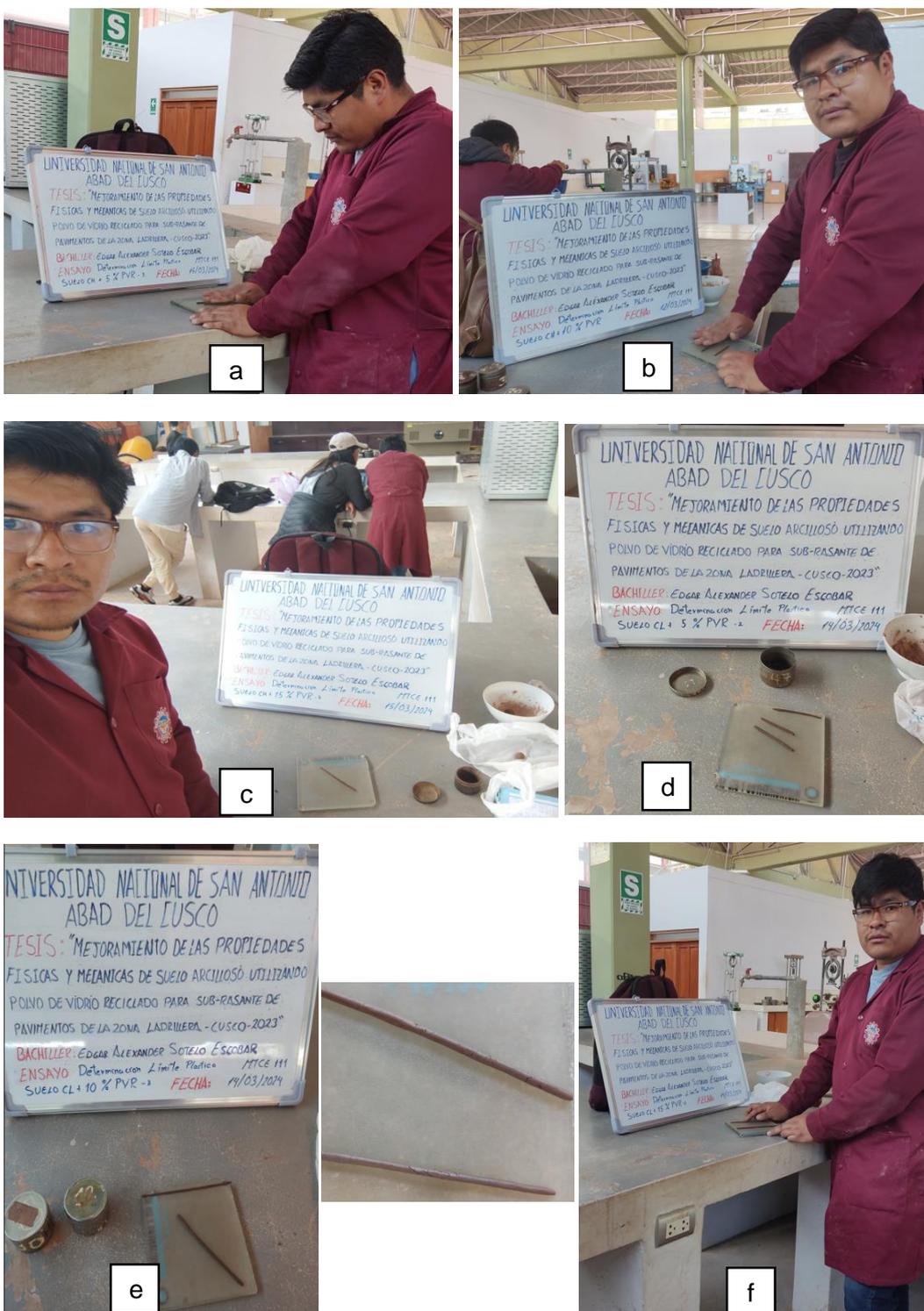
*Nota.* En las figuras a y b podemos apreciar el local de la vidriería “SALAS” de donde se recolecto los pedazos de vidrio y en las figuras c, d, e y f podemos observar el proceso de trituración y molida del vidrio reciclado hasta obtener polvo.

**Figura 63.** Procedimiento para la determinación del límite líquido



*Nota.* En las figuras a, b, c, d, e y f podemos observar el procedimiento para la determinación del límite líquido adicionando diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado para suelos CH y CL.

**Figura 64.** Procedimiento para la determinación del límite plástico



Nota. En las figuras a, b, c, d, e y f podemos observar el procedimiento para la determinación del límite plástico adicionando diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado para suelos CH y CL.

**Figura 65.** Pesado y mezclado de suelo y polvo de vidrio



*Nota.* En las figuras a y b podemos observar el pesado de material de suelo arcilloso CH y CL y pesado de polvo de vidrio reciclado en los diferentes porcentajes y en las figuras a y b podemos apreciar el procedimiento de mezclado del material de suelo arcilloso CH y CL con los diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado para el ensayo de proctor modificado.

**Figura 66.** Proceso de compactación proctor modificado



*Nota.* En las figuras a y b podemos observar la compactación de material de suelo arcilloso CH y CL mezclado con los diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado para el ensayo de proctor modificado y en las figuras c y d podemos apreciar el pesado del molde con el material compactado para ensayo proctor modificado.

**Figura 67.** Pesado de suelo y polvo de vidrio para CBR



*Nota.* En las figuras a, b y c podemos observar el pesado de material de suelo arcilloso CH y CL y pesado de polvo de vidrio reciclado en los diferentes porcentajes.

**Figura 68.** Proceso de compactación CBR



*Nota.* En las figuras a, b y c podemos apreciar la compactación de material de suelo arcilloso CH y CL mezclado con los diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado para el ensayo de CBR.

**Figura 69.** Pesado de molde CBR



*Nota.* En las figuras a, b y c podemos apreciar el pesado del molde con el material compactado para ensayo CBR.

**Figura 70.** Inmersión de moldes de CBR



*Nota.* En las figuras a y b podemos observar cómo se sumergen los tres moldes de CBR dentro de una poza de agua para que se sature durante 4 días.

**Figura 71.** Penetración de moldes CBR



*Nota.* En las figuras a, b y c podemos observar el procedimiento de penetración de los moldes de 12, 25 y 56 golpes de los suelos CH y CL mezclado con diferentes porcentajes de polvo de vidrio reciclado.

**Figura 72.** Determinación de contenido de humedad CBR



*Nota.* En las figuras a y b observamos la colocación de las capsulas dentro del horno para así determinar contenidos de humedad.

**Figura 73.** Ensayo compresión no confinada



*Nota.* En las figuras a y b podemos observar el pesado de las probetas cilíndricas y en las figuras c, d y e observamos la colocación de las probetas cilíndricas en el aparato de compresión se aplica la carga hasta que se produzca la rotura.

Anexo 4: Procesamiento y cálculo de datos.

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

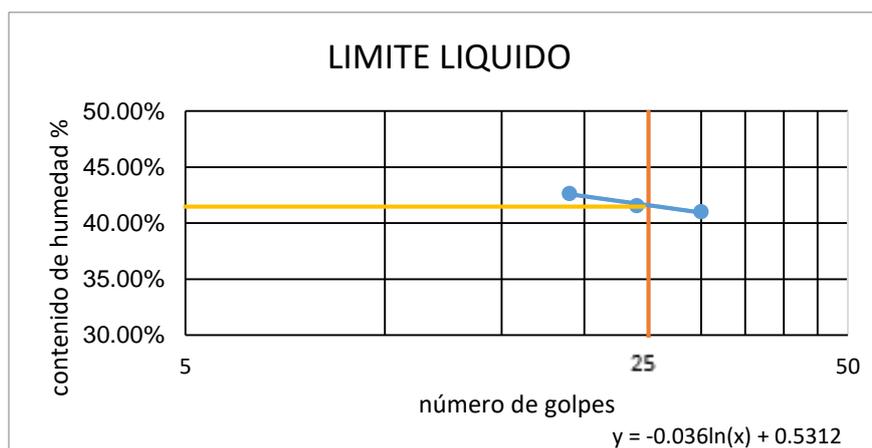
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Calicata 1

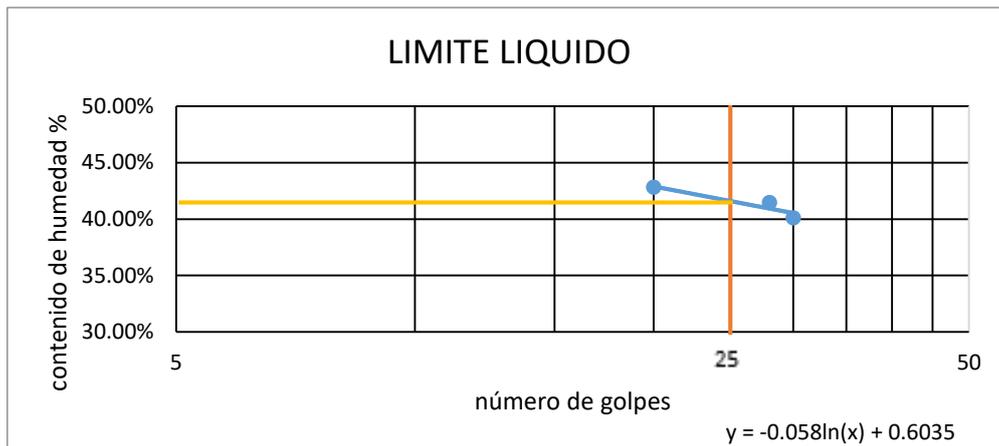
## Límite líquido calicata 1 - 1

.número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	19	77.15	72.79	4.36	62.57	10.22	42.66%
2	24	71.96	67.81	4.15	57.83	9.98	41.58%
3	30	81.49	75.2	6.29	59.87	15.33	41.03%



## Límite líquido calicata 1 - 2.

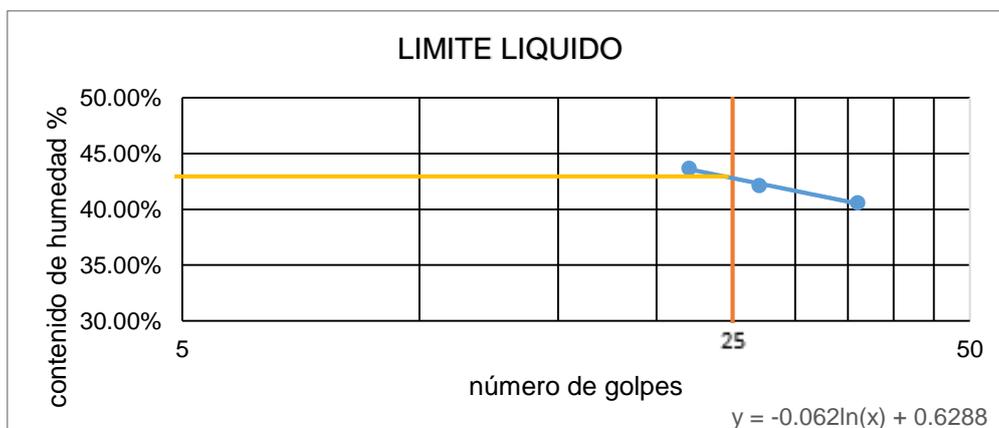
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	20	74.48	69.6	4.88	58.20	11.4	42.81%
2	28	73.76	69.13	4.63	57.96	11.17	41.45%
3	30	77.89	73.29	4.6	61.82	11.47	40.10%



$$L.L = 0.4168 = 41.68 \%$$

Límite líquido calicata 1 - 3.

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	22	76.45	70.46	5.99	56.75	13.71	43.69%
2	27	78.5	72.76	5.74	59.14	13.62	42.14%
3	36	76.4	71.72	4.68	60.19	11.53	40.59%



$$L.L = 0.4292 = 42.92 \%$$

### DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

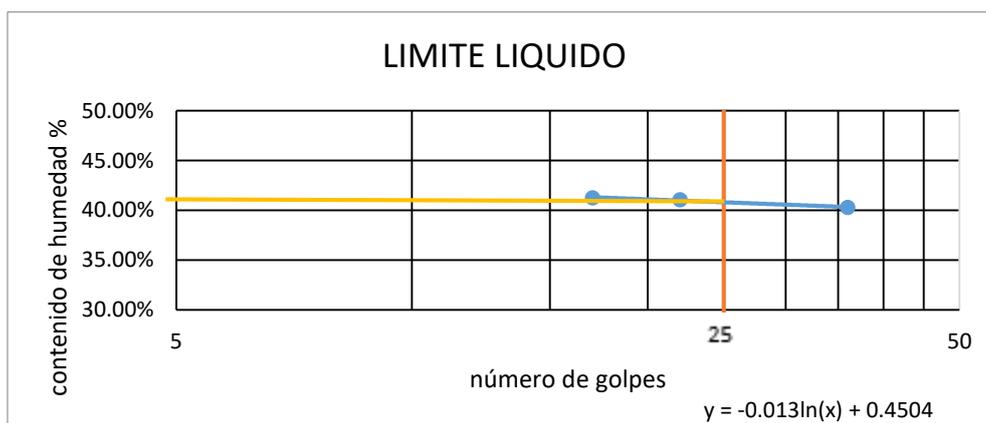
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Calicata 2

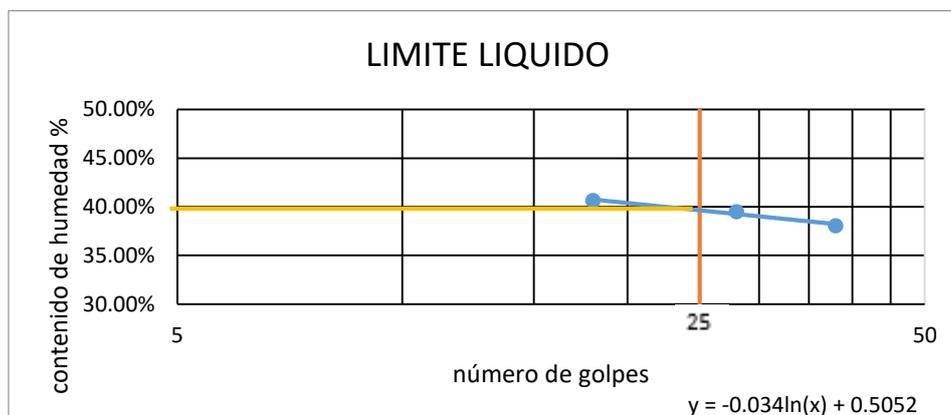
#### Límite líquido calicata 2 - 1.

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	17	76.26	71.85	4.41	61.16	10.69	41.25%
2	22	77.66	72.99	4.67	61.62	11.37	41.07%
3	36	77.15	71.44	5.71	57.27	14.17	40.30%



#### Límite líquido calicata 2 - 2.

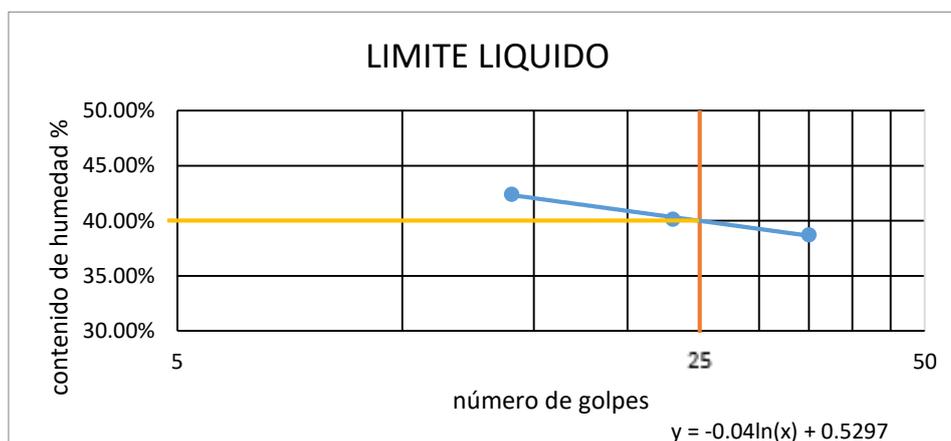
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	18	74.46	70.33	4.13	60.17	10.16	40.65%
2	28	72.77	68.22	4.55	56.7	11.52	39.50%
3	38	74.32	69.72	4.6	57.64	12.08	38.08%



$$L.L = 0.3958 = 39.58 \%$$

Límite líquido calicata 2 - 3.

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	14	77.9	71.83	6.07	57.52	14.31	42.42%
2	23	73.72	69.05	4.67	57.42	11.63	40.15%
3	35	76.81	72.44	4.37	61.16	11.28	38.74%



$$L.L = 0.4009 = 40.09 \%$$

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

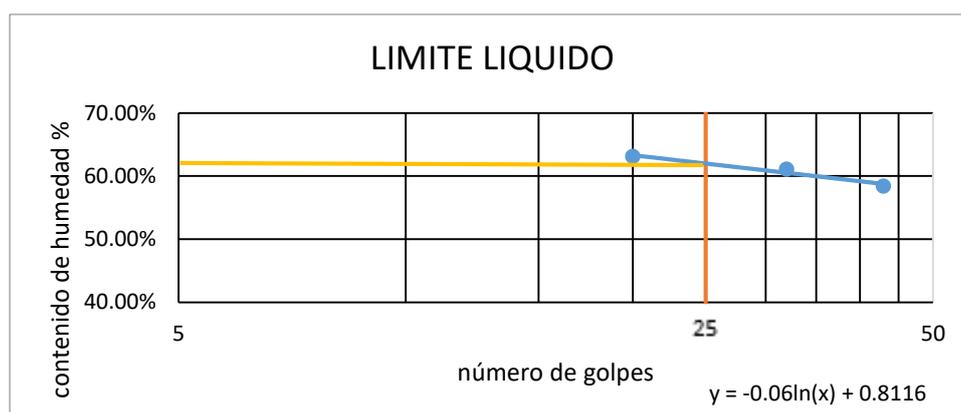
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Calicata 3

## Límite líquido calicata 3 - 1.

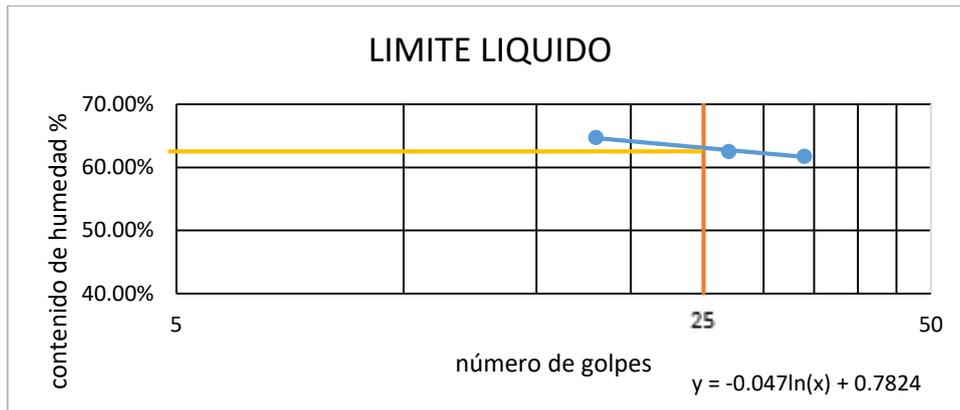
número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	20	69.64	65.35	4.29	58.55	6.80	63.09%
2	32	72.90	66.98	5.92	57.29	9.69	61.09%
3	43	70.02	64.56	5.46	55.21	9.35	58.40%



$$L.L = 0.6185 = 61.85 \%$$

## Límite líquido calicata 3 - 2.

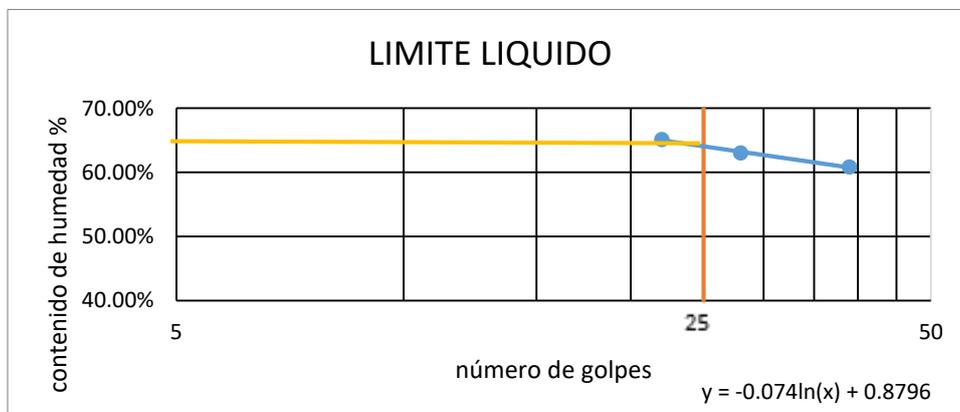
número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	18	73.67	67.93	5.74	59.06	8.87	64.71%
2	27	76.97	69.76	7.21	58.23	11.53	62.53%
3	34	78.26	70.81	7.45	58.75	12.06	61.77%



$$L.L = 0.6311 = 63.11 \%$$

Límite líquido calicata 3 - 3.

número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	22	77.00	69.87	7.13	58.92	10.95	65.11%
2	28	73.75	67.34	6.41	57.17	10.17	63.03%
3	39	76.85	70.42	6.43	59.85	10.57	60.83%



$$L.L = 0.6414 = 64.14 \%$$

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

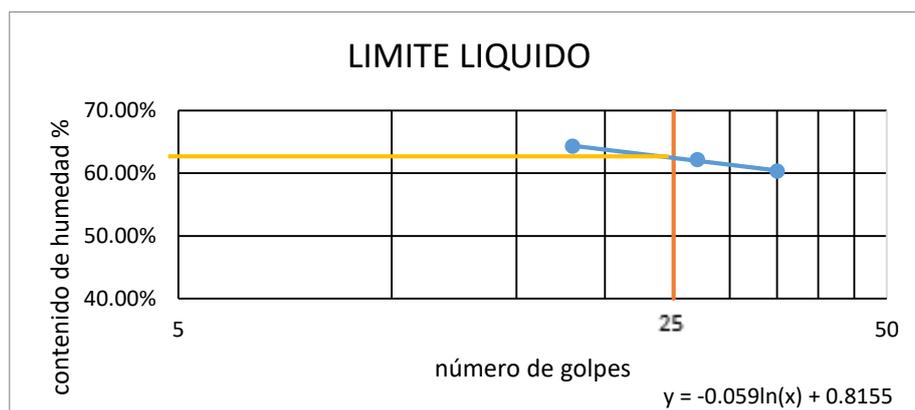
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Calicata 4

## Límite líquido calicata 4 - 1.

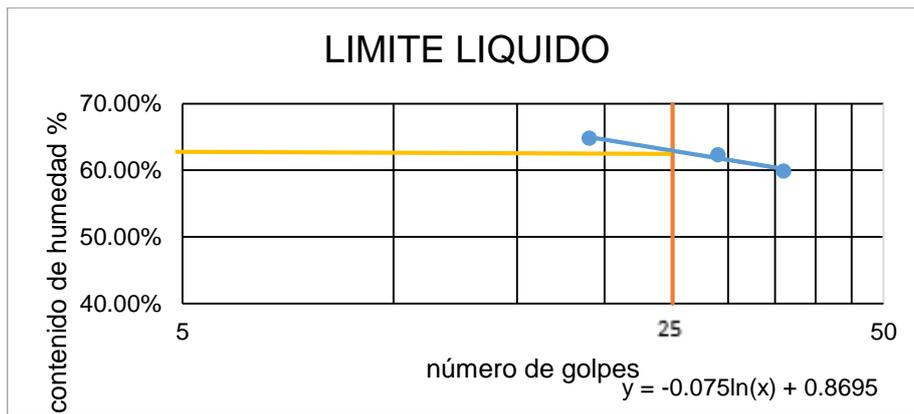
número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	18	75.31	68.75	6.56	58.55	10.20	64.31%
2	27	70.60	65.49	5.11	57.27	8.22	62.17%
3	35	69	63.8	5.2	55.18	8.62	60.32%



$$L.L = 0.6256 = 62.56 \%$$

## Límite líquido calicata 4 - 2.

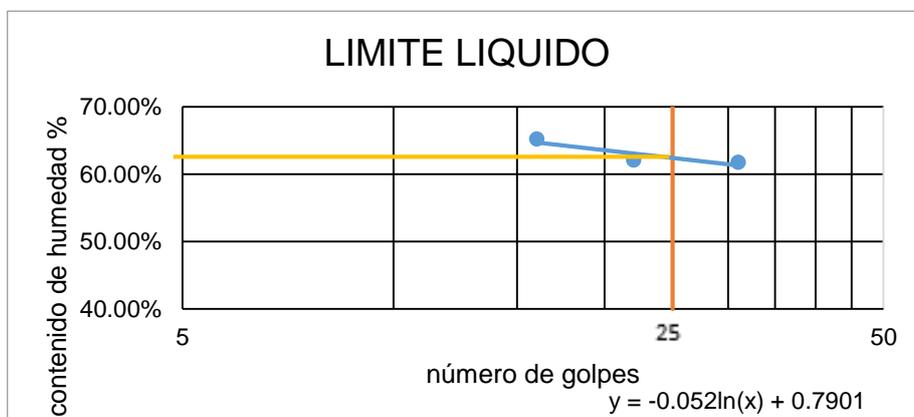
número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	19	77.63	70.32	7.31	59.04	11.28	64.80%
2	29	77.89	70.54	7.35	58.75	11.79	62.34%
3	36	77.91	70.54	7.37	58.23	12.31	59.87%



L.L = 0.6281 = 62.81 %

Límite líquido calicata 4 - 3.

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	16	75.83	69.15	6.68	58.91	10.24	65.23%
2	22	75.64	68.56	7.08	57.16	11.4	62.11%
3	31	74.67	69.01	5.66	59.85	9.16	61.79%



L.L = 0.6227 = 62.27 %

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

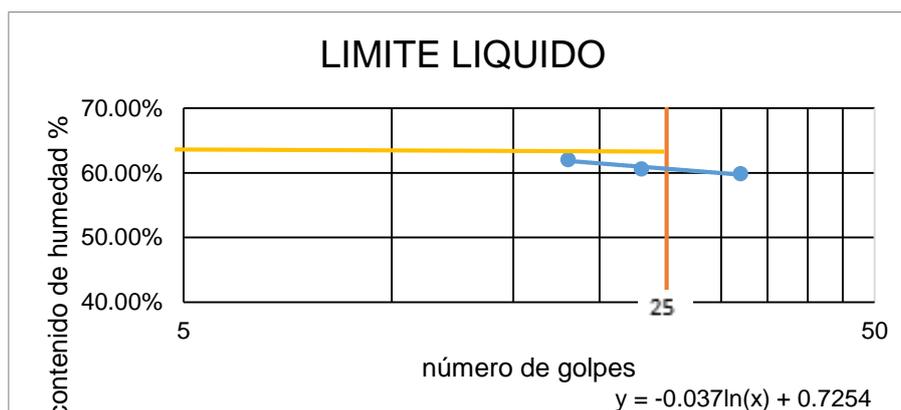
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Calicata 5

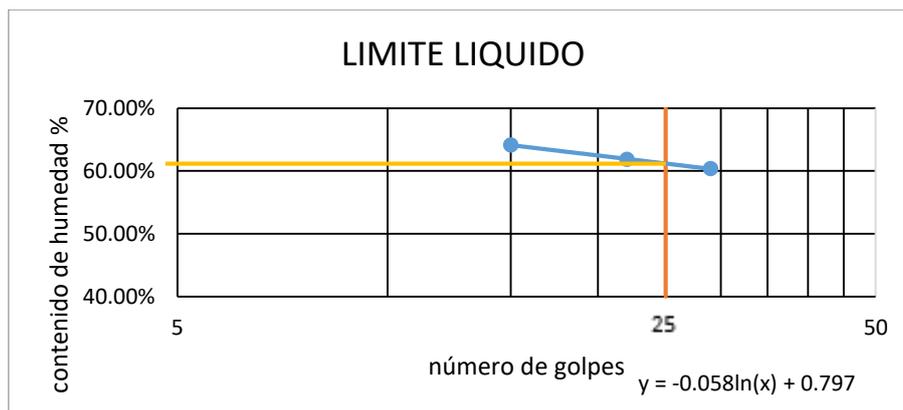
## Límite líquido calicata 5 - 1.

número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	18	69.45	63.68	5.77	54.38	9.30	62.04%
2	23	79.17	72.43	6.74	61.31	11.12	60.61%
3	32	73.58	67.3	6.28	56.81	10.49	59.87%



## Límite líquido calicata 5 - 2

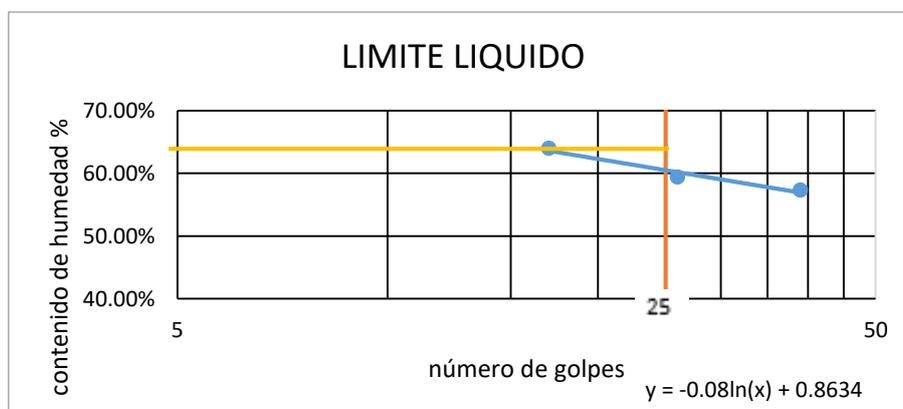
número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	15	75.08	68.6	6.48	58.5	10.10	64.16%
2	22	71.02	66.09	4.93	58.12	7.97	61.86%
3	29	78.36	70.39	7.97	57.19	13.2	60.38%



$$L.L = 0.6103 = 61.03 \%$$

Límite líquido calicata 5 - 3.

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	17	72.52	66.91	5.61	58.14	8.77	63.97%
2	26	66.87	60.94	5.93	50.96	9.98	59.42%
3	39	72.56	67.43	5.13	58.48	8.95	57.32%



$$L.L = 0.6059 = 60.59 \%$$

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

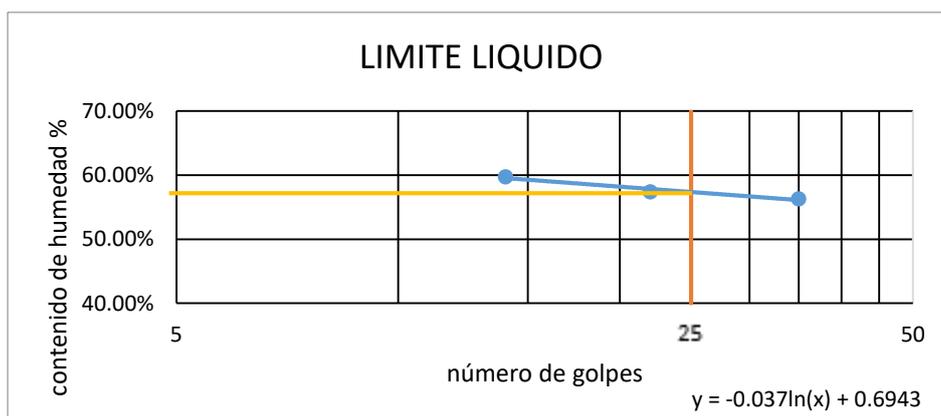
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Calicata 6

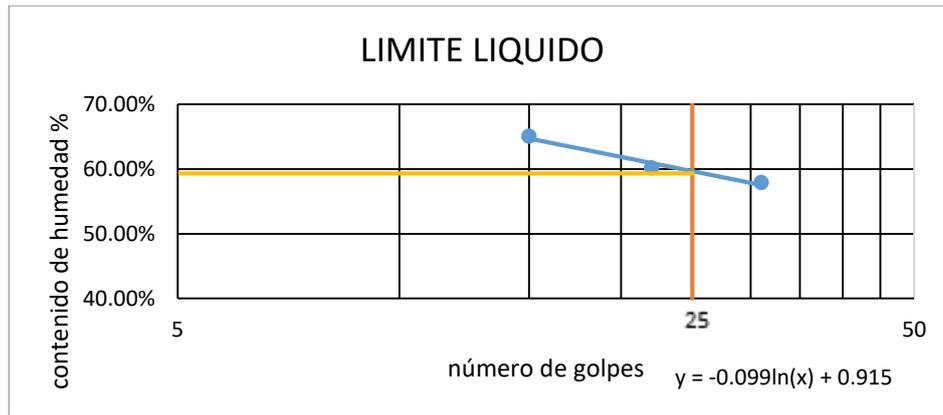
## Límite líquido calicata 6 - 1

número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	14	90.05	79.76	10.29	62.54	17.22	59.76%
2	22	81.11	72.92	8.19	58.66	14.26	57.43%
3	35	75.58	69.92	5.66	59.87	10.05	56.32%



## Límite líquido calicata 6 - 2.

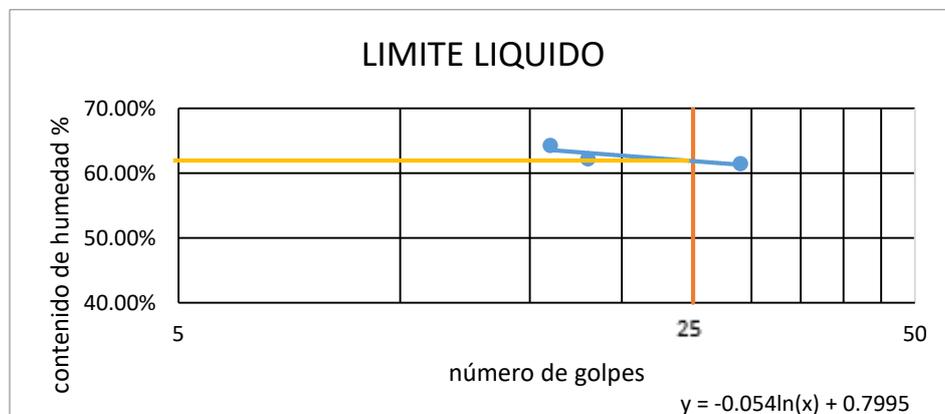
número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	15	88.2	76.37	11.83	58.19	18.18	65.07%
2	22	86.94	77.5	9.44	61.81	15.69	60.17%
3	31	88.13	77.14	10.99	58.17	18.97	57.93%



$$L.L = 0.5963 = 59.63 \%$$

Limite líquido calicata 6 - 3.

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	16	81.46	71.79	9.67	56.75	15.04	64.30%
2	18	88.02	76.52	11.5	58.04	18.48	62.23%
3	29	84.71	75.37	9.34	60.18	15.19	61.49%



$$L.L = 0.6257 = 62.57 \%$$

## DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS, MTC E 111

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Calicatas

## Calculo de límite plástico calicata 1

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	Promedio
C1 - 1							
1	27.35	26.33	1.02	21.69	4.64	21.98%	22.06%
2	26.93	25.98	0.95	21.69	4.29	22.14%	
C1 - 2							
3	27.65	26.66	0.99	22.12	4.54	21.81%	21.72%
4	26.93	25.98	0.95	21.59	4.39	21.64%	
C1 - 3							
5	64.63	63.61	1.02	58.94	4.67	21.84%	21.91%
6	62.98	61.96	1.02	57.32	4.64	21.98%	

## Cálculo del límite plástico calicata 2

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	Promedio
C2 - 1							
1	65.92	64.78	1.14	59.86	4.92	23.17%	22.49%
2	65.05	63.99	1.06	59.13	4.86	21.81%	
C2 - 2							
3	63.32	62.44	0.88	58.05	4.39	20.05%	21.37%
4	63.91	62.85	1.06	58.18	4.67	22.70%	
C2 - 3							
5	68.69	67.62	1.07	63.08	4.54	23.57%	22.90%
6	62.72	61.64	1.08	56.78	4.86	22.22%	

## Cálculo del límite plástico calicata 3

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	Promedio
C3 - 2							
1	26.94	25.74	1.2	21.71	4.03	29.78%	29.14%
2	27.01	25.81	1.2	21.6	4.21	28.50%	
C3 - 2							
3	26.9	25.75	1.15	21.56	4.19	27.45%	28.96%
4	26.29	25.15	1.14	21.41	3.74	30.48%	
C3 - 2							
5	26.72	25.42	1.3	21.17	4.25	30.59%	29.39%
6	28.3	27.06	1.24	22.66	4.4	28.18%	

## Cálculo del límite plástico calicata 4

número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	Promedio
C4 - 1							
1	66.7	65.47	1.23	61.31	4.16	29.57%	30.31%
2	62.46	61.1	1.36	56.72	4.38	31.05%	
C4 - 2							
3	60.22	58.9	1.32	54.4	4.5	29.33%	29.60%
4	66.9	65.58	1.32	61.16	4.42	29.86%	
C4 - 3							
5	62.86	61.74	1.12	58.06	3.68	30.43%	29.75%
6	63.16	61.66	1.5	56.5	5.16	29.07%	

## Cálculo del límite plástico calicata 5

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	Promedio
C5 - 1							
1	67.54	66.21	1.33	61.65	4.56	29.17%	29.27%
2	62.5	61.19	1.31	56.73	4.46	29.37%	
C5 - 2							
3	63.65	62.25	1.4	57.6	4.65	30.11%	29.71%
4	63.01	61.72	1.29	57.32	4.4	29.32%	
C5 - 2							
5	62.78	61.55	1.23	57.56	3.99	30.83%	30.24%
6	64.87	63.42	1.45	58.53	4.89	29.65%	

## Cálculo del límite plástico calicata 6

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	Promedio
C6 - 2							
1	27.54	26.25	1.29	21.68	4.57	28.23%	28.43%
2	27.78	26.42	1.36	21.67	4.75	28.63%	
C6 - 2							
3	27.37	26.07	1.3	21.56	4.51	28.82%	28.16%
4	27.86	26.62	1.24	22.11	4.51	27.49%	
C6 - 2							
5	63.13	61.83	1.3	57.3	4.53	28.70%	29.27%
6	65.01	63.61	1.4	58.92	4.69	29.85%	

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR HIDRÓMETRO, MTC E 109

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

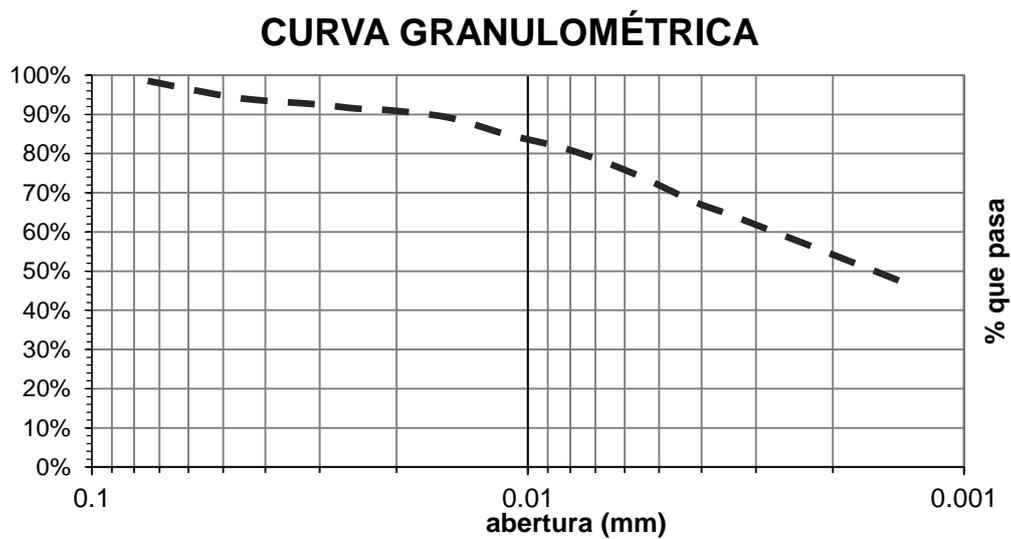
Muestra: Suelo CH

## Análisis granulométrico por hidrómetro suelo CH

Tiempo	Lectura g/L	Temperatura °C	corrección por temperatura (Ct)	lectura corregida (Rc)	distancia a la lectura R (L1)	profundidad efectiva (L)	K	diámetro D (cm/min) (mm)	porcentaje más fino (PMF)
20 s	51.6	18.7	-0.366	45.33	2.40	8.62	0.01463	0.0744	98.56%
40 s	49.5	20.6	0.167	43.77	2.65	8.88	0.01429	0.0521	95.15%
1 min	48.8	20.8	0.227	43.13	2.76	8.98	0.01425	0.0427	93.76%
2 min	48.3	20.6	0.167	42.57	2.85	9.08	0.01429	0.0304	92.55%
3 min	47.7	21	0.288	42.09	2.93	9.15	0.01422	0.0248	91.50%
4 min	47.5	21.2	0.349	41.95	2.95	9.18	0.01418	0.0215	91.20%
8 min	46.5	21.5	0.441	41.04	3.10	9.32	0.01413	0.0153	89.23%
15 min	44.5	21.7	0.504	39.10	3.42	9.64	0.01410	0.0113	85.02%
30 min	42.5	22.2	0.664	37.26	3.72	9.94	0.01401	0.0081	81.02%
60 min	39.5	23	0.929	34.53	4.16	10.39	0.01388	0.0058	75.07%
120 min	35.5	24.5	1.454	31.05	4.73	10.96	0.01364	0.0041	67.52%
180 min	33.5	25.5	1.826	29.43	5.00	11.22	0.01349	0.0034	63.97%
1320 min	29.5	14.9	-1.248	22.35	6.16	12.38	0.01536	0.0015	48.60%
1579 min	27.5	18.4	-0.444	21.16	6.35	12.58	0.01468	0.0013	45.99%
1607 min	27.0	18.6	-0.392	20.71	6.42	12.65	0.01465	0.0013	45.02%

Diámetro y porcentajes que pasa

<b>D (mm)</b>	<b>PMF</b>
<b>0.0750</b>	<b>99.43%</b>
0.0744	98.56%
0.0521	95.15%
0.0427	93.76%
0.0304	92.55%
0.0248	91.50%
0.0215	91.20%
0.0153	89.23%
0.0113	85.02%
0.0081	81.02%
0.0058	75.07%
<b>0.0050</b>	<b>71.53%</b>
0.0041	67.52%
0.0034	63.97%
0.0015	48.60%
0.0013	45.99%
<b>0.0013</b>	<b>45.02%</b>



Granulometría de suelo CH (arcilla de alta plasticidad)

0.57 % arena

27.90 % limo

71.53 % arcilla

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR HIDRÓMETRO, MTC E 109

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

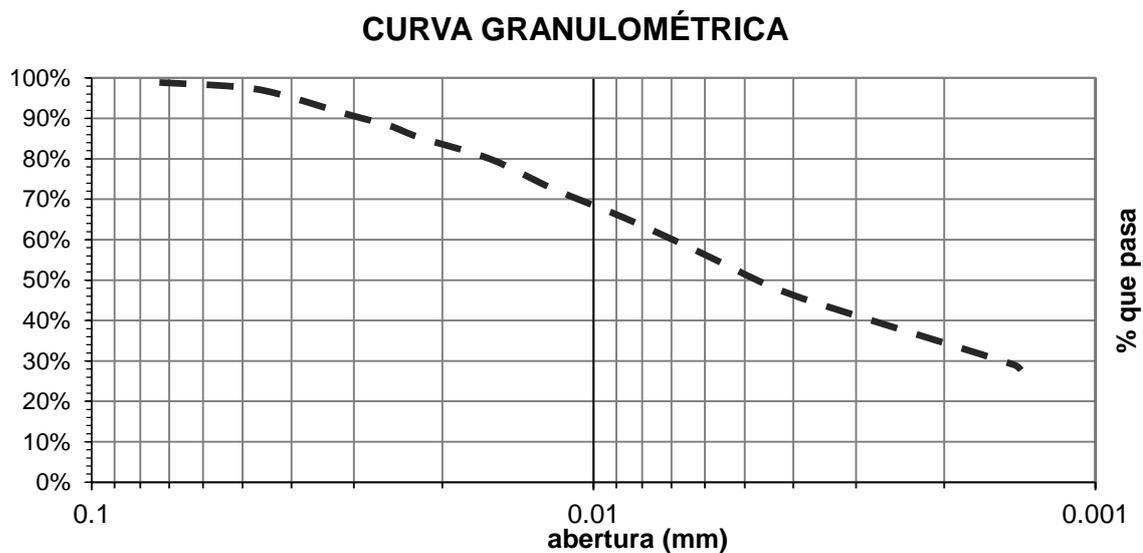
Muestra: Suelo CL

## Análisis granulométrico por hidrómetro suelo CL

Tiempo	Lectura g/L	Temperatura °C	corrección por temperatura (Ct)	lectura corregida (Rc)	Distancia a la lectura R (L1)	profundidad efectiva (L)	K	diámetro D (cm/min) (mm)	porcentaje más fino (PMF)
20 s	52.5	18.4	-0.444	46.16	2.26	8.49	0.01451	0.0732	98.86%
40 s	52	18.5	-0.418	45.68	2.34	8.57	0.01449	0.0519	97.84%
1 min	51.2	18.5	-0.418	44.88	2.47	8.70	0.01449	0.0427	96.13%
2 min	48.8	18.5	-0.418	42.48	2.86	9.09	0.01449	0.0309	90.99%
3 min	47.5	18.5	-0.418	41.18	3.08	9.30	0.01449	0.0255	88.20%
4 min	46.0	19	-0.286	39.81	3.30	9.53	0.01440	0.0222	85.28%
8 min	43.5	19	-0.286	37.31	3.71	9.93	0.01440	0.0160	79.92%
15 min	40.0	19.2	-0.231	33.87	4.27	10.50	0.01436	0.0120	72.54%
30 min	36.5	19.7	-0.093	30.51	4.82	11.05	0.01428	0.0087	65.34%
60 min	32.5	20.5	0.138	26.74	5.44	11.66	0.01414	0.0062	57.27%
120 min	28.0	21.9	0.568	22.67	6.10	12.33	0.01390	0.0045	48.55%
190 min	25.5	23.1	0.963	20.56	6.45	12.67	0.01370	0.0035	44.04%
1397 min	20.0	18	-0.547	13.55	7.59	13.82	0.01458	0.0015	29.03%
1440 min	19.0	19.5	-0.149	12.95	7.69	13.92	0.01431	0.0014	27.74%

## Diámetro y porcentajes que pasa

<b>D (mm)</b>	<b>PMF</b>
<b>0.0750</b>	<b>99.71%</b>
0.0732	98.86%
0.0519	97.84%
0.0427	96.13%
0.0309	90.99%
0.0255	88.20%
0.0222	85.28%
0.0160	79.92%
0.0120	72.54%
0.0087	65.34%
0.0062	57.27%
<b>0.0050</b>	<b>51.22%</b>
0.0045	48.55%
0.0035	44.04%
0.0015	29.03%
<b>0.0014</b>	<b>27.74%</b>



Granulometría de suelo CL (arcilla de baja plasticidad)

0.29 % arena

48.49 % limo

51.22 % arcilla

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

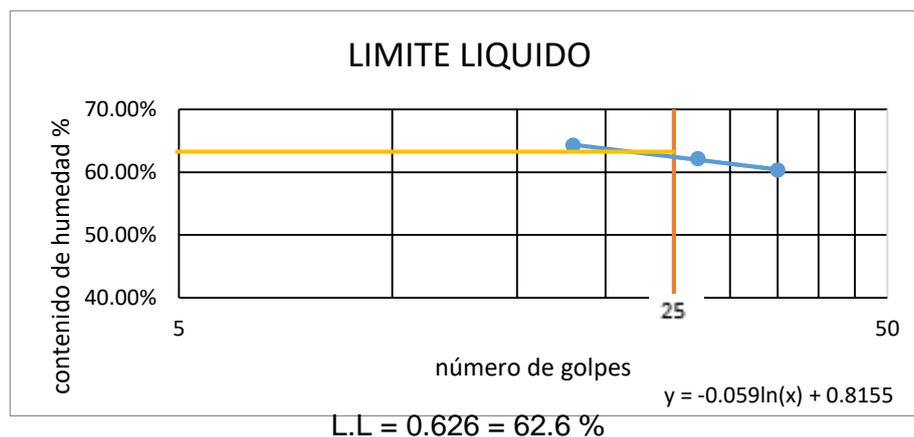
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH

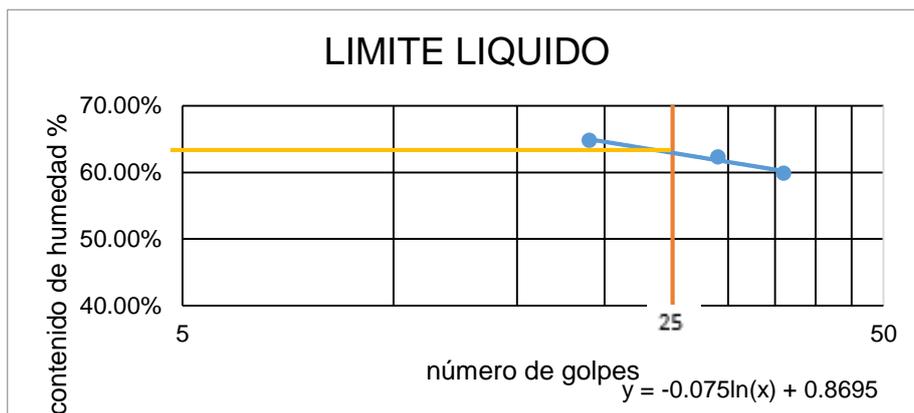
## Límite líquido de Suelo CH – suelo solo – 1

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	18	75.31	68.75	6.56	58.55	10.20	64.31%
2	27	70.60	65.49	5.11	57.27	8.22	62.17%
3	35	69	63.8	5.2	55.18	8.62	60.32%



## Límite líquido de Suelo CH – suelo solo – 2

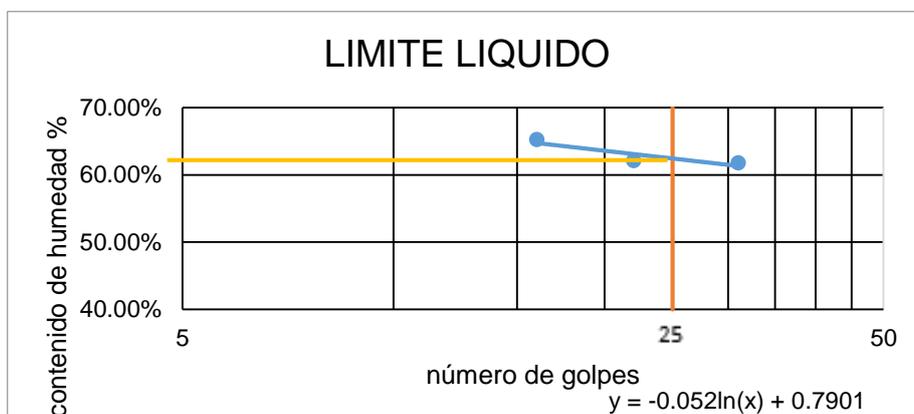
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	19	77.63	70.32	7.31	59.04	11.28	64.80%
2	29	77.89	70.54	7.35	58.75	11.79	62.34%
3	36	77.91	70.54	7.37	58.23	12.31	59.87%



$$L.L = 0.628 = 62.8 \%$$

Límite líquido de Suelo CH – suelo solo – 3

número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	16	75.83	69.15	6.68	58.91	10.24	65.23%
2	22	75.64	68.56	7.08	57.16	11.4	62.11%
3	31	74.67	69.01	5.66	59.85	9.16	61.79%



$$L.L = 0.623 = 62.3 \%$$

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

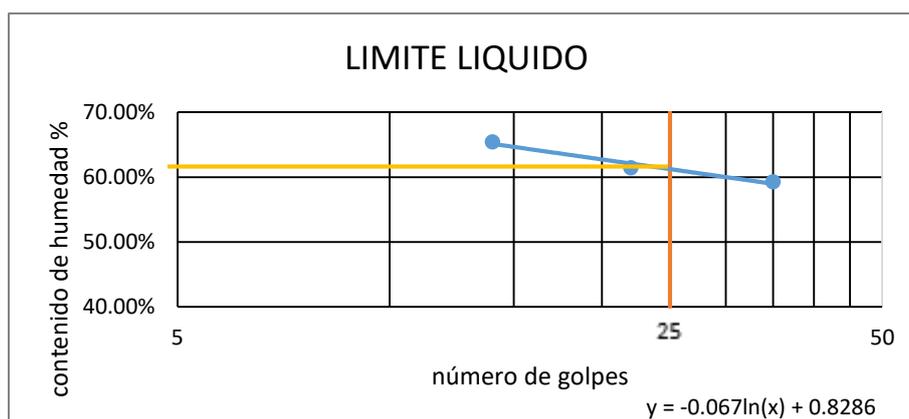
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 5 % de polvo de vidrio reciclado

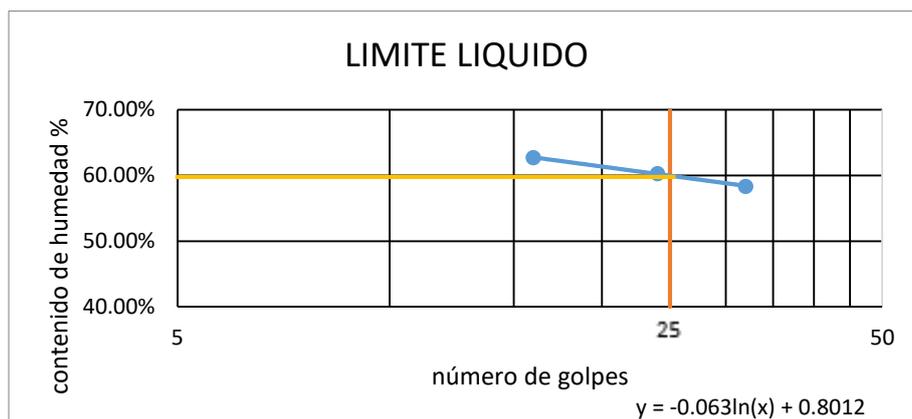
## Límite líquido de Suelo CH + 5% de PVR - 1

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	14	72.48	66.82	5.66	58.17	8.65	65.43%
2	22	69.39	64.51	4.88	56.57	7.94	61.46%
3	35	67.59	63.08	4.51	55.47	7.61	59.26%



## Límite líquido de Suelo CH + 5% de PVR - 2

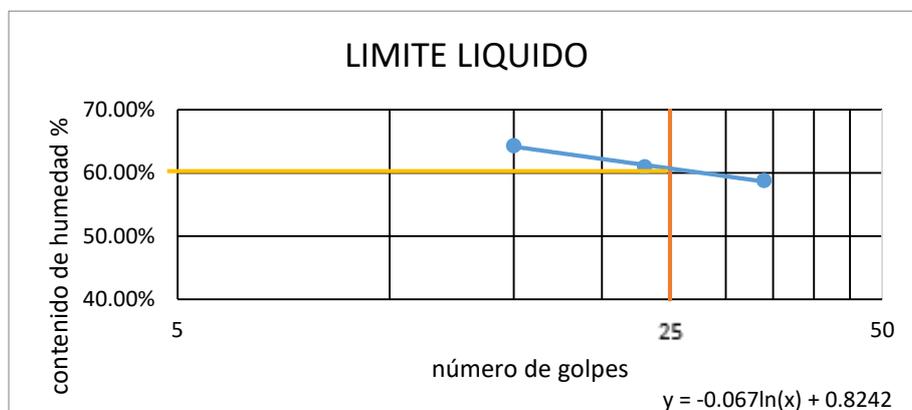
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	16	68.07	64.15	3.92	57.9	6.25	62.72%
2	24	65.2	61.34	3.86	54.94	6.40	60.31%
3	32	73.02	68.03	4.99	59.48	8.55	58.36%



$$L.L = 0.598 = 59.84 \%$$

Límite líquido de Suelo CH + 5% de PVR - 3

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	15	67.90	63.27	4.63	56.07	7.20	64.30%
2	23	65.02	60.80	4.22	53.87	6.93	60.95%
3	34	67.93	63.34	4.59	55.53	7.81	58.79%



$$L.L = 0.608 = 60.85 \%$$

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

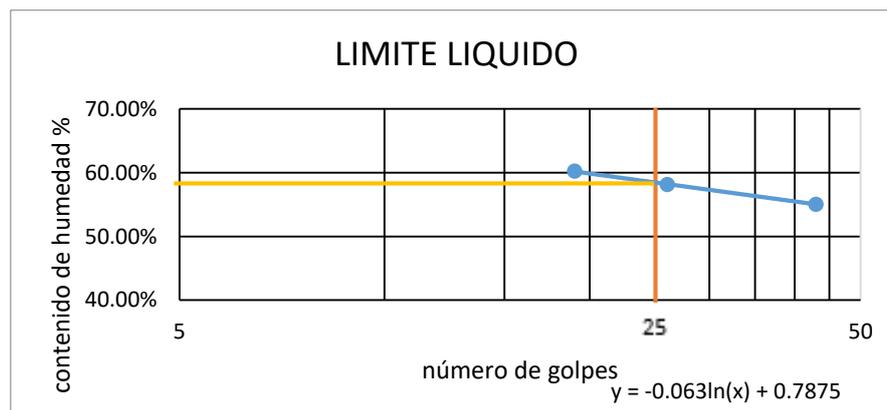
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO REICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 10 % de polvo de vidrio reciclado

## Límite líquido de Suelo CH + 10% de PVR - 1

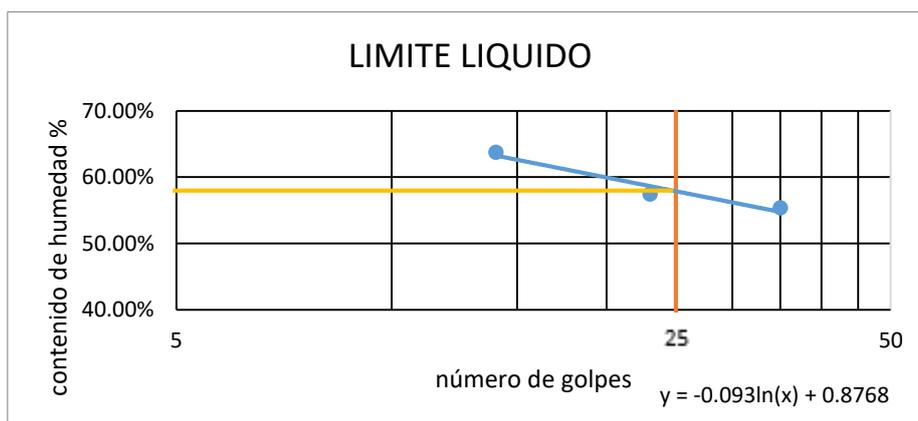
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	19	70.69	65.98	4.71	58.16	7.82	60.23%
2	26	71.44	65.97	5.47	56.56	9.41	58.13%
3	43	68.04	63.58	4.46	55.48	8.1	55.06%



$$L.L = 0.584 = 58.47 \%$$

## Límite líquido de Suelo CH + 10% de PVR – 2

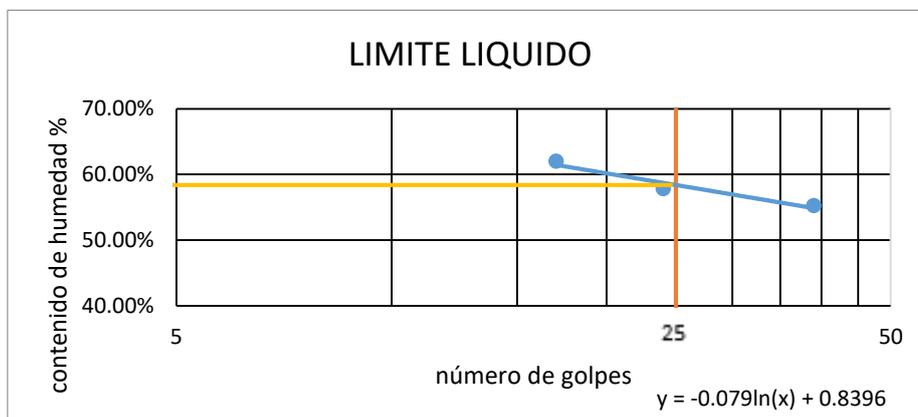
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	14	70.43	65.55	4.88	57.9	7.65	63.79%
2	23	68.84	63.77	5.07	54.95	8.82	57.48%
3	35	73.41	68.44	4.97	59.47	8.97	55.41%



$$L.L = 0.577 = 57.74 \%$$

Límite líquido de Suelo CH + 10% de PVR- 3

número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	17	68.17	63.54	4.63	56.07	7.47	61.99%
2	24	67.77	62.68	5.09	53.87	8.81	57.82%
3	39	68.33	63.78	4.56	55.53	8.25	55.24%



$$L.L = 0.585 = 58.53 \%$$

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

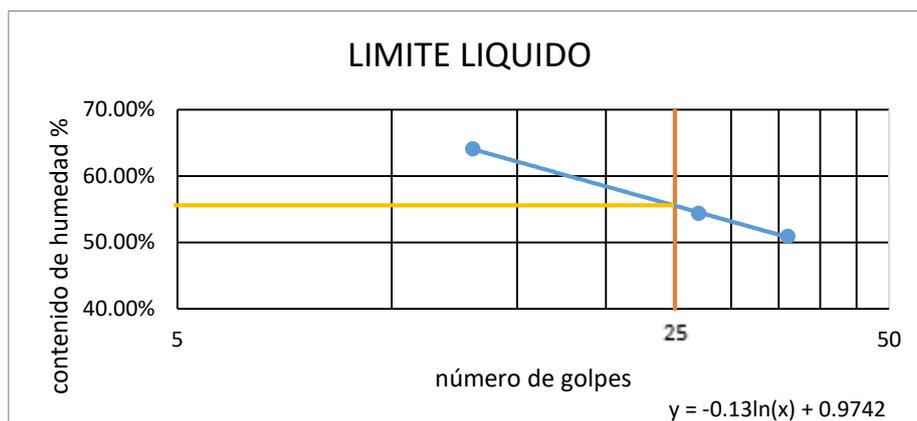
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 15 % de polvo de vidrio reciclado

## Límite líquido de Suelo CH + 15% de PVR - 1

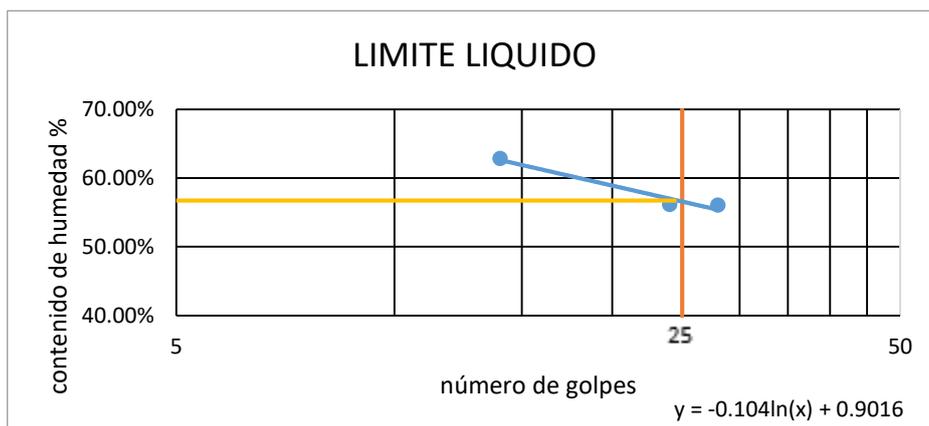
número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	13	68.67	62.87	5.8	53.82	9.05	64.09%
2	27	74.52	69.21	5.31	59.44	9.77	54.35%
3	36	74.7	70.21	4.49	61.39	8.82	50.91%



$$L.L = 0.555 = 55.57 \%$$

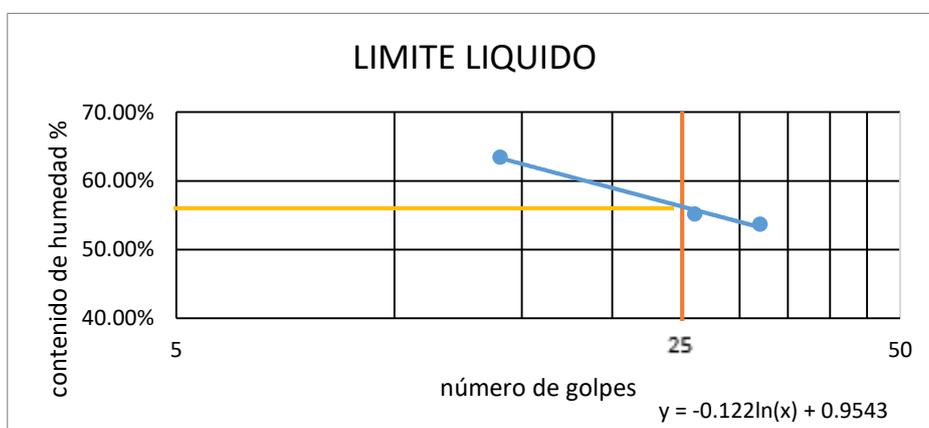
## Límite líquido de Suelo CH + 15% de PVR - 2

número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	14	72.47	66.98	5.49	58.24	8.74	62.81%
2	24	66.17	61.28	4.89	52.57	8.71	56.14%
3	28	75.26	69.43	5.83	59.03	10.4	56.06%



Límite líquido de Suelo CH + 15% de PVR - 3

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	14	68.18	62.73	5.45	54.14	8.59	63.46%
2	26	67.97	63.04	4.93	54.11	8.93	55.19%
3	32	72.44	67.46	4.99	58.17	9.29	53.69%



## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

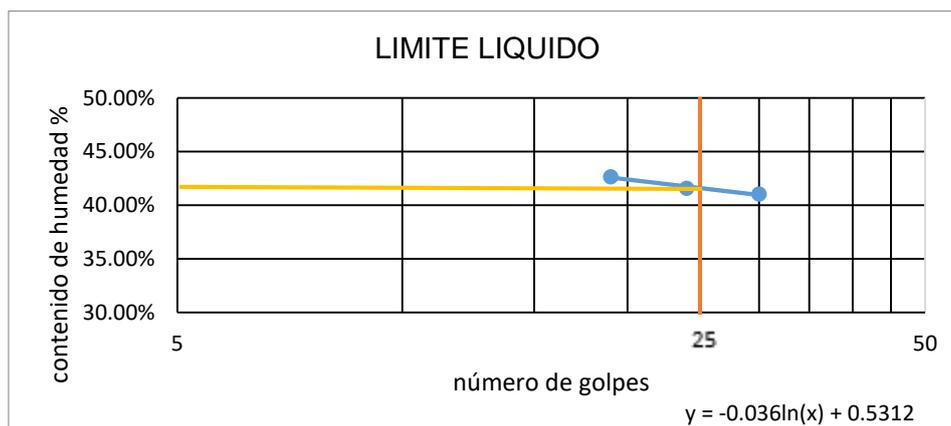
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL

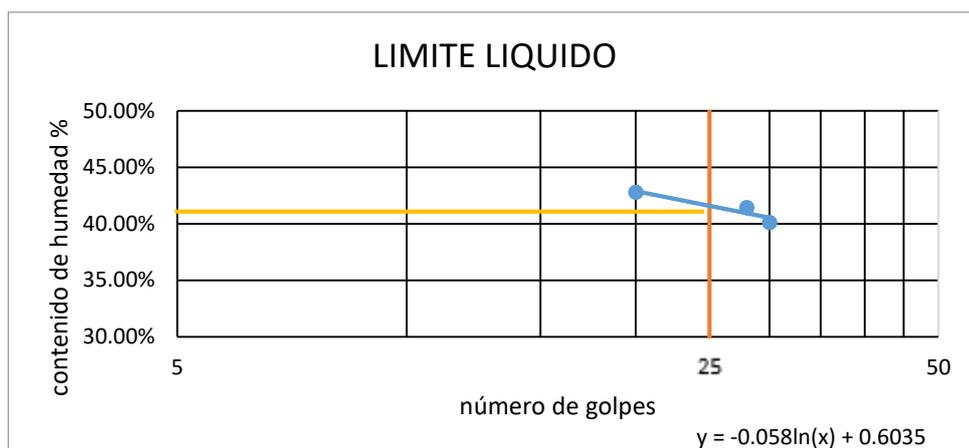
## Límite liquido de Suelo CL – suelo solo – 1

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	19	77.15	72.79	4.36	62.57	10.22	42.66%
2	24	71.96	67.81	4.15	57.83	9.98	41.58%
3	30	81.49	75.2	6.29	59.87	15.33	41.03%



## Límite liquido de Suelo CL – suelo solo – 2

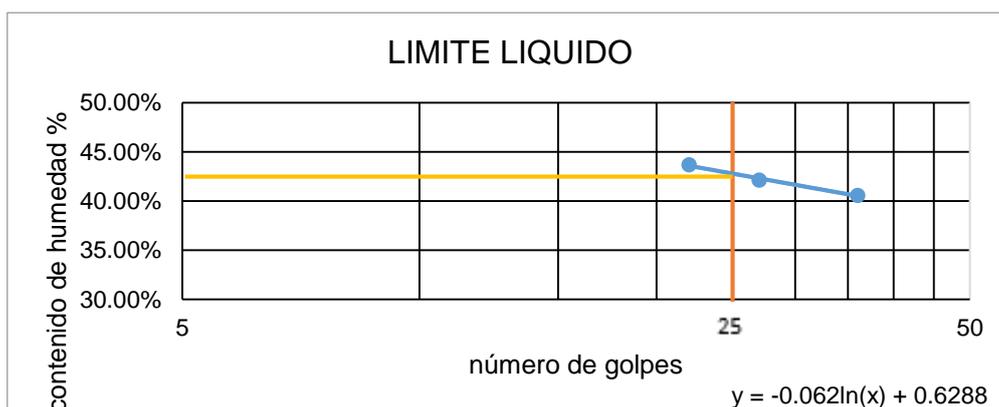
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	20	74.48	69.6	4.88	58.20	11.4	42.81%
2	28	73.76	69.13	4.63	57.96	11.17	41.45%
3	30	77.89	73.29	4.6	61.82	11.47	40.10%



L.L = 0.417 = 41.7 %

Límite liquido de Suelo CL – suelo solo – 3

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	22	76.45	70.46	5.99	56.75	13.71	43.69%
2	27	78.5	72.76	5.74	59.14	13.62	42.14%
3	36	76.4	71.72	4.68	60.19	11.53	40.59%



L.L = 0.417 = 42.9 %

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

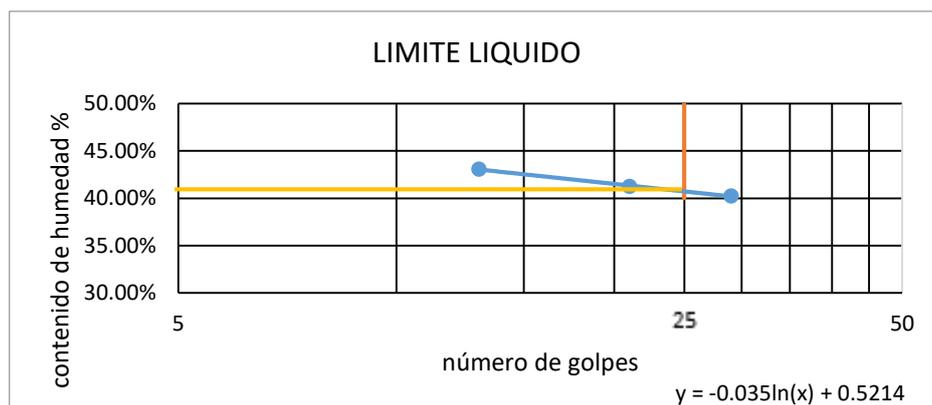
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 5 % de polvo de vidrio reciclado

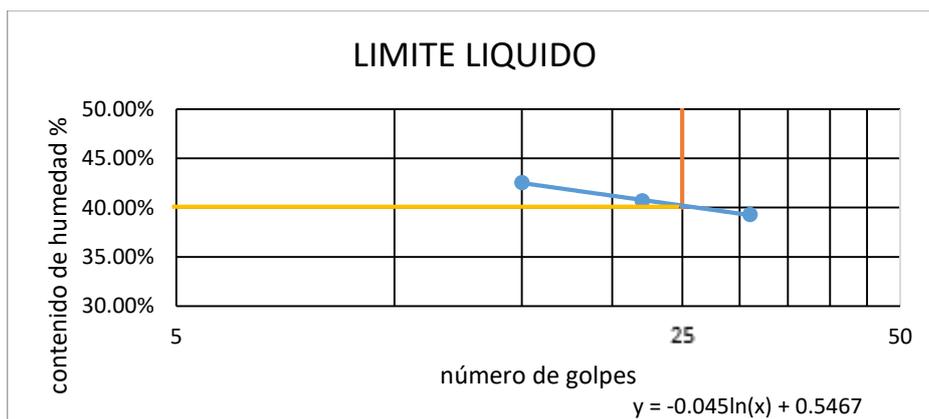
## Límite líquido de Suelo CL + 5% de PVR - 1

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	13	74.08	69.29	4.79	58.17	11.12	43.08%
2	21	69.41	65.66	3.75	56.57	9.09	41.25%
3	29	67.98	64.39	3.59	55.47	8.92	40.25%



## Límite líquido de Suelo CL + 5% de PVR – 2

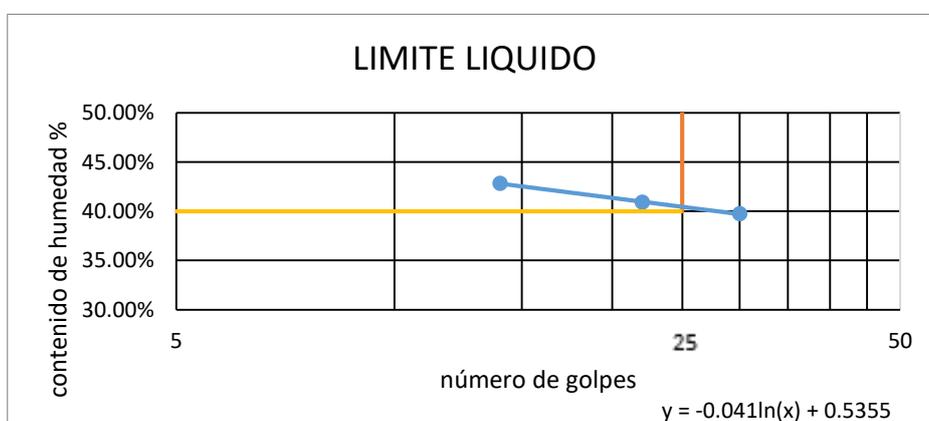
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	15	71.77	67.63	4.14	57.90	9.73	42.55%
2	22	73.68	68.26	5.42	54.94	13.32	40.69%
3	31	73.66	69.66	4.00	59.48	10.18	39.29%



$$L.L = 0.401 = 40.19 \%$$

Límite líquido de Suelo CL + 5% de PVR - 3

número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	14	71.50	67.12	4.38	56.90	10.22	42.83%
2	22	70.14	65.65	4.50	54.66	10.99	40.92%
3	30	69.43	65.71	3.72	56.35	9.36	39.74%



$$L.L = 0.403 = 40.35 \%$$

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

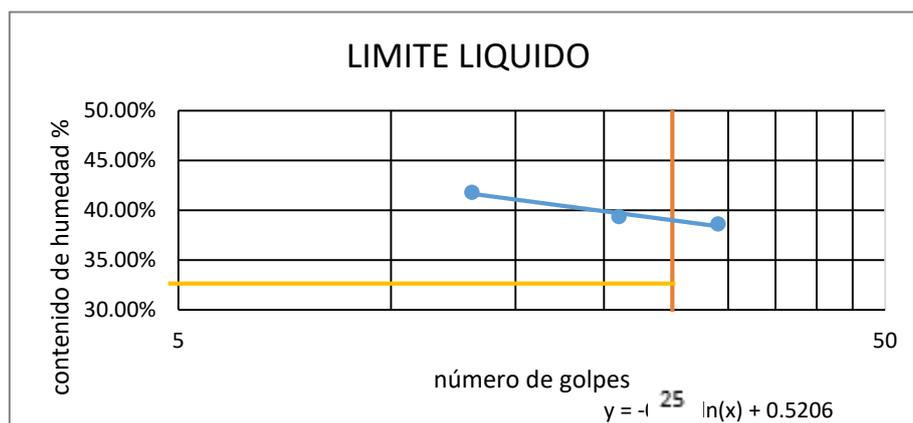
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 10 % de polvo de vidrio reciclado

## Límite líquido de Suelo CL + 10% de PVR - 1

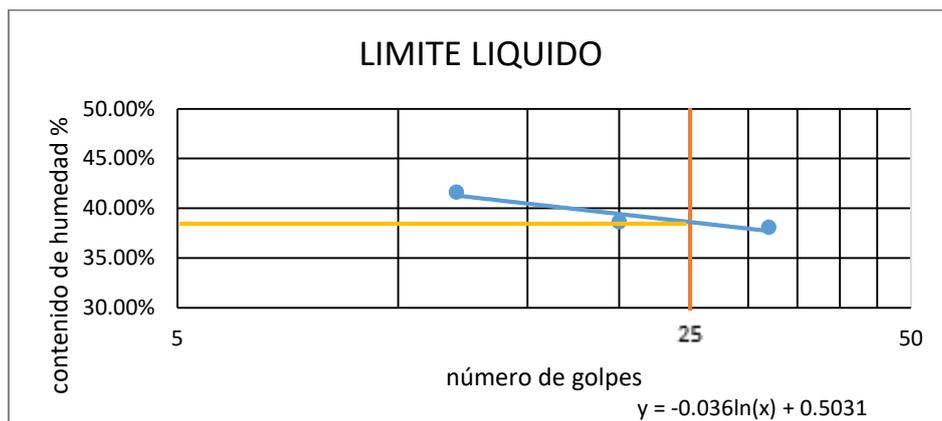
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	13	74.26	69.88	4.38	59.4	10.48	41.79%
2	21	74.76	70.98	3.78	61.37	9.61	39.33%
3	29	65.57	62.3	3.27	53.83	8.47	38.61%



$$L.L = 0.388 = 38.86 \%$$

## Límite líquido de Suelo CL + 10% de PVR - 2

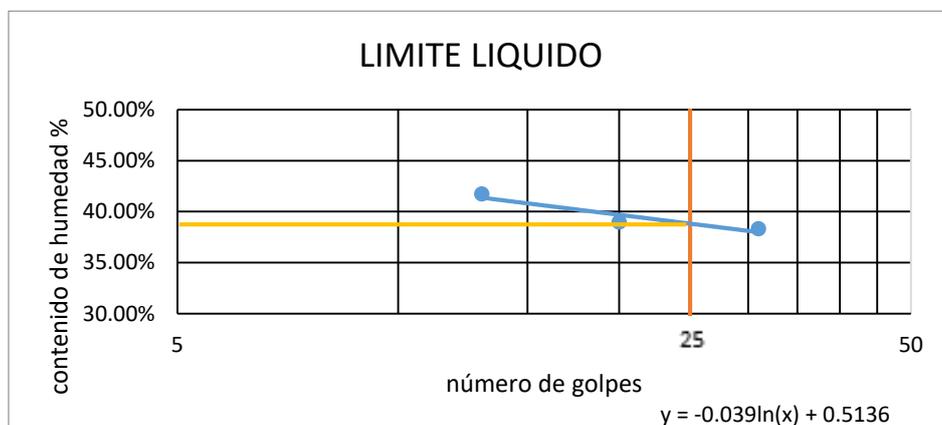
número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	12	69.59	64.57	5.02	52.52	12.05	41.66%
2	20	72.68	68.86	3.82	58.98	9.88	38.66%
3	32	74.35	69.90	4.45	58.23	11.67	38.13%



$$L.L = 0.387 = 38.72 \%$$

Límite líquido de Suelo CL + 10% de PVR - 3

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	13	69.83	65.27	4.56	54.33	10.94	41.72%
2	20	71.57	67.88	3.69	58.42	9.46	38.99%
3	31	67.92	64.17	3.75	54.40	9.78	38.33%



$$L.L = 0.388 = 38.81 \%$$

## DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, MTC E 110

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

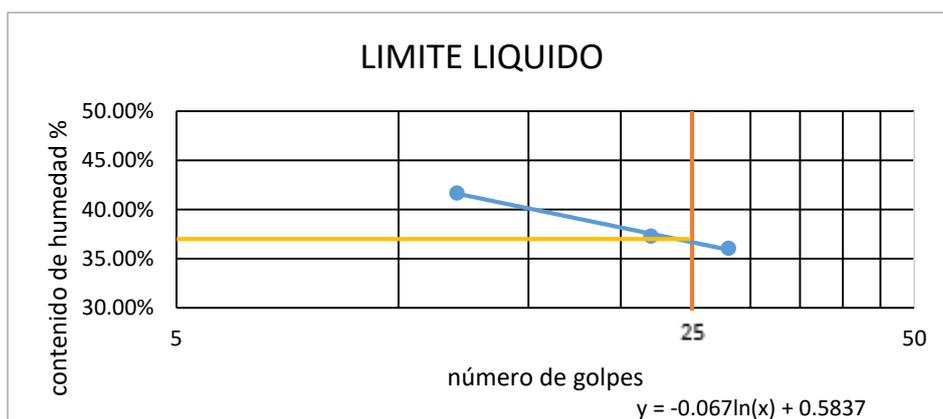
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 15 % de polvo de vidrio reciclado

## Límite líquido de Suelo CL + 15% de PVR - 1

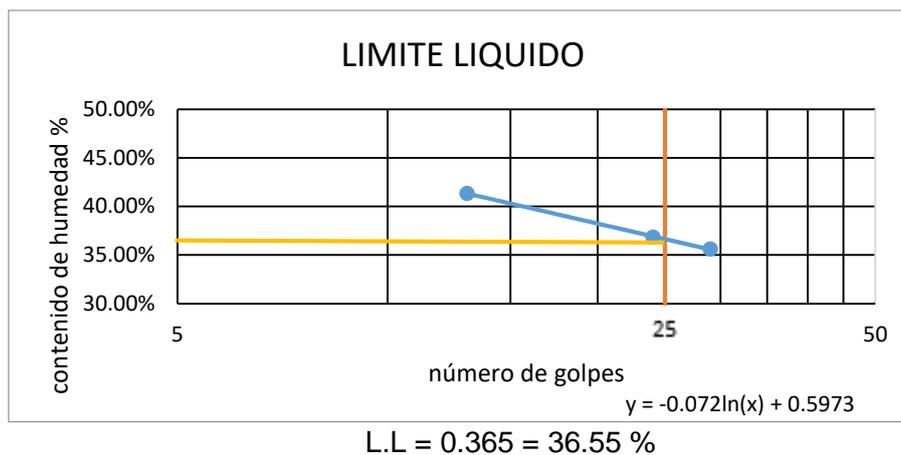
número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	12	38.08	33.24	4.84	21.63	11.61	41.69%
2	22	73.39	69.11	4.28	57.64	11.47	37.31%
3	28	74.13	69.92	4.21	58.25	11.67	36.08%



$$L.L = 0.368 = 36.80 \%$$

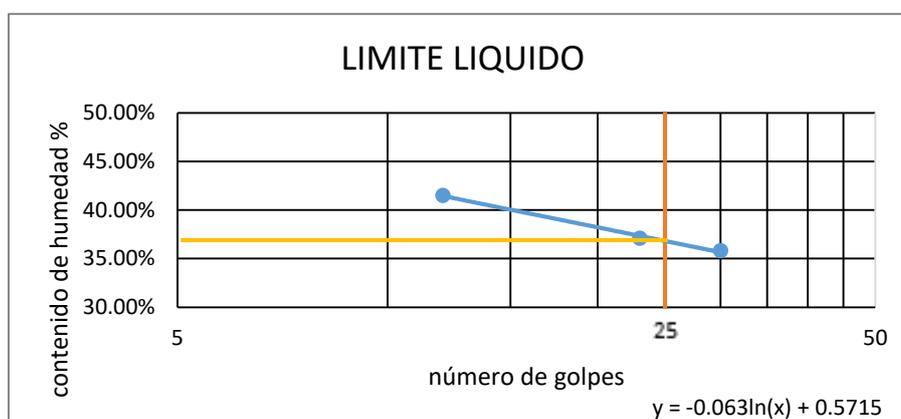
## Límite líquido de Suelo CL + 15% de PVR - 2

número de cápsula	N° golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	13	37.19	32.51	4.68	21.19	11.32	41.34%
2	24	73.62	69.69	3.93	59.03	10.66	36.87%
3	29	76.10	71.17	4.93	57.33	13.84	35.62%



Límite líquido de Suelo CL + 15% de PVR - 3

número de cápsula	Nº golpes	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad
1	12	36.72	32.07	4.64	20.89	11.19	41.52%
2	23	71.71	67.71	4.00	56.91	10.80	37.10%
3	30	73.28	68.82	4.46	56.38	12.44	35.83%



## DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS, MTC E 111

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH con adición de PVR 5%, 10% y 15%

## Límite plástico de Suelo CH – suelo solo

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	límite plástico
CH - 1							
1	66.7	65.47	1.23	61.31	4.16	29.57%	30.31%
2	62.46	61.1	1.36	56.72	4.38	31.05%	
CH - 2							
3	60.22	58.9	1.32	54.4	4.50	29.33%	29.60%
4	66.9	65.58	1.32	61.16	4.42	29.86%	
CH - 3							
5	62.86	61.74	1.12	58.06	3.68	30.43%	29.75%
6	63.16	61.66	1.5	56.5	5.16	29.07%	

## Límite plástico de Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	límite plástico
CH + 5 % PVR -1							
1	27.16	25.97	1.19	21.85	4.12	28.88%	29.03%
2	27.37	26.11	1.26	21.79	4.32	29.17%	
CH + 5 % PVR -2							
3	26.69	25.5	1.19	21.35	4.15	28.67%	28.88%
4	27.23	26.18	1.05	22.57	3.61	29.09%	
CH + 5 % PVR -3							
5	26.01	24.86	1.15	20.87	4.00	28.78%	28.95%
6	26.38	25.26	1.12	21.43	3.83	29.13%	

## Límite plástico de Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	límite plástico
CH + 10 % PVR -1							
1	27.48	26.25	1.23	21.61	4.64	26.51%	27.62%
2	25.93	24.87	1.06	21.18	3.69	28.73%	
CH + 10 % PVR -2							
3	26.98	25.84	1.14	21.66	4.18	27.27%	28.30%
4	27.05	25.83	1.22	21.67	4.16	29.33%	
CH + 10 % PVR -3							
5	20.17	19.29	0.88	16.09	3.20	27.41%	27.74%
6	19.62	18.78	0.84	15.77	3.01	28.08%	

## Límite plástico de Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	límite plástico
CH + 15 % PVR -1							
1	27.82	26.63	1.19	22.23	4.40	27.05%	27.01%
2	27.26	26.07	1.19	21.66	4.41	26.98%	
CH + 15 % PVR -2							
3	27.14	25.95	1.19	21.58	4.37	27.23%	27.19%
4	28.28	27.05	1.23	22.52	4.53	27.15%	
CH + 15 % PVR -3							
5	26.55	25.40	1.15	21.14	4.26	26.98%	27.03%
6	26.83	25.66	1.17	21.34	4.32	27.07%	

## DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS, MTC E 111

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL con adición de PVR 5%, 10% y 15%

## Límite plástico de Suelo CL – suelo solo

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	límite plástico
C1 - 1							
1	27.35	26.33	1.02	21.69	4.64	21.98%	22.06%
2	26.93	25.98	0.95	21.69	4.29	22.14%	
C1 - 2							
3	27.65	26.66	0.99	22.12	4.54	21.81%	21.72%
4	26.93	25.98	0.95	21.59	4.39	21.64%	
C1 - 3							
5	64.63	63.61	1.02	58.94	4.67	21.84%	21.91%
6	62.98	61.96	1.02	57.32	4.64	21.98%	

## Límite plástico de Suelo CL + 5% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	límite plástico
CL + 5 % PVR -1							
1	61.19	60.18	1.01	55.45	4.73	21.35%	21.24%
2	65.31	64.26	1.05	59.29	4.97	21.13%	
CL + 5 % PVR -2							
3	62.39	61.34	1.05	56.43	4.91	21.38%	21.22%
4	60.72	59.64	1.08	54.51	5.13	21.05%	
CL + 5 % PVR -3							
5	60.58	59.57	1.01	54.84	4.73	21.37%	21.41%
6	61.78	60.74	1.04	55.87	4.87	21.46%	

## Límite plástico de Suelo CL + 10% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	límite plástico
CL + 10 % PVR -1							
1	63.88	62.81	1.07	57.87	4.94	21.66%	20.49%
2	64.06	63.1	0.96	58.13	4.97	19.32%	
CL + 10 % PVR -2							
3	67.26	66.22	1.04	61.19	5.03	20.68%	20.65%
4	59.76	58.71	1.05	53.62	5.09	20.63%	
CL + 10 % PVR -3							
5	63.66	62.64	1.02	57.80	4.84	21.16%	20.70%
6	60.11	59.13	0.98	54.31	4.82	20.24%	

## Límite plástico de Suelo CL + 15% de polvo de vidrio reciclado

LIMITE PLASTICO							
número de cápsula	peso húmedo + cápsula (gr)	peso seco + cápsula (gr)	peso del agua (gr)	peso de la cápsula (gr)	peso seco (gr)	% de humedad	límite plástico
CL + 15 % PVR -1							
1	64.01	63.01	1.00	58.01	5.00	20.00%	19.77%
2	64.78	63.83	0.95	58.97	4.86	19.55%	
CL + 15 % PVR -2							
3	65.22	64.26	0.96	59.39	4.87	19.71%	19.86%
4	58.37	57.39	0.98	52.49	4.90	20.00%	
CL + 15 % PVR -3							
5	63.04	62.08	0.96	57.18	4.90	19.50%	19.57%
6	60.07	59.13	0.94	54.34	4.79	19.65%	

## DETERMINACION DEL INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, MTC E 111

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH y CL con adición de PVR 5%, 10% y 15%

## Suelo CH (arcilla de alta plasticidad)

promedio	SUELO CH - SOLO	SUELO CH + 5 % PVR.	SUELO CH + 10 % PVR.	SUELO CH + 15 % PVR.
límite líquido	63%	61%	58%	56%
límite plástico	30%	29%	28%	27%
índice de plasticidad	<b>33%</b>	<b>32%</b>	<b>30%</b>	<b>29%</b>

## Suelo CL (arcilla de baja plasticidad)

promedio	SUELO CL - SOLO	SUELO CL + 5 % PVR.	SUELO CL + 10 % PVR.	SUELO CL + 15 % PVR.
límite líquido	42%	40%	39%	37%
límite plástico	22%	21%	21%	20%
índice de plasticidad	<b>20%</b>	<b>19%</b>	<b>18%</b>	<b>17%</b>

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

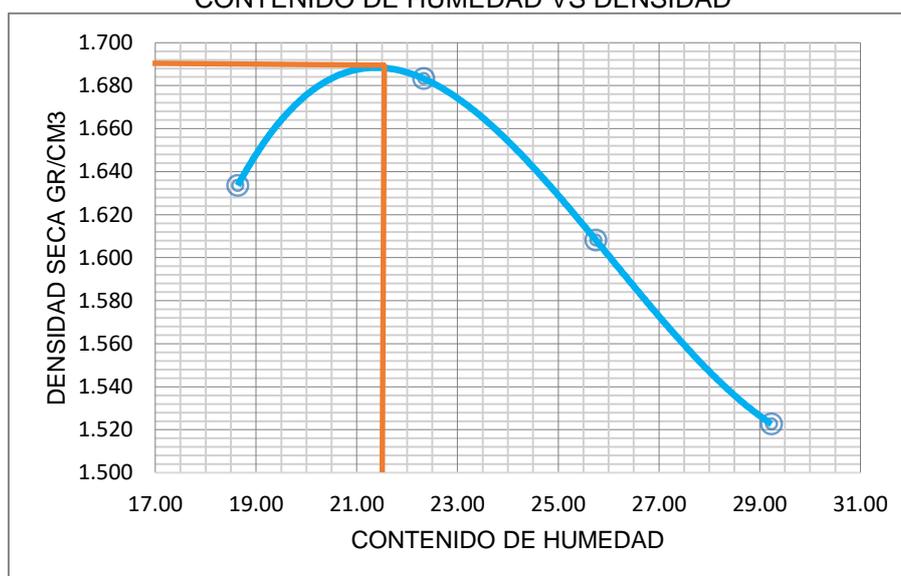
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 1

prueba n°		1	2	3	4				
contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	103.99	107.34	96.38	99.88	109.11	119.01	118.32	116.39
Peso suelo seco + cápsula	gr	96.53	99.70	89.63	92.09	98.19	106.99	104.77	102.89
Cápsula	gr	57.24	57.92	58.96	57.70	54.95	61.19	57.57	57.53
Peso del agua	gr	7.46	7.64	6.75	7.79	10.92	12.02	13.55	13.50
Peso del suelo seco	gr	39.29	41.78	30.67	34.39	43.24	45.80	47.20	45.36
Contenido de agua	%	18.99	18.29	22.01	22.65	25.25	26.24	28.71	29.76
Contenido de agua PROMEDIO	%	<b>18.64</b>		<b>22.33</b>		<b>25.75</b>		<b>29.23</b>	
densidad de suelo seco									
volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
peso suelo + molde	gr	3853.59		3967.33		3932.67		3881.57	
peso molde	gr	2032.43		2032.43		2032.43		2032.43	
peso suelo húmedo compactado	gr	1821.16		1934.90		1900.24		1849.14	
densidad suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.94		2.06		2.02		1.97	
Densidad suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.634</b>		<b>1.683</b>		<b>1.608</b>		<b>1.523</b>	

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD

Densidad seca máxima = **1.69 gr/cm<sup>3</sup>**Contenido de humedad óptimo = **21.50 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

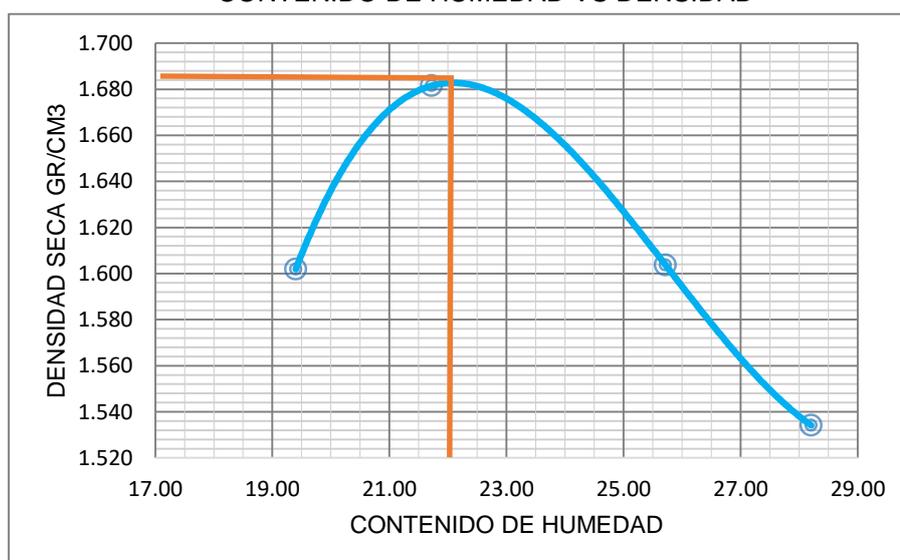
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 2

prueba n°		1	2	3	4				
contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	108.45	96.14	83.81	86.11	99.49	98.72	101.96	108.99
Peso suelo seco + cápsula	gr	101.00	89.26	79.53	81.68	91.35	90.21	92.47	97.70
Cápsula	gr	59.05	56.56	59.69	61.42	59.49	57.33	58.28	58.29
Peso del agua	gr	7.45	6.88	4.28	4.43	8.14	8.51	9.49	11.29
Peso del suelo seco	gr	41.95	32.70	19.84	20.26	31.86	32.88	34.19	39.41
Contenido de agua	%	17.76	21.04	21.57	21.87	25.55	25.88	27.76	28.65
Contenido de agua promedio	%	<b>19.40</b>		<b>21.72</b>		<b>25.72</b>		<b>28.20</b>	
densidad de suelo seco									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3829.41		3955.36		3926.61		3880.31	
Peso molde	gr	2032.08		2032.08		2032.08		2032.08	
Peso suelo húmedo compactado	gr	1797.33		1923.28		1894.53		1848.23	
Densidad suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.91		2.05		2.02		1.97	
Densidad suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.602</b>		<b>1.681</b>		<b>1.604</b>		<b>1.534</b>	

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD

Densidad seca máxima = **1.69 gr/cm<sup>3</sup>**Contenido de humedad óptimo = **22.00 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

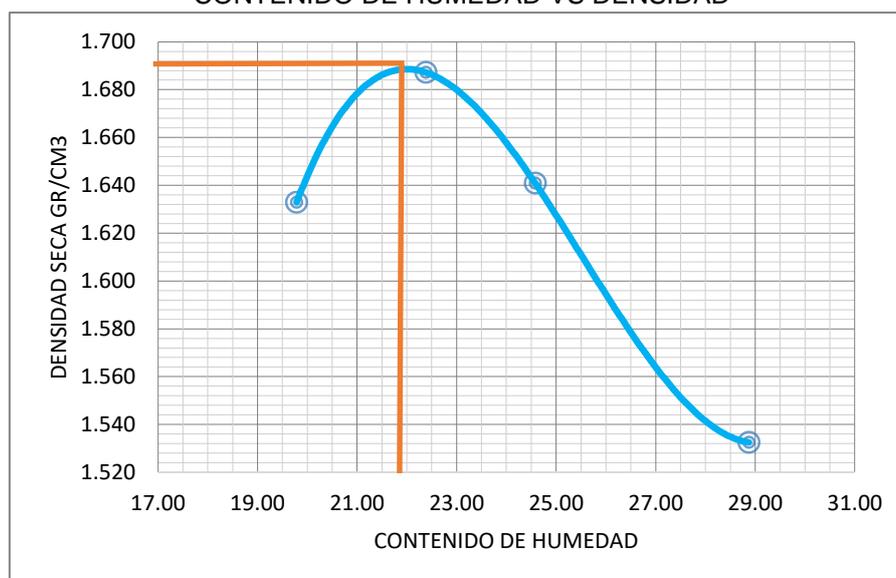
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 3

prueba n°		1	2	3	4				
contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	83.86	85.66	82.56	98.70	92.38	95.50	99.53	98.26
Peso suelo seco + cápsula	gr	79.62	81.13	77.92	91.94	86.64	88.04	90.25	89.81
Cápsula	gr	57.84	58.60	57.64	61.05	62.73	58.38	58.40	60.27
Peso del agua	gr	4.24	4.53	4.64	6.76	5.74	7.46	9.28	8.45
Peso del suelo seco	gr	21.78	22.53	20.28	30.89	23.91	29.66	31.85	29.54
Contenido de agua	%	19.47	20.11	22.88	21.88	24.01	25.15	29.14	28.61
Contenido de agua promedio	%	<b>19.79</b>		<b>22.38</b>		<b>24.58</b>		<b>28.87</b>	
densidad de suelo seco									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3870.13		3972.40		3953.00		3887.97	
Peso molde	gr	2032.08		2032.08		2032.08		2032.08	
Peso suelo húmedo compactado	gr	1838.05		1940.32		1920.92		1855.89	
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.96		2.06		2.04		1.97	
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.633</b>		<b>1.687</b>		<b>1.641</b>		<b>1.533</b>	

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD

Densidad seca máxima = **1.69 gr/cm<sup>3</sup>**Contenido de humedad óptimo = **21.90 %**

### ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

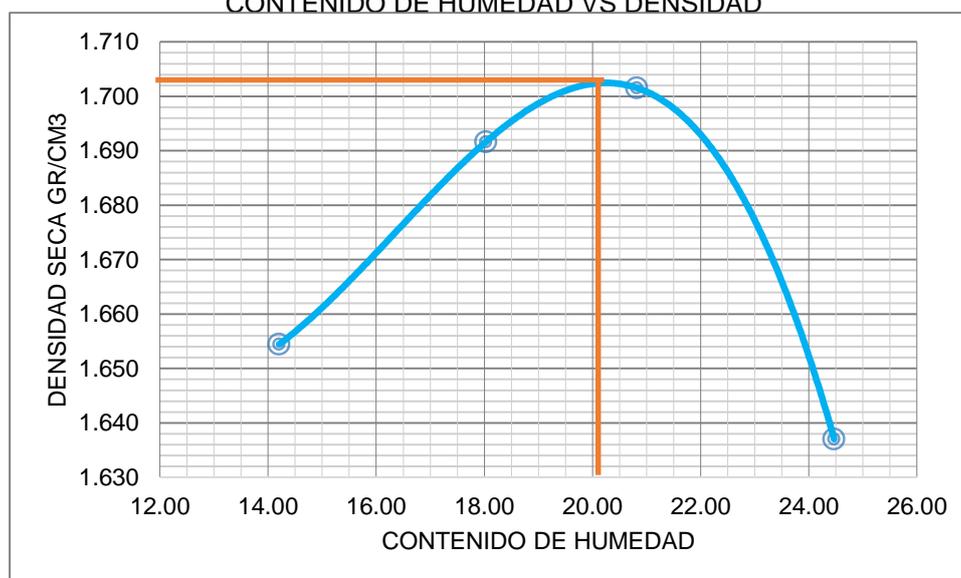
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 5% de polvo de vidrio reciclado-1

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	84.83	91.96	97.10	84.59	94.00	97.55	106.53	95.99
Peso suelo seco + cápsula	gr	81.46	88.38	90.96	80.47	88.84	90.89	96.87	88.59
Cápsula	gr	57.77	63.14	56.80	57.69	65.15	57.35	58.13	57.76
Peso del agua	gr	3.37	3.58	6.14	4.12	5.16	6.66	9.66	7.40
Peso del suelo seco	gr	23.69	25.24	34.16	22.78	23.69	33.54	38.74	30.83
Contenido de agua	%	14.23	14.18	17.97	18.09	21.78	19.86	24.94	24.00
Contenido de agua promedio	%	<b>14.20</b>		<b>18.03</b>		<b>20.82</b>		<b>24.47</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3765.24	3866.00	3921.59	3904.50				
Peso molde	gr	1989.75	1989.75	1989.75	1989.75				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1775.49	1876.25	1931.84	1914.75				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.89	2.00	2.06	2.04				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.654</b>	<b>1.692</b>	<b>1.702</b>	<b>1.637</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.70 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **20.10 %**

### ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

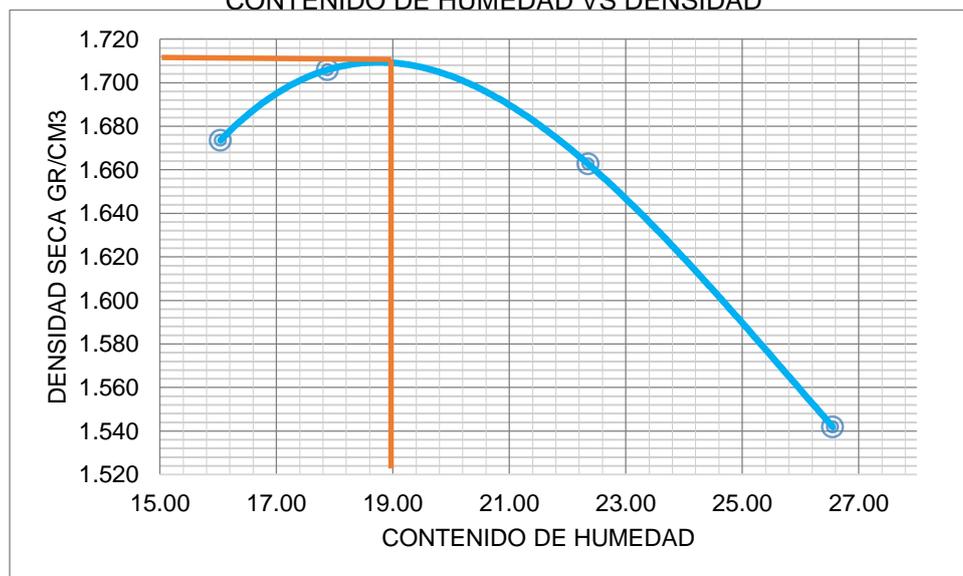
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 5% de polvo de vidrio reciclado-2

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	102.66	113.37	96.47	91.26	102.26	91.16	103.44	117.83
Peso suelo seco + cápsula	gr	96.72	105.37	90.21	85.94	94.35	84.91	93.85	105.78
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	54.69	57.34	58.13	58.50	59.40
Peso del agua	gr	5.94	8.00	6.26	5.32	7.91	6.25	9.59	12.05
Peso del suelo seco	gr	38.94	47.55	33.42	31.25	37.01	26.78	35.35	46.38
Contenido de agua	%	15.25	16.82	18.73	17.02	21.37	23.34	27.13	25.98
Contenido de agua promedio	%	<b>16.04</b>		<b>17.88</b>		<b>22.36</b>		<b>26.55</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3856.09	3920.92	3942.88	3864.90				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1824.84	1889.67	1911.63	1833.65				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.94	2.01	2.03	1.95				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.674</b>	<b>1.706</b>	<b>1.663</b>	<b>1.542</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.71 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **19.00 %**

### ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

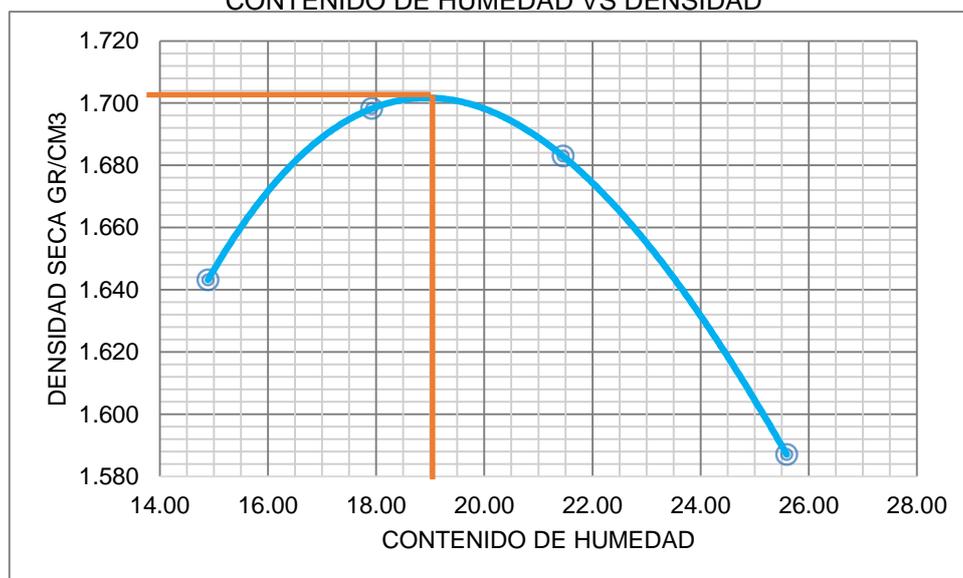
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 5% de polvo de vidrio reciclado-3

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	95.17	104.23	98.26	89.26	99.62	95.79	106.58	108.54
Peso suelo seco + cápsula	gr	90.68	98.40	91.96	84.47	92.99	89.24	96.81	98.66
Cápsula	gr	58.65	61.40	57.66	57.05	62.18	58.62	59.20	59.47
Peso del agua	gr	4.49	5.83	6.30	4.79	6.63	6.55	9.77	9.88
Peso del suelo seco	gr	32.03	37.00	34.30	27.42	30.81	30.62	37.61	39.19
Contenido de agua	%	14.03	15.75	18.37	17.47	21.52	21.39	25.98	25.21
Contenido de agua promedio	%	<b>14.89</b>		<b>17.92</b>		<b>21.46</b>		<b>25.59</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3805.19	3913.03	3951.99	3904.22				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1773.94	1881.78	1920.74	1872.97				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.89	2.00	2.04	1.99				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.643</b>	<b>1.698</b>	<b>1.683</b>	<b>1.587</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.70 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **19.10 %**

ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

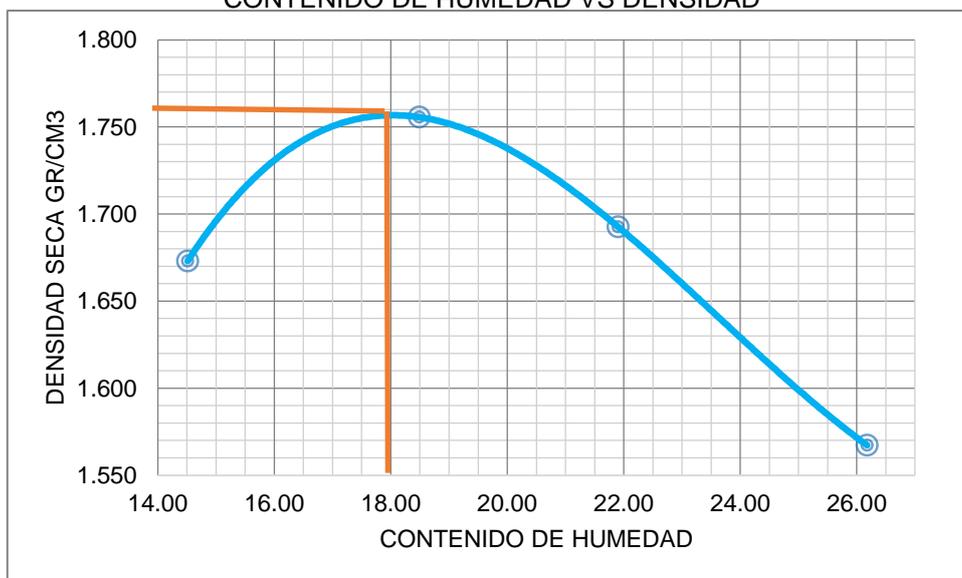
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 10% de polvo de vidrio reciclado-1

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	100.81	98.62	98.89	90.58	89.18	104.14	95.49	113.91
Peso suelo seco + cápsula	gr	95.30	94.17	92.42	85.37	83.54	96.29	88.01	102.80
Cápsula	gr	57.78	63.13	56.79	57.69	58.50	59.40	59.58	60.15
Peso del agua	gr	5.51	4.45	6.47	5.21	5.64	7.85	7.48	11.11
Peso del suelo seco	gr	37.52	31.04	35.63	27.68	25.04	36.89	28.43	42.65
Contenido de agua	%	14.69	14.34	18.16	18.82	22.52	21.28	26.31	26.05
Contenido de agua promedio	%	<b>14.51</b>		<b>18.49</b>		<b>21.90</b>		<b>26.18</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm3	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3831.65	3986.18	3970.38	3889.61				
Peso molde	gr	2031.41	2031.41	2031.41	2031.41				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1800.24	1954.77	1938.97	1858.20				
Densidad húmeda	gr/cm3	1.92	2.08	2.06	1.98				
Densidad seca	gr/cm3	<b>1.673</b>	<b>1.756</b>	<b>1.693</b>	<b>1.567</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.76 gr/cm3**

Contenido de humedad óptimo = **18.00 %**

ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

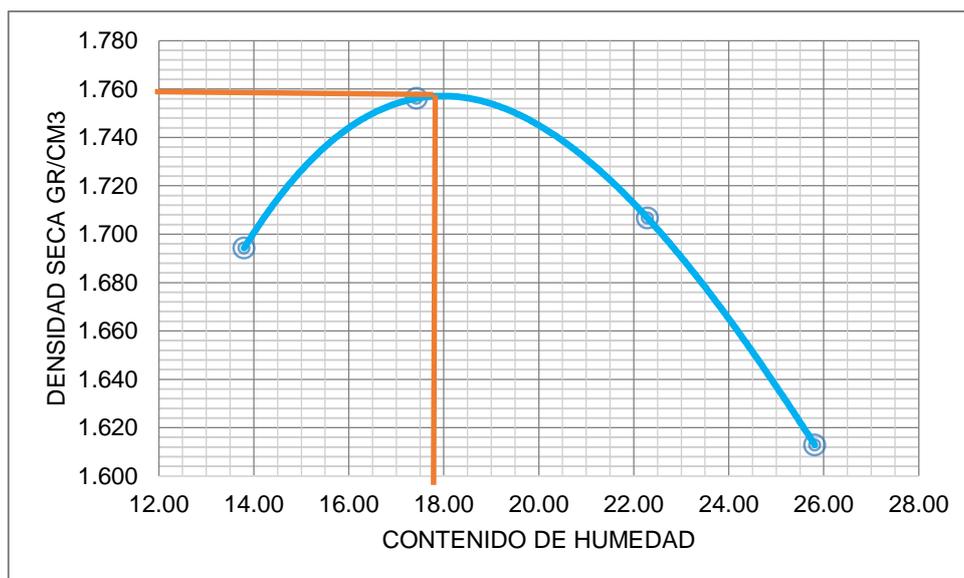
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 10% de polvo de vidrio reciclado-2

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	93.52	82.67	91.68	92.54	103.97	93.75	106.36	109.69
Peso suelo seco + cápsula	gr	89.87	79.79	86.72	87.36	95.75	87.14	97.02	99.68
Cápsula	gr	65.14	57.34	58.13	57.76	58.44	57.82	60.42	61.34
Peso del agua	gr	3.65	2.88	4.96	5.18	8.22	6.61	9.34	10.01
Peso del suelo seco	gr	24.73	22.45	28.59	29.60	37.31	29.32	36.60	38.34
Contenido de agua	%	14.76	12.83	17.35	17.50	22.03	22.54	25.52	26.11
Contenido de agua promedio	%	<b>13.79</b>		<b>17.42</b>		<b>22.29</b>		<b>25.81</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm3	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3843.08	3969.19	3992.64	3938.24				
Peso molde	gr	2031.41	2031.41	2031.41	2031.41				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1811.67	1937.78	1961.23	1906.83				
Densidad húmeda	gr/cm3	1.93	2.06	2.09	2.03				
Densidad seca	gr/cm3	<b>1.694</b>	<b>1.756</b>	<b>1.707</b>	<b>1.613</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.76 gr/cm3**

Contenido de humedad óptimo = **17.90 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

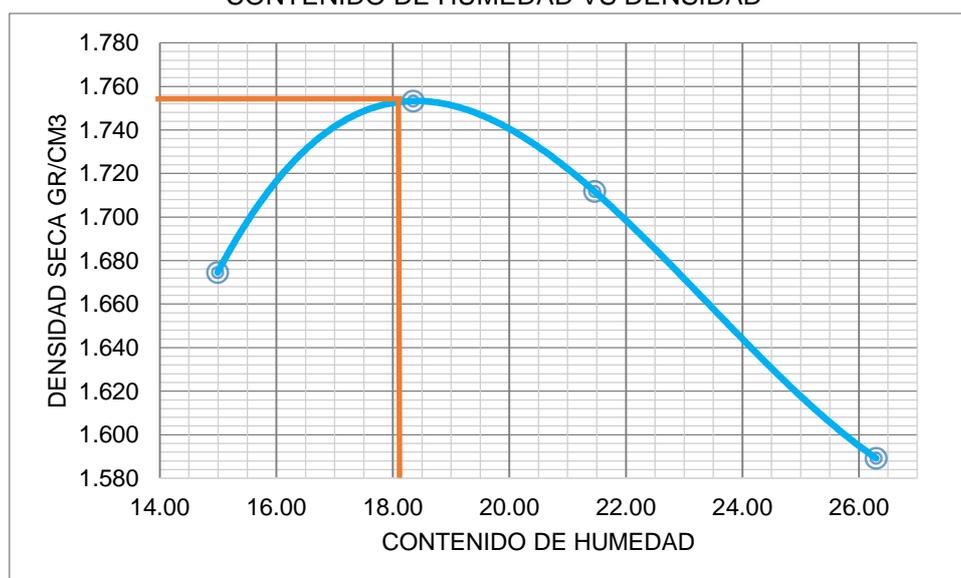
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 10% de polvo de vidrio reciclado-3

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	106.61	107.18	102.43	94.44	106.02	107.32	108.61	124.01
Peso suelo seco + cápsula	gr	101.11	102.02	96.37	89.71	98.51	100.04	99.66	112.02
Cápsula	gr	64.91	67.12	63.12	64.11	63.89	65.75	65.61	66.44
Peso del agua	gr	5.50	5.16	6.06	4.73	7.51	7.28	8.95	11.99
Peso del suelo seco	gr	36.20	34.90	33.25	25.60	34.62	34.29	34.05	45.58
Contenido de agua	%	15.19	14.79	18.23	18.48	21.69	21.23	26.28	26.31
Contenido de agua promedio	%	<b>14.99</b>		<b>18.35</b>		<b>21.46</b>		<b>26.30</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3840.63	3981.16	3984.99	3917.30				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1809.38	1949.91	1953.74	1886.05				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.93	2.08	2.08	2.01				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.674</b>	<b>1.753</b>	<b>1.712</b>	<b>1.589</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.755 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **18.20 %**

ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

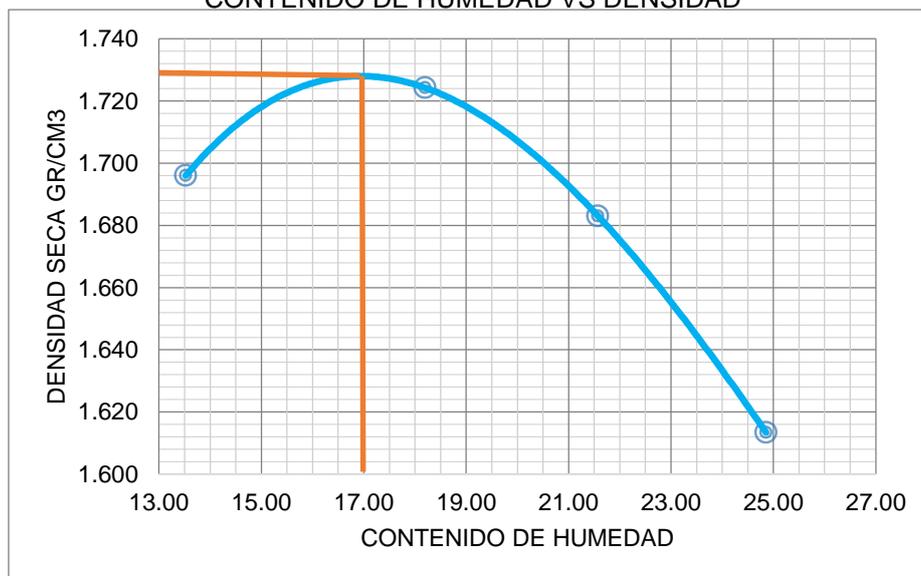
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 15% de polvo de vidrio reciclado-1

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	105.53	87.66	95.02	84.94	91.06	96.49	92.64	116.72
Peso suelo seco + cápsula	gr	99.95	84.23	89.28	80.80	84.96	90.01	85.75	105.80
Cápsula	gr	59.64	58.26	57.40	58.28	57.08	59.54	59.10	60.03
Peso del agua	gr	5.58	3.43	5.74	4.14	6.10	6.48	6.89	10.92
Peso del suelo seco	gr	40.31	25.97	31.88	22.52	27.88	30.47	26.65	45.77
Contenido de agua	%	13.84	13.21	18.01	18.38	21.88	21.27	25.85	23.86
Contenido de agua promedio	%	<b>13.53</b>		<b>18.19</b>		<b>21.57</b>		<b>24.86</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3840.49	3946.29	3953.94	3924.19				
Peso molde	gr	2031.20	2031.20	2031.20	2031.20				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1809.29	1915.09	1922.74	1892.99				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.93	2.04	2.05	2.01				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.696</b>	<b>1.724</b>	<b>1.683</b>	<b>1.613</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.73 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **17.00 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

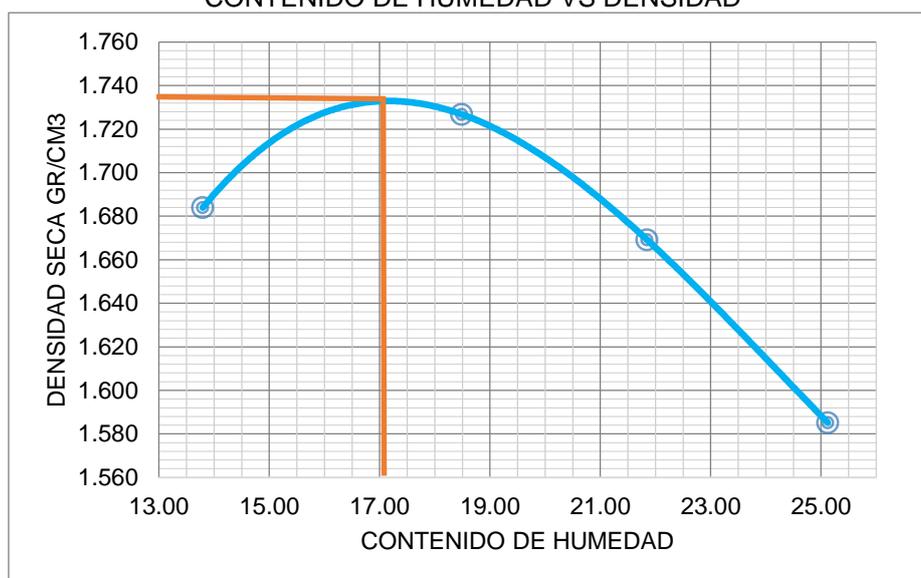
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 15% de polvo de vidrio reciclado-2

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	103.53	86.00	93.22	83.33	89.34	94.66	90.88	114.51
Peso suelo seco + cápsula	gr	97.97	82.56	87.51	79.20	83.28	88.23	84.05	103.70
Cápsula	gr	58.46	57.10	56.26	57.12	55.94	58.36	57.92	58.85
Peso del agua	gr	5.56	3.44	5.71	4.13	6.06	6.43	6.83	10.81
Peso del suelo seco	gr	39.51	25.46	31.25	22.08	27.34	29.87	26.13	44.85
Contenido de agua	%	14.07	13.51	18.27	18.70	22.17	21.53	26.14	24.10
Contenido de agua promedio	%	<b>13.79</b>		<b>18.49</b>		<b>21.85</b>		<b>25.12</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3831.76	3953.84	3942.38	3894.98				
Peso molde	gr	2031.20	2031.20	2031.20	2031.20				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1800.56	1922.64	1911.18	1863.78				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.92	2.05	2.03	1.98				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.684</b>	<b>1.727</b>	<b>1.669</b>	<b>1.585</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.74 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **17.10 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

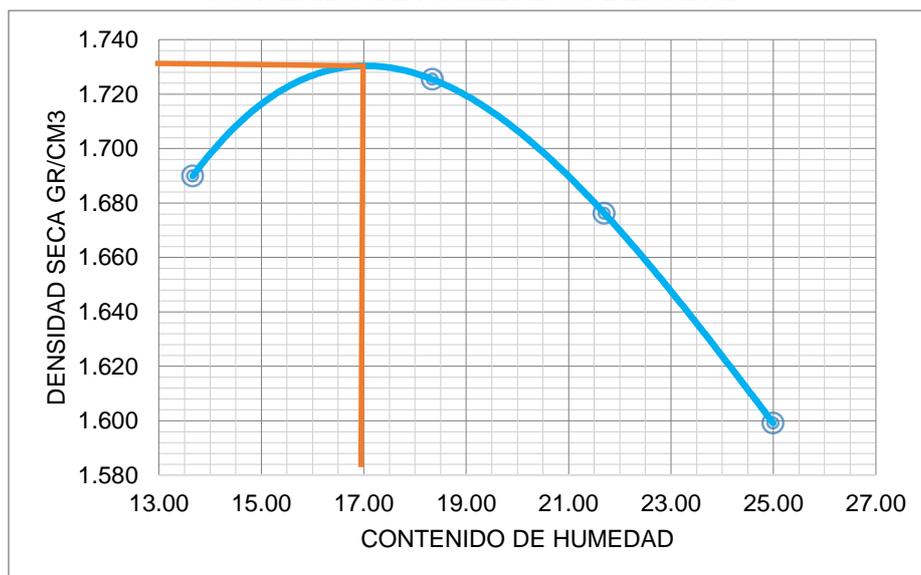
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 15% de polvo de vidrio reciclado-3

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	106.12	88.15	95.55	85.42	91.57	97.03	93.16	117.38
Peso suelo seco + cápsula	gr	100.47	84.66	89.74	81.22	85.40	90.48	86.19	106.35
Cápsula	gr	59.95	58.56	57.70	58.58	57.37	59.85	59.40	60.35
Peso del agua	gr	5.65	3.49	5.81	4.20	6.17	6.55	6.97	11.03
Peso del suelo seco	gr	40.52	26.10	32.04	22.64	28.03	30.63	26.79	46.00
Contenido de agua	%	13.94	13.37	18.13	18.55	22.01	21.38	26.02	23.98
Contenido de agua promedio	%	<b>13.66</b>		<b>18.34</b>		<b>21.70</b>		<b>25.00</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.7							
Peso suelo + molde	gr	3836.13	3950.07	3948.16	3909.59				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1804.88	1918.82	1916.91	1878.34				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.92	2.04	2.04	2.00				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.690</b>	<b>1.725</b>	<b>1.676</b>	<b>1.599</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD

Densidad seca máxima = **1.73 gr/cm<sup>3</sup>**Contenido de humedad óptimo = **17.00 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

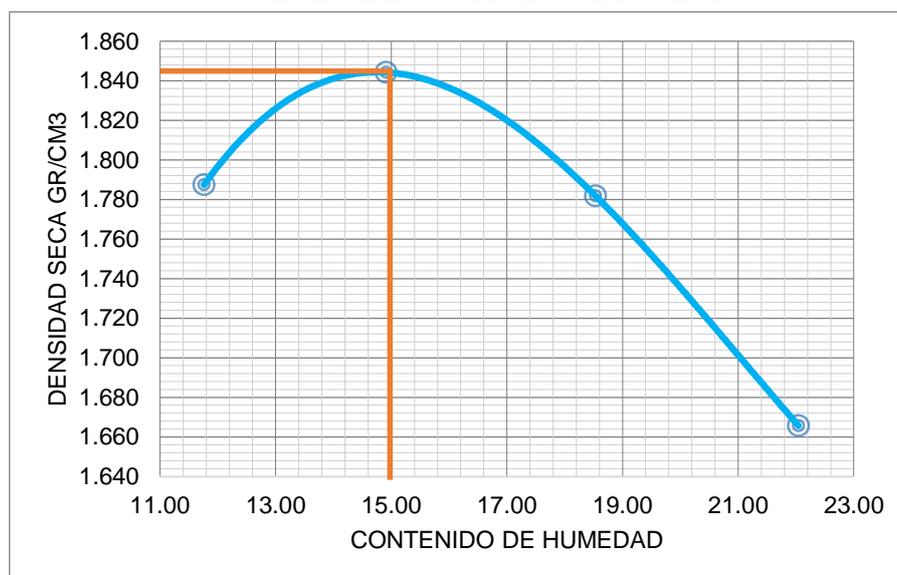
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 1

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	85.72	87.39	102.43	94.31	99.03	104.24	128.72	122.88
Peso suelo seco + cápsula	gr	82.62	84.4	96.9	89.42	92.45	97.23	115.42	111.49
Cápsula	gr	57.57	57.57	59.43	56.94	56.31	60.06	57.56	57.51
Peso del agua	gr	3.1	2.99	5.53	4.89	6.58	7.01	13.3	11.39
Peso del suelo seco	gr	25.05	26.83	37.47	32.48	36.14	37.17	57.86	53.98
Contenido de agua	%	12.38	11.14	14.76	15.06	18.21	18.86	22.99	21.10
Contenido de agua promedio	%	<b>11.76</b>		<b>14.91</b>		<b>18.53</b>		<b>22.04</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.7							
Peso suelo + molde	gr	3909.54	4023.75	4017.04	3942.66				
Peso molde	gr	2032.43	2032.43	2032.43	2032.43				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1877.11	1991.32	1984.61	1910.23				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.00	2.12	2.11	2.03				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.787</b>	<b>1.844</b>	<b>1.782</b>	<b>1.666</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.85 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **15.00 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

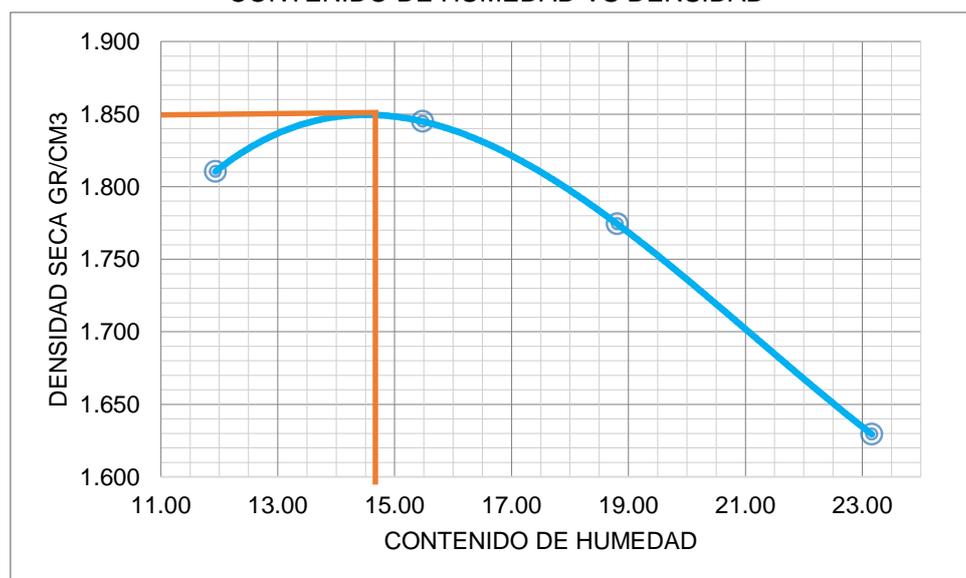
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 2

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	91.00	90.31	111.82	97.65	106.12	102.05	127.25	121.49
Peso suelo seco + cápsula	gr	87.34	86.91	105.19	91.79	98.58	95.11	113.68	109.89
Cápsula	gr	57.22	57.90	61.18	54.93	57.66	58.95	57.55	57.52
Peso del agua	gr	3.66	3.40	6.63	5.86	7.54	6.94	13.57	11.60
Peso del suelo seco	gr	30.12	29.01	44.01	36.86	40.92	36.16	56.13	52.37
Contenido de agua	%	12.15	11.72	15.06	15.90	18.43	19.19	24.18	22.15
Contenido de agua promedio	%	<b>11.94</b>		<b>15.48</b>		<b>18.81</b>		<b>23.16</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3936.49	4034.10	4012.95	3917.82				
Peso molde	gr	2032.08	2032.08	2032.08	2032.08				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1904.41	2002.02	1980.87	1885.74				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.03	2.13	2.11	2.01				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.811</b>	<b>1.845</b>	<b>1.774</b>	<b>1.629</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.85 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **14.70 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

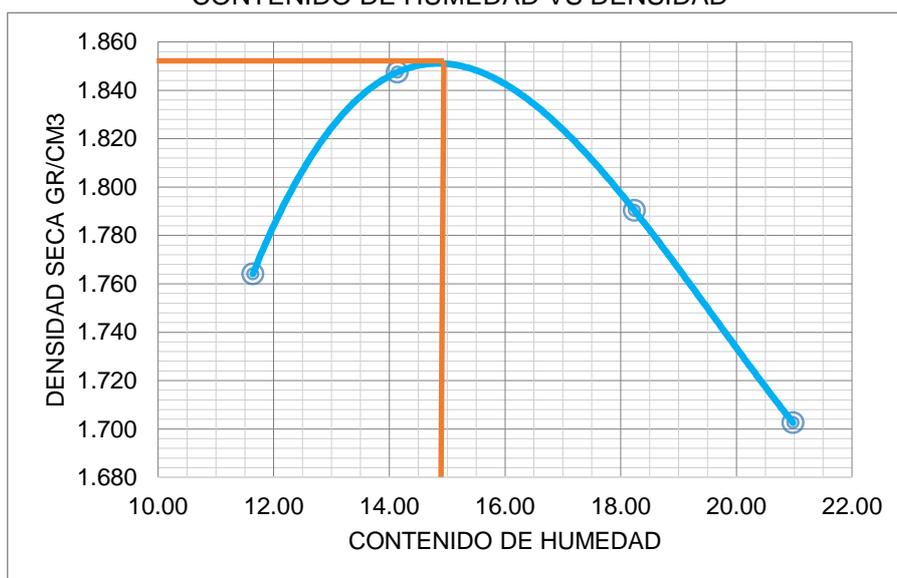
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 3

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	80.44	84.47	93.04	90.96	91.93	106.42	130.19	124.26
Peso suelo seco + cápsula	gr	77.89	81.88	88.60	87.05	86.31	99.34	117.16	113.09
Cápsula	gr	57.92	57.23	57.68	58.94	54.96	61.17	57.57	57.50
Peso del agua	gr	2.55	2.59	4.44	3.91	5.62	7.08	13.03	11.17
Peso del suelo seco	gr	19.97	24.65	30.92	28.11	31.35	38.17	59.59	55.59
Contenido de agua	%	12.77	10.51	14.36	13.91	17.93	18.55	21.87	20.09
Contenido de agua promedio	%	<b>11.64</b>		<b>14.13</b>		<b>18.24</b>		<b>20.98</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3882.58	4013.40	4021.13	3967.49				
Peso molde	gr	2031.97	2031.97	2031.97	2031.97				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1850.61	1981.43	1989.16	1935.52				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.97	2.11	2.12	2.06				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.764</b>	<b>1.847</b>	<b>1.790</b>	<b>1.703</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD

Densidad seca máxima = **1.85 gr/cm<sup>3</sup>**Contenido de humedad óptimo = **15.00 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

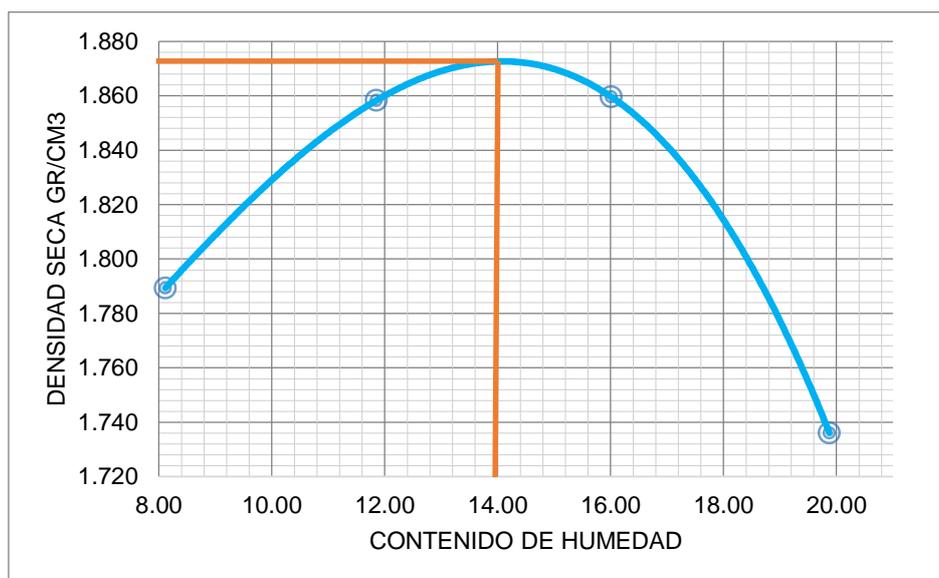
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 5% de polvo de vidrio reciclado-1

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	87.76	101.03	89.23	90.74	108.92	109.39	116.49	117.57
Peso suelo seco + cápsula	gr	85.44	97.89	85.51	87.53	102.04	102.08	106.90	107.90
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	57.69	57.34	58.13	58.50	59.40
Peso del agua	gr	2.32	3.14	3.72	3.21	6.88	7.31	9.59	9.67
Peso del suelo seco	gr	27.66	40.07	28.72	29.84	44.70	43.95	48.40	48.50
Contenido de agua	%	8.39	7.84	12.95	10.76	15.39	16.63	19.81	19.94
Contenido de agua promedio	%	<b>8.11</b>		<b>11.86</b>		<b>16.01</b>		<b>19.88</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3849.02	3984.49	4058.47	3986.82				
Peso molde	gr	2031.21	2031.21	2031.21	2031.21				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1817.81	1953.28	2027.26	1955.61				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.93	2.08	2.16	2.08				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.789</b>	<b>1.858</b>	<b>1.860</b>	<b>1.736</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.87 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **14.00 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

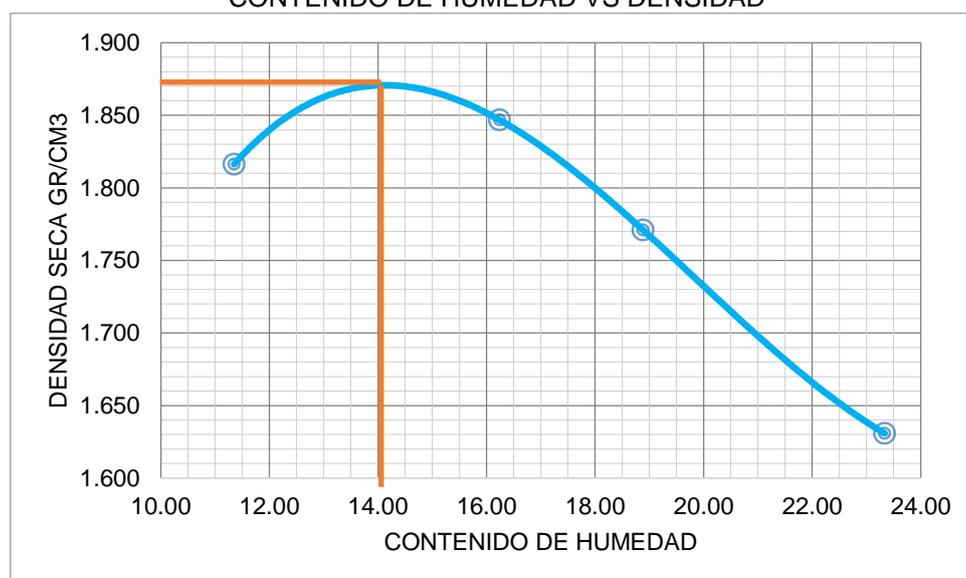
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 5% de polvo de vidrio reciclado-2

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	89.09	89.00	110.92	89.14	115.70	107.97	109.25	109.61
Peso suelo seco + cápsula	gr	86.25	85.48	102.88	85.03	100.42	106.85	99.68	100.08
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	57.69	57.34	58.13	58.50	59.40
Peso del agua	gr	2.84	3.52	8.04	4.11	15.28	1.12	9.57	9.53
Peso del suelo seco	gr	28.47	27.66	46.09	27.34	43.08	48.72	41.18	40.68
Contenido de agua	%	9.98	12.73	17.44	15.03	35.47	2.30	23.24	23.43
Contenido de agua promedio	%	<b>11.35</b>		<b>16.24</b>		<b>18.88</b>		<b>23.33</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3931.72	4048.43	4009.59	3921.28				
Peso molde	gr	2031.16	2031.16	2031.16	2031.16				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1900.56	2017.27	1978.43	1890.12				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.02	2.15	2.11	2.01				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.816</b>	<b>1.847</b>	<b>1.771</b>	<b>1.631</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.87 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **14.10 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

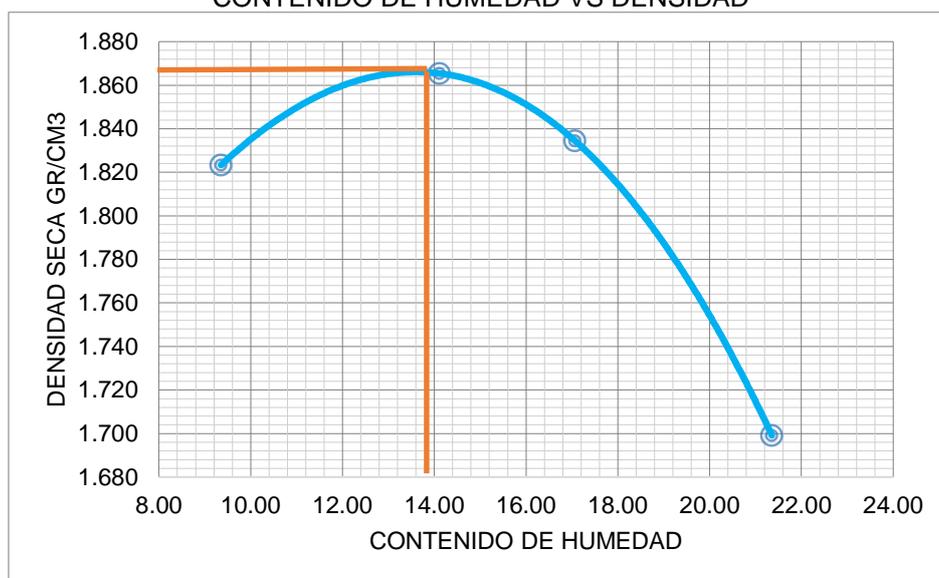
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 5% de polvo de vidrio reciclado-3

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	89.72	96.41	101.55	91.26	113.97	110.29	114.54	115.27
Peso suelo seco + cápsula	gr	87.15	93.08	95.63	87.59	102.77	106.06	104.86	105.57
Cápsula	gr	58.66	58.70	57.65	58.57	58.21	59.02	59.39	60.30
Peso del agua	gr	2.57	3.33	5.92	3.67	11.20	4.23	9.68	9.70
Peso del suelo seco	gr	28.49	34.38	37.98	29.02	44.56	47.04	45.47	45.27
Contenido de agua	%	9.02	9.69	15.59	12.65	25.13	8.99	21.29	21.43
Contenido de agua promedio	%	<b>9.35</b>		<b>14.12</b>		<b>17.06</b>		<b>21.36</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3904.92	4031.64	4049.30	3968.92				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1873.67	2000.39	2018.05	1937.67				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	1.99	2.13	2.15	2.06				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.823</b>	<b>1.865</b>	<b>1.835</b>	<b>1.699</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.87 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **13.90 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

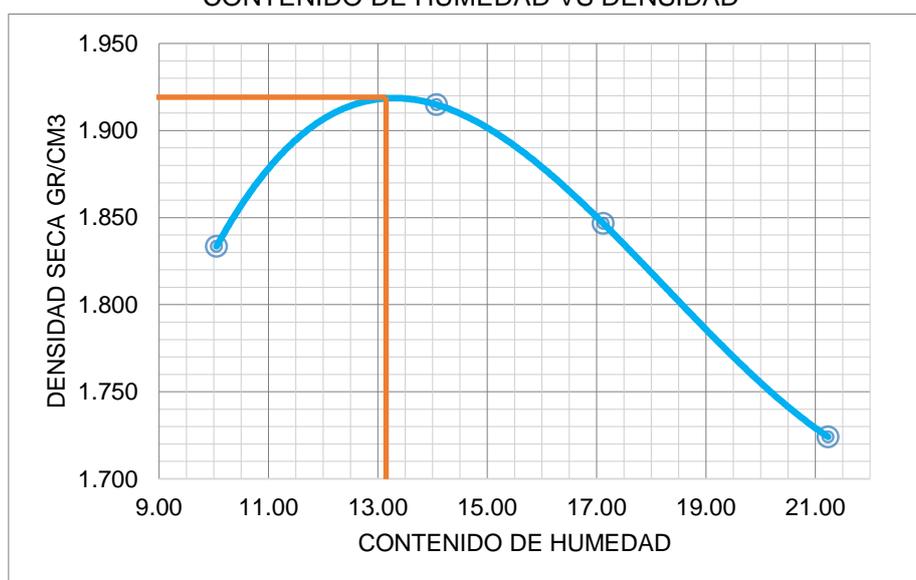
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 10% de polvo de vidrio reciclado-1

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	81.24	91.77	85.73	93.11	95.03	101.86	110.80	98.80
Peso suelo seco + cápsula	gr	78.74	89.25	82.04	89.01	89.62	95.38	101.38	91.57
Cápsula	gr	54.83	63.13	57.37	57.93	57.78	57.82	56.79	57.69
Peso del agua	gr	2.50	2.52	3.69	4.10	5.41	6.48	9.42	7.23
Peso del suelo seco	gr	23.91	26.12	24.67	31.08	31.84	37.56	44.59	33.88
Contenido de agua	%	10.46	9.65	14.96	13.19	16.99	17.25	21.13	21.34
Contenido de agua promedio	%	<b>10.05</b>		<b>14.07</b>		<b>17.12</b>		<b>21.23</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3927.11	4083.67	4063.45	3995.19				
Peso molde	gr	2031.04	2031.04	2031.04	2031.04				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1896.07	2052.63	2032.41	1964.15				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.02	2.18	2.16	2.09				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.833</b>	<b>1.915</b>	<b>1.847</b>	<b>1.724</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.92 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **13.20 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

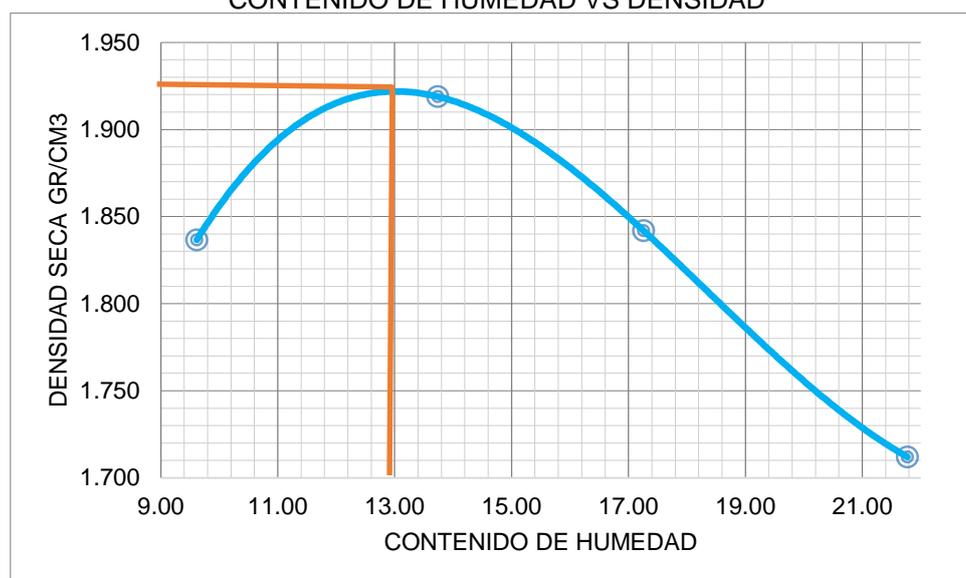
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 10% de polvo de vidrio reciclado-2

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	92.40	84.51	96.19	96.14	96.85	90.59	115.92	108.29
Peso suelo seco + cápsula	gr	89.44	82.14	91.60	91.56	91.29	85.93	105.46	99.31
Cápsula	gr	58.08	57.93	58.06	58.35	58.50	59.40	57.34	58.13
Peso del agua	gr	2.96	2.37	4.59	4.58	5.56	4.66	10.46	8.98
Peso del suelo seco	gr	31.36	24.21	33.54	33.21	32.79	26.53	48.12	41.18
Contenido de agua	%	9.44	9.79	13.69	13.79	16.96	17.57	21.74	21.81
Contenido de agua promedio	%	<b>9.61</b>		<b>13.74</b>		<b>17.26</b>		<b>21.77</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3922.93	4082.06	4060.66	3990.21				
Peso molde	gr	2031.16	2031.16	2031.16	2031.16				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1891.77	2050.90	2029.50	1959.05				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.01	2.18	2.16	2.08				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.837</b>	<b>1.919</b>	<b>1.842</b>	<b>1.712</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.93 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **13.00 %**

ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

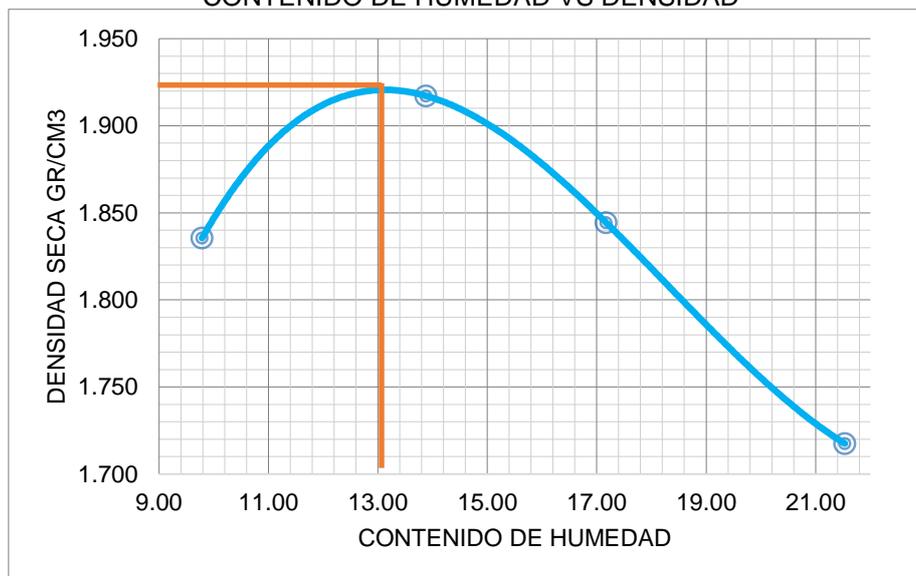
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 10% de polvo de vidrio reciclado-3

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	88.14	89.48	92.35	96.07	97.40	97.69	115.09	105.12
Peso suelo seco + cápsula	gr	85.37	87.00	88.14	91.66	91.83	92.04	104.99	96.89
Cápsula	gr	57.31	61.45	58.59	59.03	59.03	59.50	57.93	58.79
Peso del agua	gr	2.77	2.48	4.21	4.41	5.57	5.65	10.10	8.23
Peso del suelo seco	gr	28.06	25.55	29.55	32.63	32.80	32.54	47.06	38.10
Contenido de agua	%	9.87	9.71	14.25	13.52	16.98	17.36	21.46	21.60
Contenido de agua promedio	%	<b>9.79</b>		<b>13.88</b>		<b>17.17</b>		<b>21.53</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3925.02	4082.87	4062.06	3992.70				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1893.77	2051.62	2030.81	1961.45				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.02	2.18	2.16	2.09				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.836</b>	<b>1.917</b>	<b>1.844</b>	<b>1.718</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.92 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **13.10 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

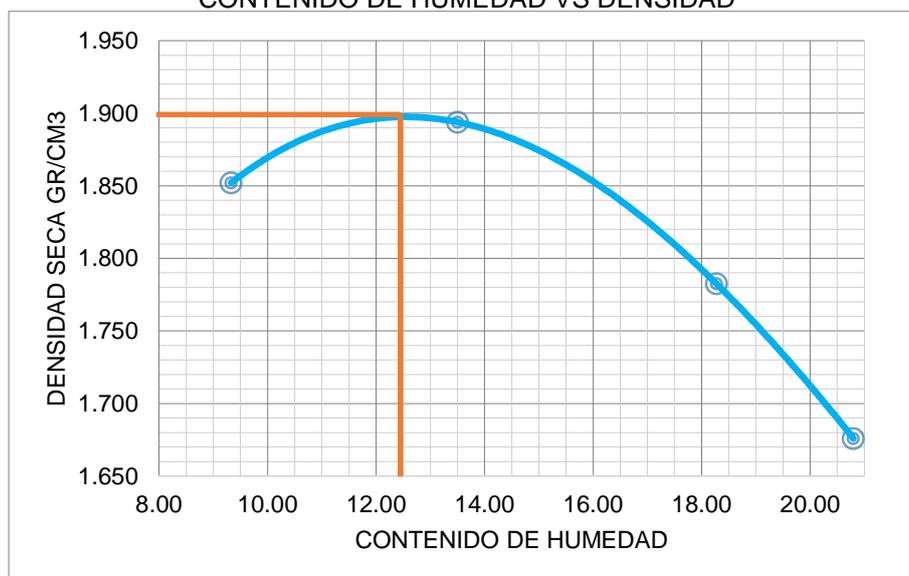
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 15% de polvo de vidrio reciclado-1

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	81.28	80.11	80.14	88.21	101.82	86.13	104.65	101.32
Peso suelo seco + cápsula	gr	79.20	78.28	77.43	84.49	95.39	81.84	96.73	93.68
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	57.69	58.50	59.40	57.34	58.13
Peso del agua	gr	2.08	1.83	2.71	3.72	6.43	4.29	7.92	7.64
Peso del suelo seco	gr	21.42	20.46	20.64	26.80	36.89	22.44	39.39	35.55
Contenido de agua	%	9.71	8.94	13.13	13.88	17.43	19.12	20.11	21.49
Contenido de agua promedio	%	<b>9.33</b>		<b>13.51</b>		<b>18.27</b>		<b>20.80</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3934.43	4051.74	4012.93	3934.21				
Peso molde	gr	2031.79	2031.79	2031.79	2031.79				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1902.64	2019.95	1981.14	1902.42				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.02	2.15	2.11	2.02				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.852</b>	<b>1.894</b>	<b>1.783</b>	<b>1.676</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD

Densidad seca máxima = **1.90 gr/cm<sup>3</sup>**Contenido de humedad óptimo = **12.50 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

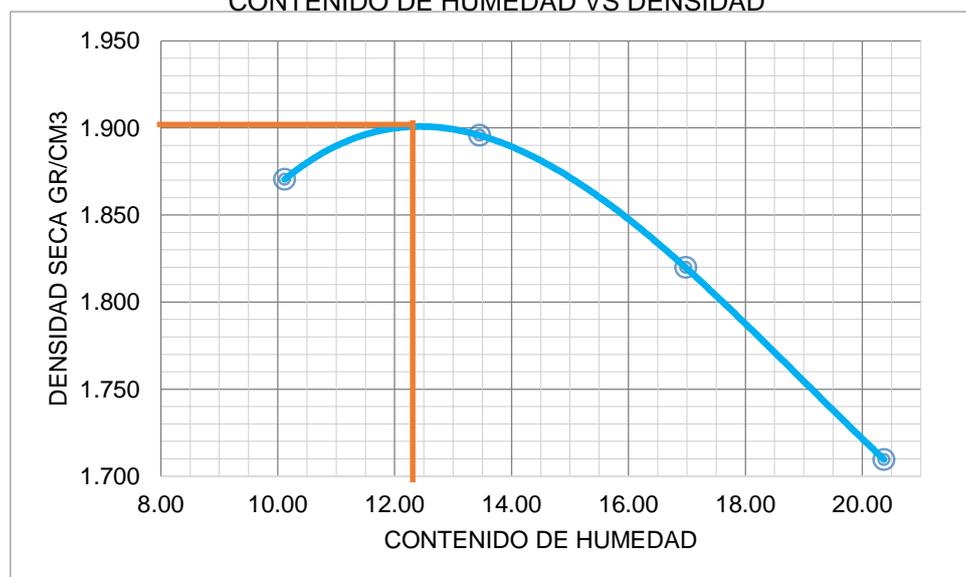
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 15% de polvo de vidrio reciclado-2

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	80.10	85.63	85.88	85.34	86.46	95.76	111.33	98.56
Peso suelo seco + cápsula	gr	77.95	83.20	82.56	81.94	82.52	90.33	101.86	91.97
Cápsula	gr	57.78	57.82	56.79	57.69	58.50	59.40	57.34	58.13
Peso del agua	gr	2.15	2.43	3.32	3.40	3.94	5.43	9.47	6.59
Peso del suelo seco	gr	20.17	25.38	25.77	24.25	24.02	30.93	44.52	33.84
Contenido de agua	%	10.66	9.57	12.88	14.02	16.40	17.56	21.27	19.47
Contenido de agua promedio	%	<b>10.12</b>		<b>13.45</b>		<b>16.98</b>		<b>20.37</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3967.14	4052.77	4032.11	3965.50				
Peso molde	gr	2031.71	2031.71	2031.71	2031.71				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1935.43	2021.06	2000.40	1933.79				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.06	2.15	2.13	2.06				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.870</b>	<b>1.896</b>	<b>1.820</b>	<b>1.710</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD

Densidad seca máxima = **1.90 gr/cm<sup>3</sup>**Contenido de humedad óptimo = **12.40 %**

### ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

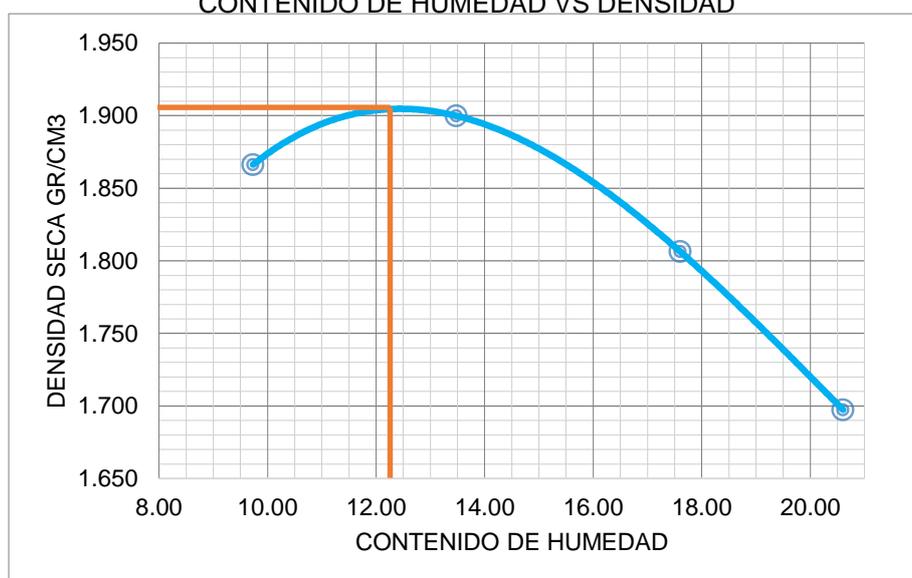
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 15% de polvo de vidrio reciclado-3

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + cápsula	gr	81.92	84.13	84.27	88.10	95.57	92.33	109.63	101.46
Peso suelo seco + cápsula	gr	79.77	81.97	81.21	84.48	90.31	87.40	100.81	94.24
Cápsula	gr	58.66	58.70	57.65	58.57	59.39	60.30	58.21	59.02
Peso del agua	gr	2.15	2.16	3.06	3.62	5.26	4.93	8.82	7.22
Peso del suelo seco	gr	21.11	23.27	23.56	25.91	30.92	27.10	42.60	35.22
Contenido de agua	%	10.18	9.28	12.99	13.97	17.01	18.19	20.70	20.50
Contenido de agua promedio	%	<b>9.73</b>		<b>13.48</b>		<b>17.60</b>		<b>20.60</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	939.70							
Peso suelo + molde	gr	3955.79	4057.26	4027.52	3954.86				
Peso molde	gr	2031.25	2031.25	2031.25	2031.25				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1924.54	2026.01	1996.27	1923.61				
Densidad húmeda	gr/cm <sup>3</sup>	2.05	2.16	2.12	2.05				
Densidad seca	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.866</b>	<b>1.900</b>	<b>1.806</b>	<b>1.697</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.90 gr/cm<sup>3</sup>**

Contenido de humedad óptimo = **12.30 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

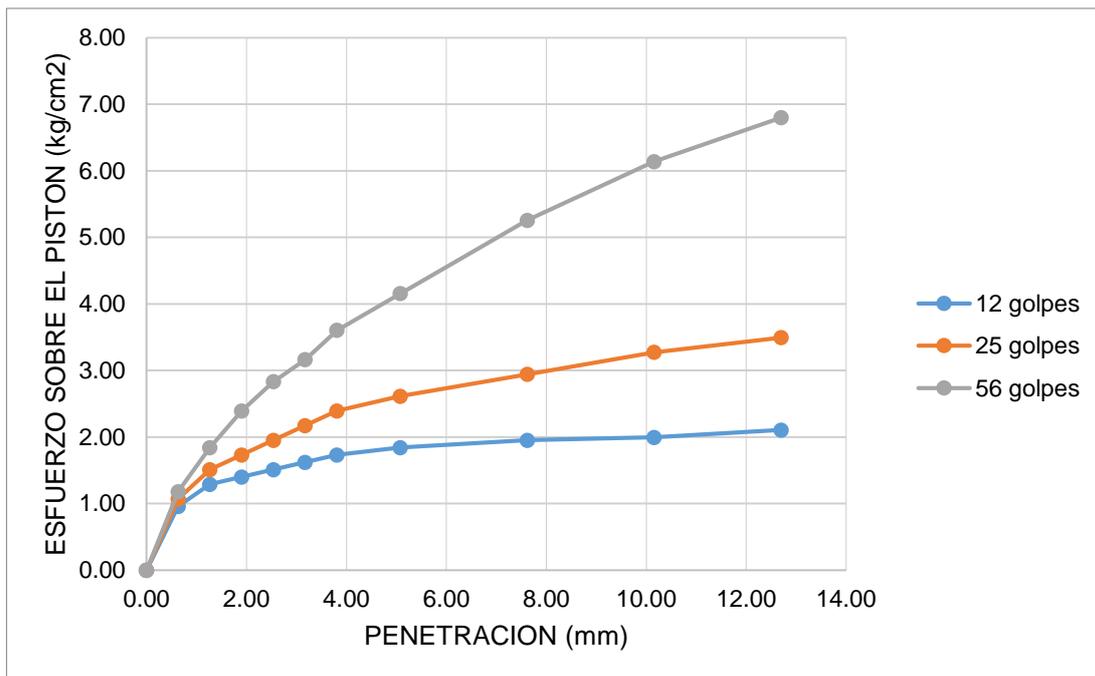
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 1

<b>Ensayo de expansión</b>											
molde			<b>MOLDE 12 GOLPES</b>			<b>MOLDE 25 GOLPES</b>			<b>MOLDE 56 GOLPES</b>		
			L. inicial	127	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/04/2024	10:30	0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/04/2024	10:30	24	185.0	4.70	3.70	160.0	4.06	3.18	123.0	3.12	2.48
12/04/2024	10:30	48	276.5	7.02	5.53	224.0	5.69	4.45	164.0	4.17	3.31
15/04/2024	10:30	120	402.0	10.21	8.04	355.0	9.02	7.04	278.0	7.06	5.60
<b>Ensayo de penetración</b>											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	<b>MOLDE 12 GOLPES</b>			<b>MOLDE 25 GOLPES</b>			<b>MOLDE 56 GOLPES</b>		
			CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		0.5	18.58	0.96	1	20.71	1.07	1.5	22.85	1.18
0.050	1.27		2	24.98	1.29	3	29.25	1.51	4.5	35.64	1.84
0.075	1.91		2.5	27.11	1.40	4	33.51	1.73	7	46.31	2.39
0.100	2.54	70.49	3	29.25	1.51	5	37.78	1.95	9	54.84	2.83
0.125	3.18		3.5	31.38	1.62	6	42.04	2.17	10.5	61.24	3.16
0.150	3.81		4	33.51	1.73	7	46.31	2.39	12.5	69.77	3.60
0.200	5.08	105.68	4.5	35.64	1.84	8	50.57	2.61	15	80.43	4.16
0.300	7.62		5	37.78	1.95	9.5	56.97	2.94	20	101.76	5.26
0.400	10.16		5.2	38.63	2.00	11	63.37	3.27	24	118.83	6.14
0.500	12.70		5.7	40.76	2.11	12	67.64	3.49	27	131.62	6.80

PENETRACION VS ESFUERZO

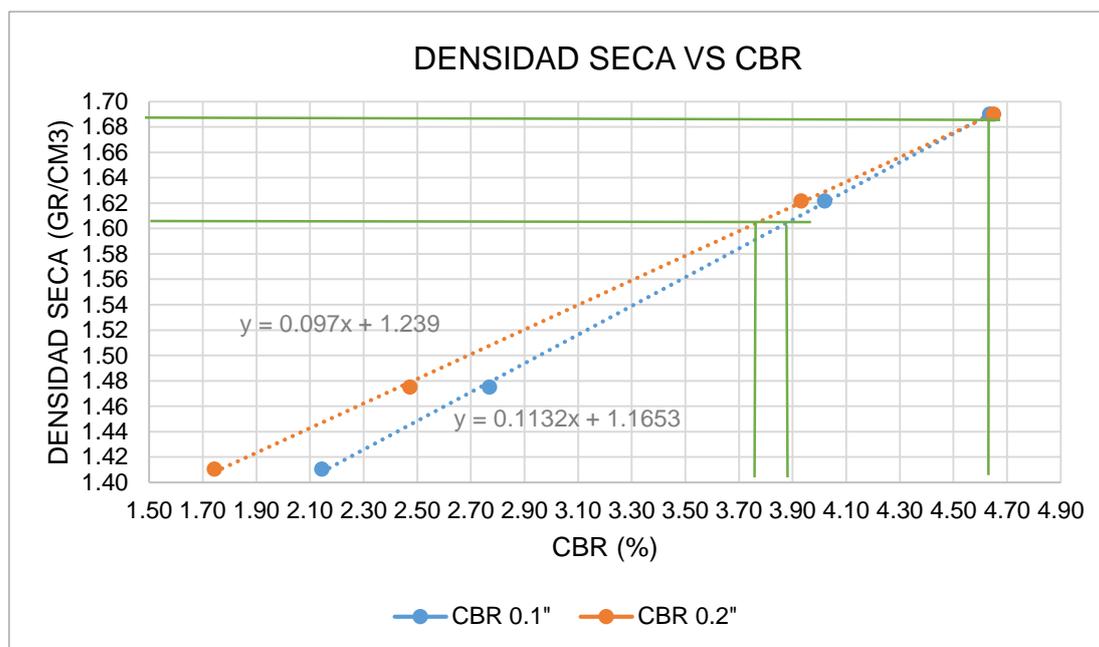


cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	21.5		21.5		21.5	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11055.8		10560		11627	
Peso del molde (gr)	7067		6367.5		7119	
Peso del suelo húmedo (gr)	3988.8		4192.5		4508	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.70		12.80		12.60	
Volumen del molde	2304.52		2322.67		2286.38	
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.73		1.81		1.97	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.3	86.17	80.94	80.86	84.33	79.73
Peso suelo seco + cápsula (gr)	80.5	81.79	76.71	77.75	80.2	75.91
Cápsula (gr)	58.47	63.25	58.44	63.33	61.98	57.26
Peso del agua (gr)	4.8	4.38	4.23	3.11	4.13	3.82
Peso del suelo seco (gr)	22.03	18.54	18.27	14.42	18.22	18.65
Contenido de agua (%)	21.79	23.62	23.15	21.57	22.67	20.48
Contenido de agua promedio (%)	22.71		22.36		21.57	
<b>Densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.41</b>		<b>1.48</b>		<b>1.62</b>	

## Corrección

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo o kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	1.51	<b>2.14</b>	2.54	1.95	<b>2.77</b>	2.54	2.83	<b>4.02</b>
105.68	5.08	1.84	<b>1.74</b>	5.08	2.61	<b>2.47</b>	5.08	4.16	<b>3.93</b>



Densidad seca máxima = 1.690 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.606 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 4.65 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 4.64 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 3.78 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 3.89 %**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

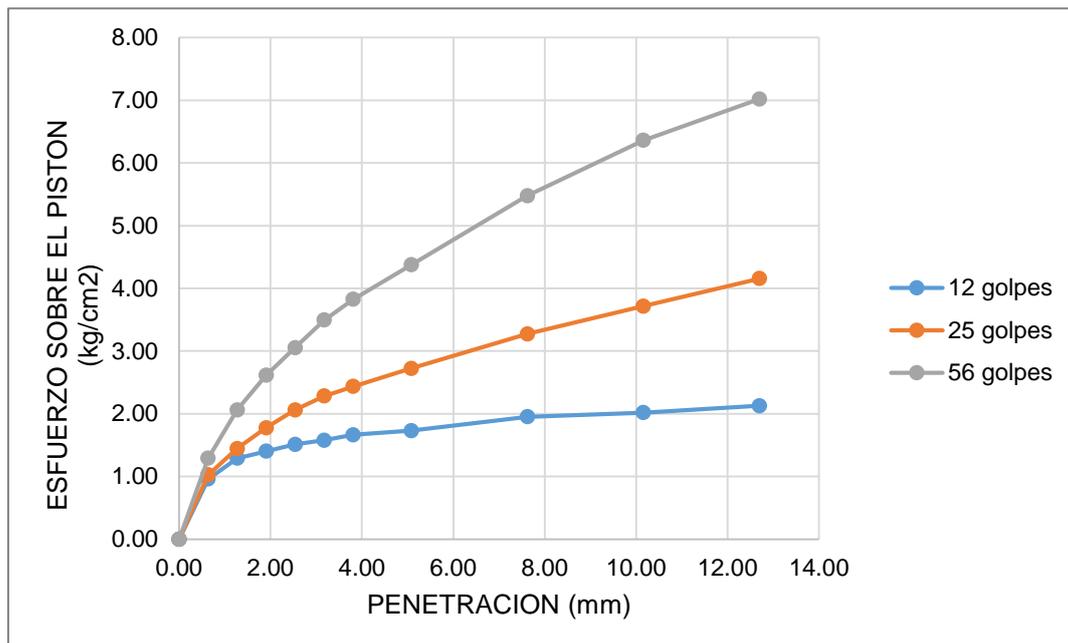
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 2

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE 25 GOLPES			MOLDE 56 GOLPES		
			L. inicial	127	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/04/2024	11:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26/04/2024	11:00	24	192.0	4.88	3.84	175.0	4.45	3.47	121.0	3.07	2.44
29/04/2024	11:00	96	407.0	10.34	<b>8.14</b>	366.0	9.30	<b>7.26</b>	282.0	7.16	<b>5.68</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA standart	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE 25 GOLPES			MOLDE 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		0.5	18.58	0.96	0.8	19.86	1.03	2	24.98	1.29
0.050	1.27		2	24.98	1.29	2.7	27.97	1.44	5.5	39.91	2.06
0.075	1.91		2.5	27.11	1.40	4.2	34.36	1.78	8	50.57	2.61
0.100	2.54	70.49	3	29.25	1.51	5.5	39.91	2.06	10	59.11	3.05
0.125	3.18		3.3	30.52	1.58	6.5	44.18	2.28	12	67.64	3.49
0.150	3.81		3.7	32.23	1.67	7.2	47.16	2.44	13.5	74.04	3.83
0.200	5.08	105.68	4	33.51	1.73	8.5	52.71	2.72	16	84.70	4.38
0.300	7.62		5	37.78	1.95	11	63.37	3.27	21	106.03	5.48
0.400	10.16		5.3	39.06	2.02	13	71.90	3.71	25	123.09	6.36
0.500	12.70		5.8	41.19	2.13	15	80.43	4.16	28	135.89	7.02

## PENETRACION VS ESFUERZO

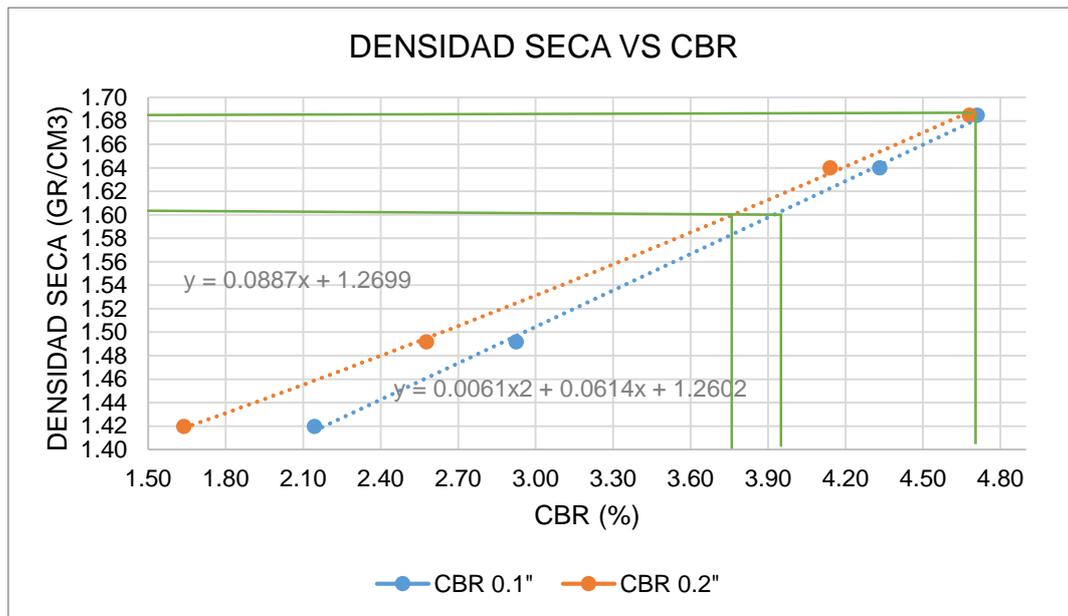


## cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	22	22	22			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11060	10605	11694			
Peso del molde (gr)	7061	6365	7118			
Peso del suelo húmedo (gr)	3999	4240	4576			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.70	12.80	12.60			
Volumen del molde	2304.52	2322.67	2286.38			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.74	1.83	2.00			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	88.66	88.61	75.51	83.71	82.17	79.26
Peso suelo seco + cápsula (gr)	82.83	83.42	72.22	78.94	78.41	75.64
Cápsula (gr)	57.17	59.55	57.72	57.32	61.54	59.02
Peso del agua (gr)	5.83	5.19	3.29	4.77	3.76	3.62
Peso del suelo seco (gr)	25.66	23.87	14.50	21.62	16.87	16.62
Contenido de agua (%)	22.72	21.74	22.69	22.06	22.29	21.78
Contenido de agua promedio (%)	22.23		22.38		22.03	
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.42</b>		<b>1.49</b>		<b>1.64</b>	

## Corrección

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	1.51	<b>2.14</b>	2.54	2.06	<b>2.93</b>	2.54	3.05	<b>4.33</b>
105.68	5.08	1.73	<b>1.64</b>	5.08	2.72	<b>2.58</b>	5.08	4.38	<b>4.14</b>



Densidad seca máxima = 1.685 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.601 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 4.68 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 4.71 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 3.73 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 3.98 %**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

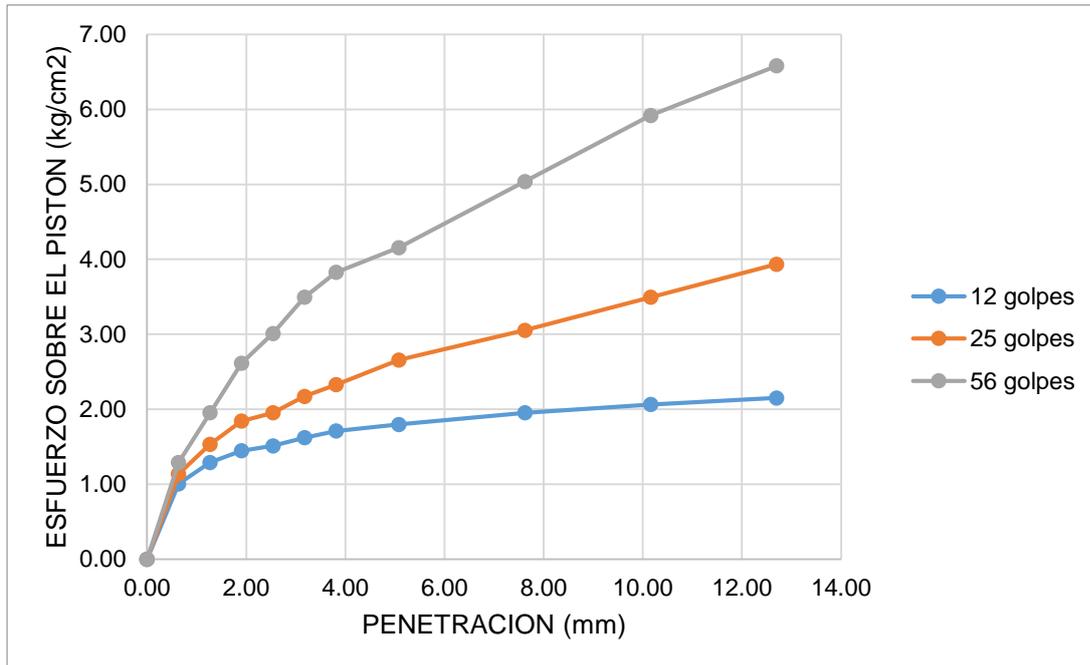
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 3

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE 25 GOLPES			MOLDE 56 GOLPES		
			L. inicial	127	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/04/2024	12:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26/04/2024	12:00	24	178.0	4.52	3.56	170.0	4.32	3.37	115.0	2.92	2.32
29/04/2024	12:00	96	410.0	10.41	8.20	370.0	9.40	7.34	290.0	7.37	5.85
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA standart	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE 25 GOLPES			MOLDE 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		0.7	19.43	1.00	1.3	21.99	1.14	2	24.98	1.29
0.050	1.27		2	24.98	1.29	3.1	29.67	1.53	5	37.78	1.95
0.075	1.91		2.7	27.97	1.44	4.5	35.64	1.84	8	50.57	2.61
0.100	2.54	70.49	3	29.25	1.51	5	37.78	1.95	9.8	58.25	3.01
0.125	3.18		3.5	31.38	1.62	6	42.04	2.17	12	67.64	3.49
0.150	3.81		3.9	33.08	1.71	6.7	45.03	2.33	13.5	74.04	3.83
0.200	5.08	105.68	4.3	34.79	1.80	8.2	51.43	2.66	15	80.43	4.16
0.300	7.62		5	37.78	1.95	10	59.11	3.05	19	97.50	5.04
0.400	10.16		5.5	39.91	2.06	12	67.64	3.49	23	114.56	5.92
0.500	12.70		5.9	41.62	2.15	14	76.17	3.94	26	127.36	6.58

PENETRACION VS ESFUERZO

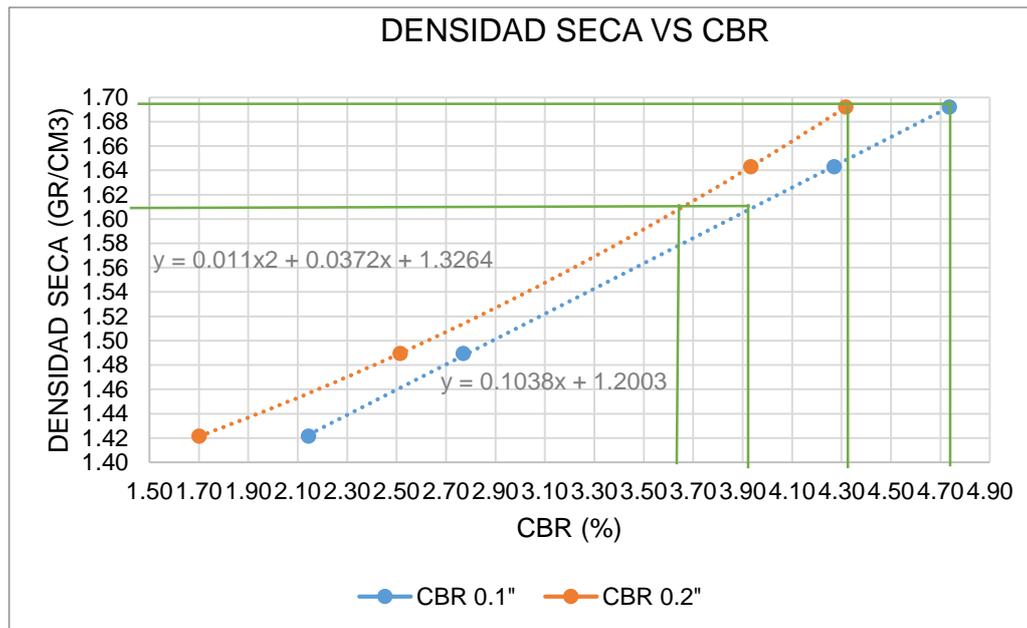


## cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	21.9		21.9		21.9	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11058		10583		11686	
Peso del molde (gr)	7064		6366		7119	
Peso del suelo húmedo (gr)	3993.9		4216.25		4567	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.70		12.80		12.60	
Volumen del molde	2304.52		2322.67		2286.38	
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.73		1.82		2.00	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	86.98	87.39	78.23	82.29	83.25	79.50
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.77	82.69	74.61	78.35	79.37	75.77
Cápsula (gr)	57.82	61.40	58.08	60.33	61.76	58.14
Peso del agua (gr)	5.21	4.7	3.615	3.94	3.88	3.725
Peso del suelo seco (gr)	23.95	21.29	16.53	18.02	17.61	17.63
Contenido de agua (%)	21.75	22.08	21.87	21.86	22.03	21.13
Contenido de agua promedio (%)	21.91		21.87		21.58	
<b>Densidad seca (gr/cm³)</b>	<b>1.42</b>		<b>1.49</b>		<b>1.64</b>	

## Corrección

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	1.51	<b>2.14</b>	2.54	1.95	<b>2.77</b>	2.54	3.01	<b>4.27</b>
105.68	5.08	1.80	<b>1.70</b>	5.08	2.66	<b>2.51</b>	5.08	4.16	<b>3.93</b>



Densidad seca máxima = 1.692 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.607 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 4.32 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 4.74 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 3.64 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 3.92 %**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

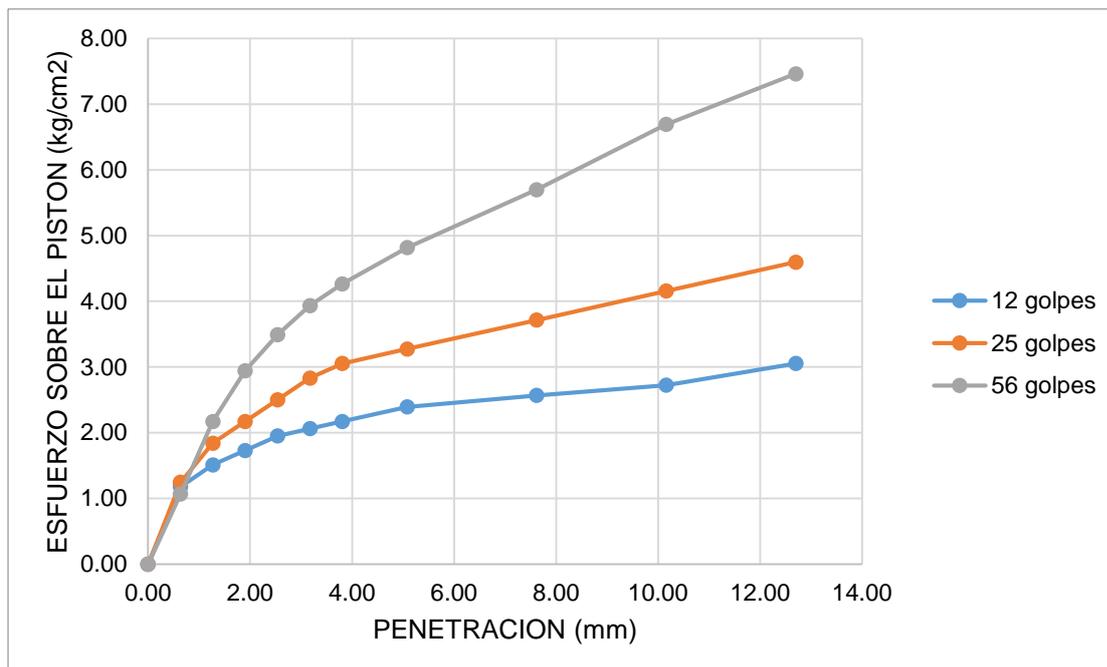
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado - 1

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	127	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
03/05/2024	10:45	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06/05/2024	10:45	72	362.0	9.19	7.24	303.0	7.70	6.01	231.0	5.87	4.66
07/05/2024	10:45	96	371.0	9.42	<b>7.42</b>	315.0	8.00	<b>6.25</b>	243.0	6.17	<b>4.90</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA standart kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.5	22.85	1.18	1.8	24.13	1.25	1	20.71	1.07
0.050	1.27		3	29.25	1.51	4.5	35.64	1.84	6	42.04	2.17
0.075	1.91		4	33.51	1.73	6	42.04	2.17	9.5	56.97	2.94
0.100	2.54	70.49	5	37.78	1.95	7.5	48.44	2.50	12	67.64	3.49
0.125	3.18		5.5	39.91	2.06	9	54.84	2.83	14	76.17	3.94
0.150	3.81		6	42.04	2.17	10	59.11	3.05	15.5	82.57	4.27
0.200	5.08	105.68	7	46.31	2.39	11	63.37	3.27	18	93.23	4.82
0.300	7.62		7.8	49.72	2.57	13	71.90	3.71	22	110.30	5.70
0.400	10.16		8.5	52.71	2.72	15	80.43	4.16	26.5	129.49	6.69
0.500	12.70		10	59.11	3.05	17	88.97	4.60	30	144.42	7.46

PENETRACION VS ESFUERZO

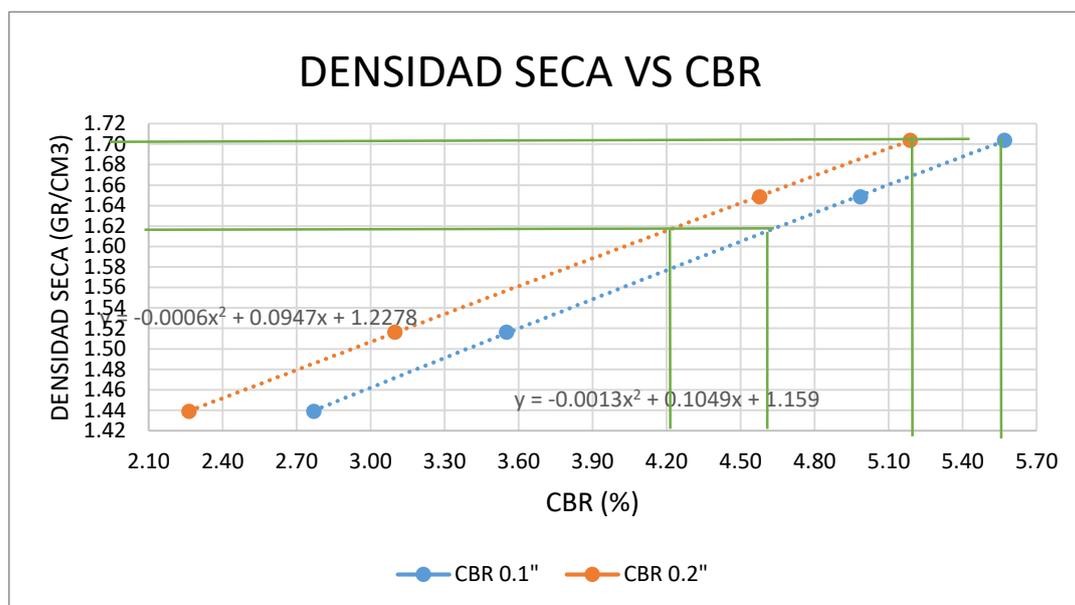


cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	20.1		20.1		20.1	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11066		10591		11629	
Peso del molde (gr)	7061		6371		7116.5	
Peso del suelo húmedo (gr)	4005		4220		4512.5	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.70		12.80		12.60	
Volumen del molde	2304.52		2322.67		2286.38	
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.74		1.82		1.97	
	AM1	14	20	11	M1	M2
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	87.87	81.04	89.96	84.76	85.04	90.20
Peso suelo seco + cápsula (gr)	82.77	76.94	84.82	80.38	80.60	84.96
Cápsula (gr)	57.15	57.99	59.03	58.17	57.28	59.28
Peso del agua (gr)	5.10	4.10	5.14	4.38	4.44	5.24
Peso del suelo seco (gr)	25.62	18.95	25.79	22.21	23.32	25.68
Contenido de agua (%)	19.91	21.64	19.93	19.72	19.04	20.40
Contenido de agua promedio (%)	20.77		19.83		19.72	
<b>Densidad seca (gr/cm³)</b>	<b>1.44</b>		<b>1.52</b>		<b>1.65</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	1.95	<b>2.77</b>	2.54	2.50	<b>3.55</b>	2.69	3.51	<b>4.99</b>
105.68	5.08	2.39	<b>2.26</b>	5.08	3.27	<b>3.10</b>	5.23	4.84	<b>4.58</b>



Densidad seca máxima = 1.704 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.619 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 5.20 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 5.58 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 4.24 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 4.65 %**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

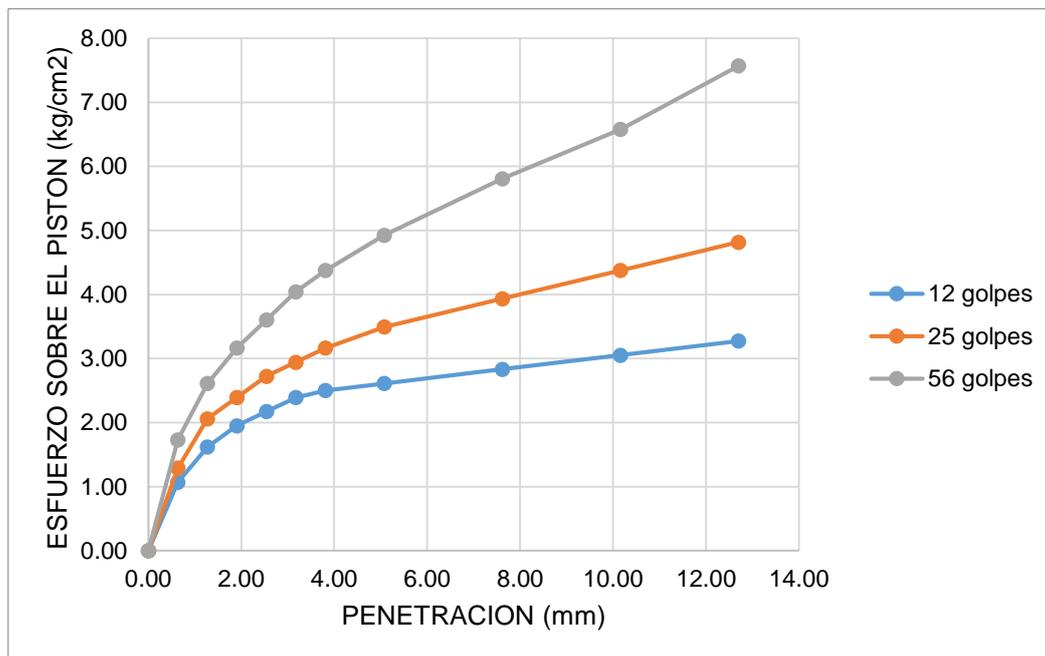
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado - 2

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	127	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
17/05/2024	11:40	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/05/2024	11:40	72	351	8.92	7.02	296	7.52	5.87	221	5.61	4.46
21/05/2024	11:40	96	364.0	9.25	<b>7.28</b>	307.0	7.80	<b>6.09</b>	233.0	5.92	<b>4.70</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA standart kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1	20.71	1.07	2	24.98	1.29	4	33.51	1.73
0.050	1.27		3.5	31.38	1.62	5.5	39.91	2.06	8	50.57	2.61
0.075	1.91		5	37.78	1.95	7	46.31	2.39	10.5	61.24	3.16
0.100	2.54	70.49	6	42.04	2.17	8.5	52.71	2.72	12.5	69.77	3.60
0.125	3.18		7	46.31	2.39	9.5	56.97	2.94	14.5	78.30	4.05
0.150	3.81		7.5	48.44	2.50	10.5	61.24	3.16	16	84.70	4.38
0.200	5.08	105.68	8	50.57	2.61	12	67.64	3.49	18.5	95.36	4.93
0.300	7.62		9	54.84	2.83	14	76.17	3.94	22.5	112.43	5.81
0.400	10.16		10	59.11	3.05	16	84.70	4.38	26	127.36	6.58
0.500	12.70		11	63.37	3.27	18	93.23	4.82	30.5	146.55	7.57

PENETRACION VS ESFUERZO

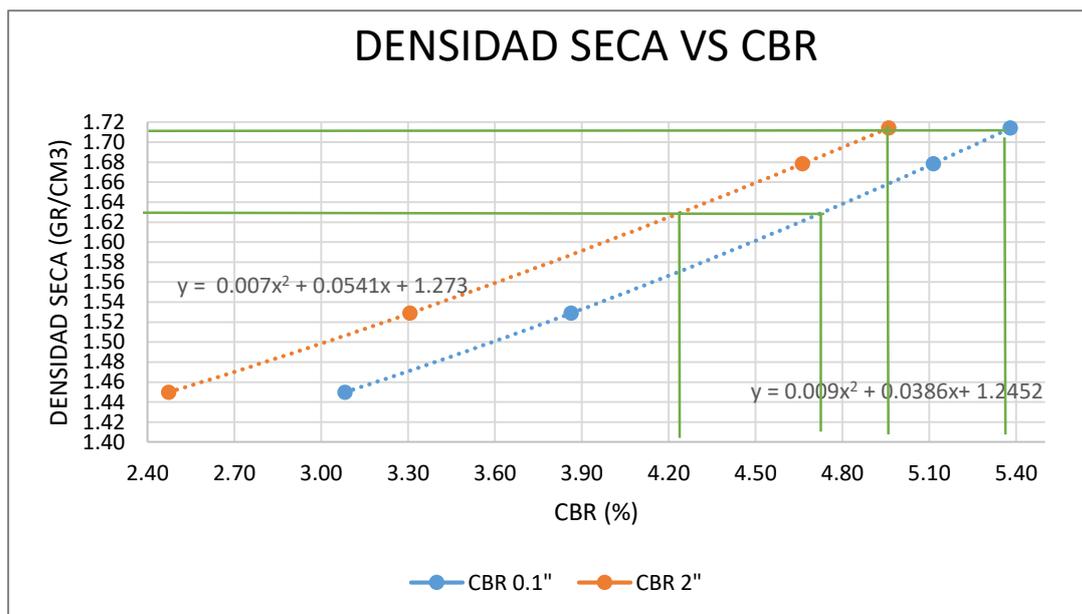


## cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N° de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	19	19	19			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11071	10600	11675			
Peso del molde (gr)	7119	6371	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3952	4229	4608			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.73	1.82	2.00			
	4	12	11	35	33	52
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	84.15	84.82	88.73	80.33	74.17	73.5
Peso suelo seco + cápsula (gr)	79.91	80.62	83.9	76.2	71.67	70.76
Cápsula (gr)	57.88	58.75	59.54	53.7	58.52	56.54
Peso del agua (gr)	4.24	4.20	4.83	4.13	2.50	2.74
Peso del suelo seco (gr)	22.03	21.87	24.36	22.50	13.15	14.22
Contenido de agua (%)	19.25	19.20	19.83	18.36	19.01	19.27
Contenido de agua promedio (%)	19.23		19.09		19.14	
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.45</b>		<b>1.53</b>		<b>1.68</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.17	<b>3.08</b>	2.54	2.72	<b>3.86</b>	2.54	3.60	<b>5.11</b>
105.68	5.08	2.61	<b>2.47</b>	5.08	3.49	<b>3.31</b>	5.08	4.93	<b>4.66</b>



Densidad seca máxima = 1.714 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.628 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 4.96 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 5.38 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 4.24 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 4.72 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

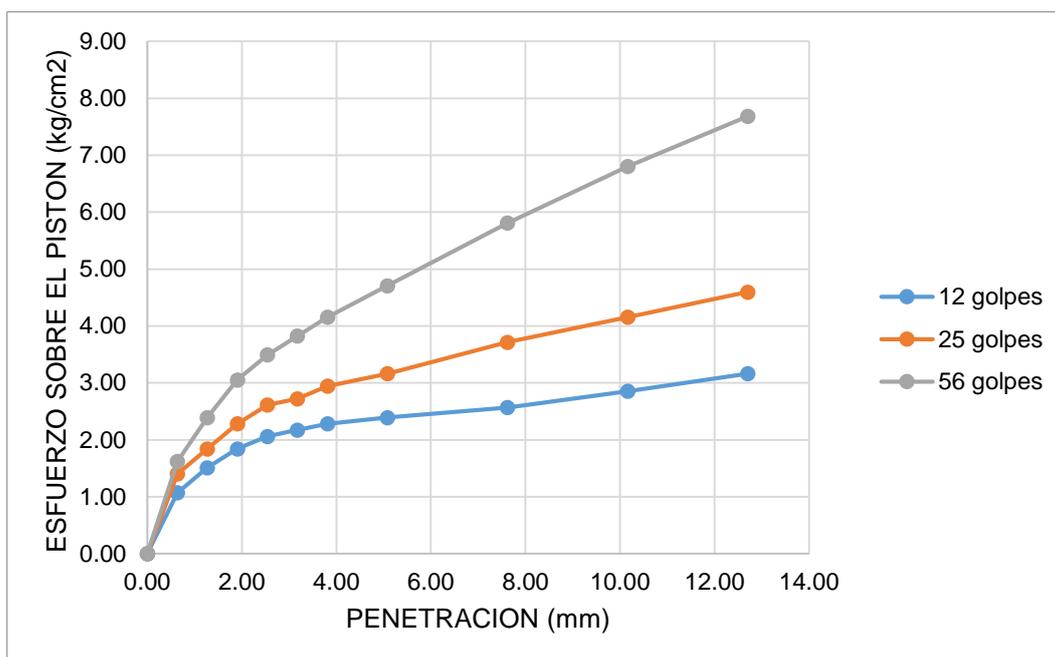
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 5% de polvo de vidrio reciclado - 3

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	127	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
17/05/2024	11:50	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/05/2024	11:50	72	367.0	9.32	7.34	308.0	7.82	6.11	236.0	5.99	4.76
21/05/2024	11:50	96	376.0	9.55	<b>7.52</b>	320.0	8.13	<b>6.35</b>	248.0	6.30	<b>5.00</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA standart	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			kg/cm2	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1	20.71	1.07	2.5	27.11	1.40	3.5	31.38	1.62
0.050	1.27		3	29.25	1.51	4.5	35.64	1.84	7	46.31	2.39
0.075	1.91		4.5	35.64	1.84	6.5	44.18	2.28	10	59.11	3.05
0.100	2.54	70.49	5.5	39.91	2.06	8	50.57	2.61	12	67.64	3.49
0.125	3.18		6	42.04	2.17	8.5	52.71	2.72	13.5	74.04	3.83
0.150	3.81		6.5	44.18	2.28	9.5	56.97	2.94	15	80.43	4.16
0.200	5.08	105.68	7	46.31	2.39	10.5	61.24	3.16	17.5	91.10	4.71
0.300	7.62		7.8	49.72	2.57	13	71.90	3.71	22.5	112.43	5.81
0.400	10.16		9.1	55.27	2.86	15	80.43	4.16	27	131.62	6.80
0.500	12.70		10.5	61.24	3.16	17	88.97	4.60	31	148.69	7.68

PENETRACION VS ESFUERZO

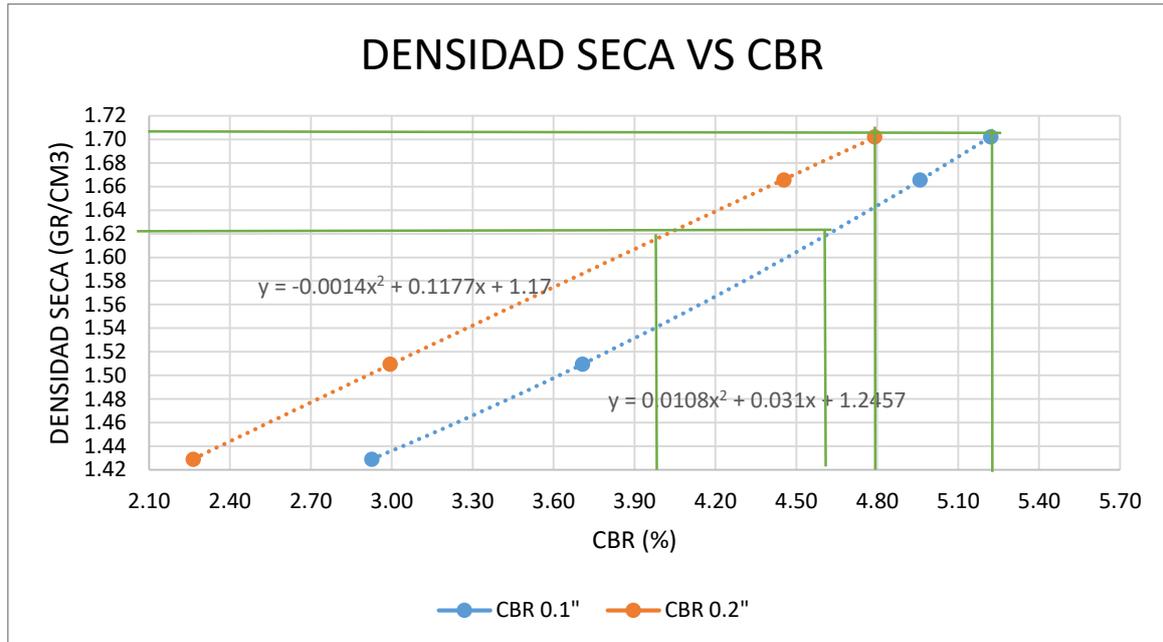


cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	19.1	19.1	19.1			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10987	10548	11650			
Peso del molde (gr)	7061	6371	7116.5			
Peso del suelo húmedo (gr)	3926	4177	4533.5			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.70	12.80	12.60			
Volumen del molde	2304.52	2322.67	2286.38			
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.70	1.80	1.98			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.58	82.22	88.68	82.19	79.21	81.26
Peso suelo seco + cápsula (gr)	80.94	78.39	83.94	77.90	75.76	77.47
Cápsula (gr)	57.23	58.08	58.99	55.66	57.61	57.62
Peso del agua (gr)	4.64	3.83	4.74	4.29	3.45	3.79
Peso del suelo seco (gr)	23.71	20.31	24.95	22.24	18.15	19.85
Contenido de agua (%)	19.57	18.86	19.00	19.29	19.01	19.09
Contenido de agua promedio (%)	19.21		19.14		19.05	
<b>Densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.43</b>		<b>1.51</b>		<b>1.67</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.06	<b>2.93</b>	2.54	2.61	<b>3.71</b>	2.54	3.49	<b>4.96</b>
105.68	5.08	2.39	<b>2.26</b>	5.08	3.16	<b>2.99</b>	5.08	4.71	<b>4.45</b>



Densidad seca máxima = 1.702 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.617 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 4.79 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 5.22 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 3.99 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 4.60 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

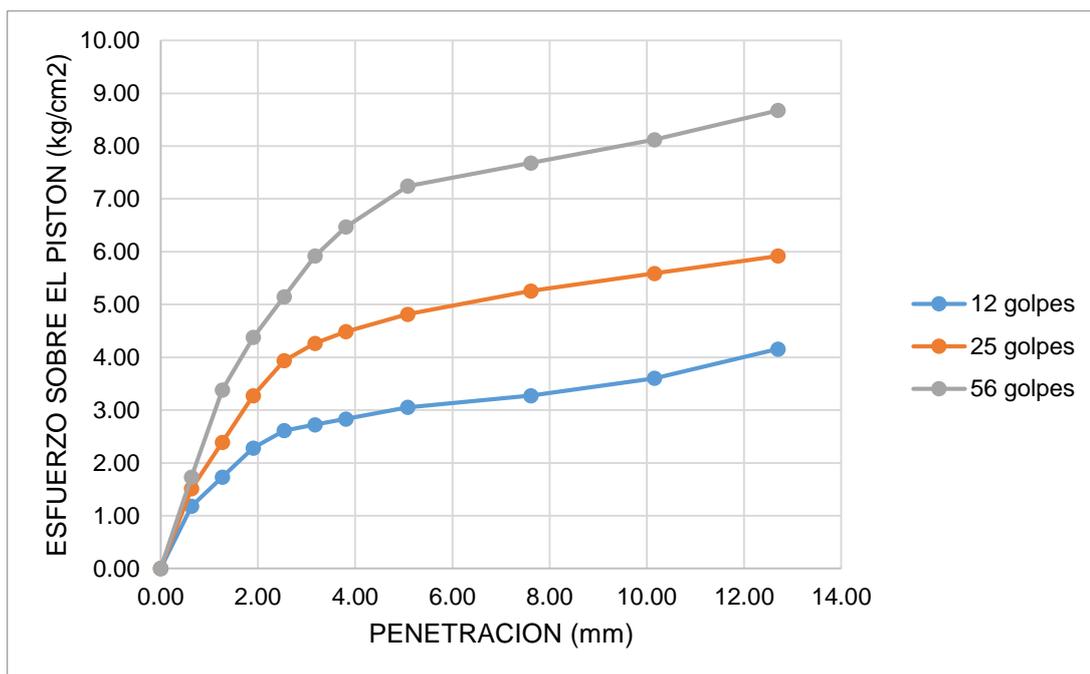
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado - 1

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	126	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
28/05/2024	12:20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29/05/2024	12:20	24	195.0	4.95	3.93	154.0	3.91	3.06	85.0	2.16	1.70
30/05/2024	12:20	48	254.0	6.45	5.12	198.0	5.03	3.93	125.0	3.18	2.50
31/05/2024	12:20	72	264.0	6.71	<b>5.32</b>	208.0	5.28	<b>4.13</b>	136.0	3.45	<b>2.72</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.5	22.85	1.18	3	29.25	1.51	4	33.51	1.73
0.050	1.27		4	33.51	1.73	7	46.31	2.39	11.5	65.50	3.38
0.075	1.91		6.5	44.18	2.28	11	63.37	3.27	16	84.70	4.38
0.100	2.54	70.49	8	50.57	2.61	14	76.17	3.94	19.5	99.63	5.15
0.125	3.18		8.5	52.71	2.72	15.5	82.57	4.27	23	114.56	5.92
0.150	3.81		9	54.84	2.83	16.5	86.83	4.49	25.5	125.23	6.47
0.200	5.08	105.68	10	59.11	3.05	18	93.23	4.82	29	140.16	7.24
0.300	7.62		11	63.37	3.27	20	101.76	5.26	31	148.69	7.68
0.400	10.16		12.5	69.77	3.60	21.5	108.16	5.59	33	157.22	8.12
0.500	12.70		15	80.43	4.16	23	114.56	5.92	35.5	167.88	8.67

PENETRACION VS ESFUERZO

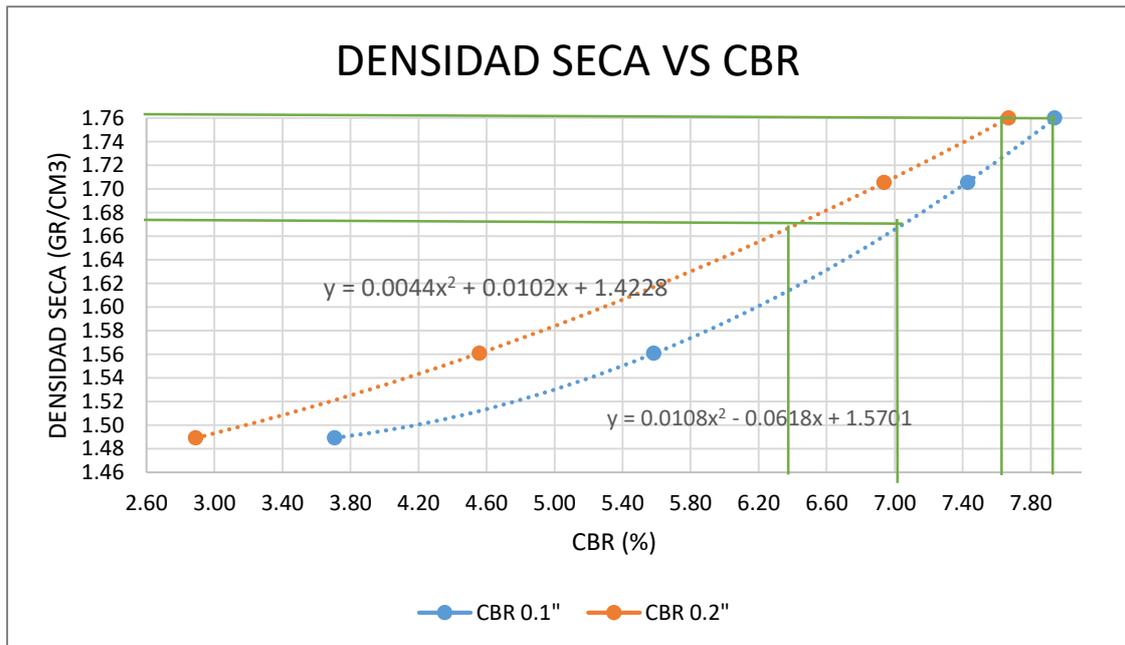


cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N° de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	18	18	18			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11139	10650	11712			
Peso del molde (gr)	7119	6371	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	4020	4279	4645			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.76	1.84	2.02			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	78.54	75.06	76.91	73.92	74.26	79.79
Peso suelo seco + cápsula (gr)	75.64	72.56	73.95	71.66	72.41	76.56
Cápsula (gr)	59.59	58.74	57.83	58.9	62.3	58.69
Peso del agua (gr)	2.9	2.5	2.96	2.26	1.85	3.23
Peso del suelo seco (gr)	16.05	13.82	16.12	12.76	10.11	17.87
Contenido de agua (%)	18.07	18.09	18.36	17.71	18.30	18.07
Contenido de agua promedio (%)	18.08		18.04		18.19	
<b>Densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.49</b>		<b>1.56</b>		<b>1.71</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.61	<b>3.71</b>	2.54	3.94	<b>5.58</b>	2.66	5.24	<b>7.43</b>
105.68	5.08	3.05	<b>2.89</b>	5.08	4.82	<b>4.56</b>	5.20	7.33	<b>6.94</b>



Densidad seca máxima = 1.760 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.672 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 7.67 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 7.94 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 6.46 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 7.06 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

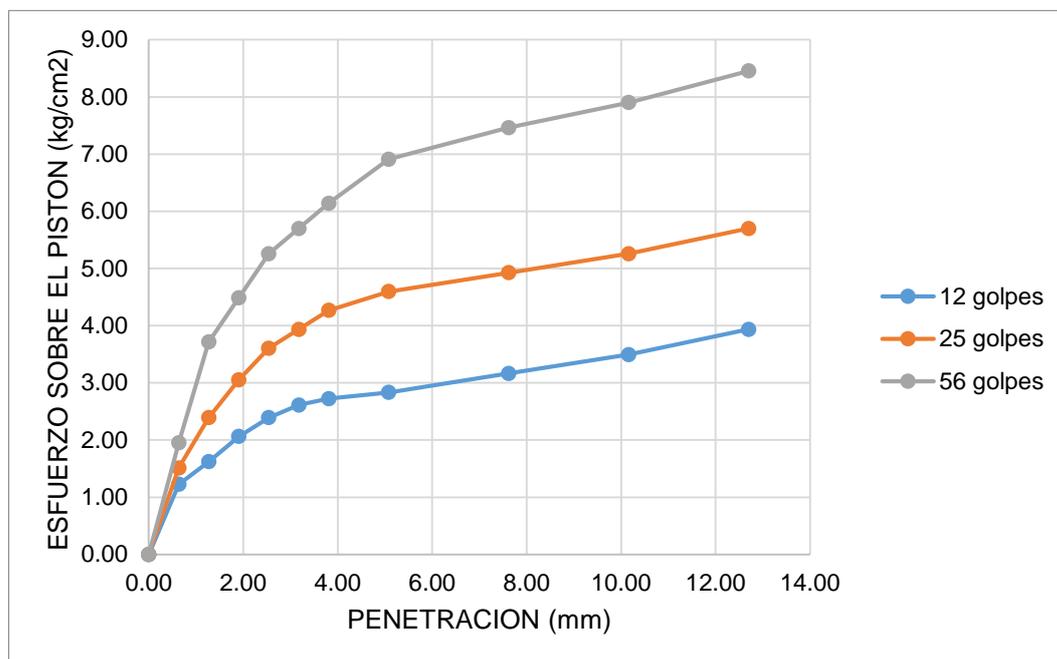
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado - 2

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	126	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
05/06/2024	11:25	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06/06/2024	11:25	24	201.0	5.11	4.05	138.0	3.51	2.74	72.0	1.83	1.44
07/06/2024	11:25	48	219	5.56	4.41	164	4.17	3.25	93	2.36	1.86
10/06/2024	11:25	120	271.0	6.88	<b>5.46</b>	215.0	5.46	<b>4.27</b>	143.0	3.63	<b>2.86</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			estándar	CARGA	carga	Esfuerzo	CARGA	carga	Esfuerzo	CARGA	carga
		kg/cm2	Dial(div)	kg	(kg/cm2)	Dial(div)	kg	(kg/cm2)	Dial(div)	kg	(kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.7	23.70	1.22	3	29.25	1.51	5	37.78	1.95
0.050	1.27		3.5	31.38	1.62	7	46.31	2.39	13	71.90	3.71
0.075	1.91		5.5	39.91	2.06	10	59.11	3.05	16.5	86.83	4.49
0.100	2.54	70.49	7	46.31	2.39	12.5	69.77	3.60	20	101.76	5.26
0.125	3.18		8	50.57	2.61	14	76.17	3.94	22	110.30	5.70
0.150	3.81		8.5	52.71	2.72	15.5	82.57	4.27	24	118.83	6.14
0.200	5.08	105.68	9	54.84	2.83	17	88.97	4.60	27.5	133.76	6.91
0.300	7.62		10.5	61.24	3.16	18.5	95.36	4.93	30	144.42	7.46
0.400	10.16		12	67.64	3.49	20	101.76	5.26	32	152.95	7.90
0.500	12.70		14	76.17	3.94	22	110.30	5.70	34.5	163.62	8.45

PENETRACION VS ESFUERZO

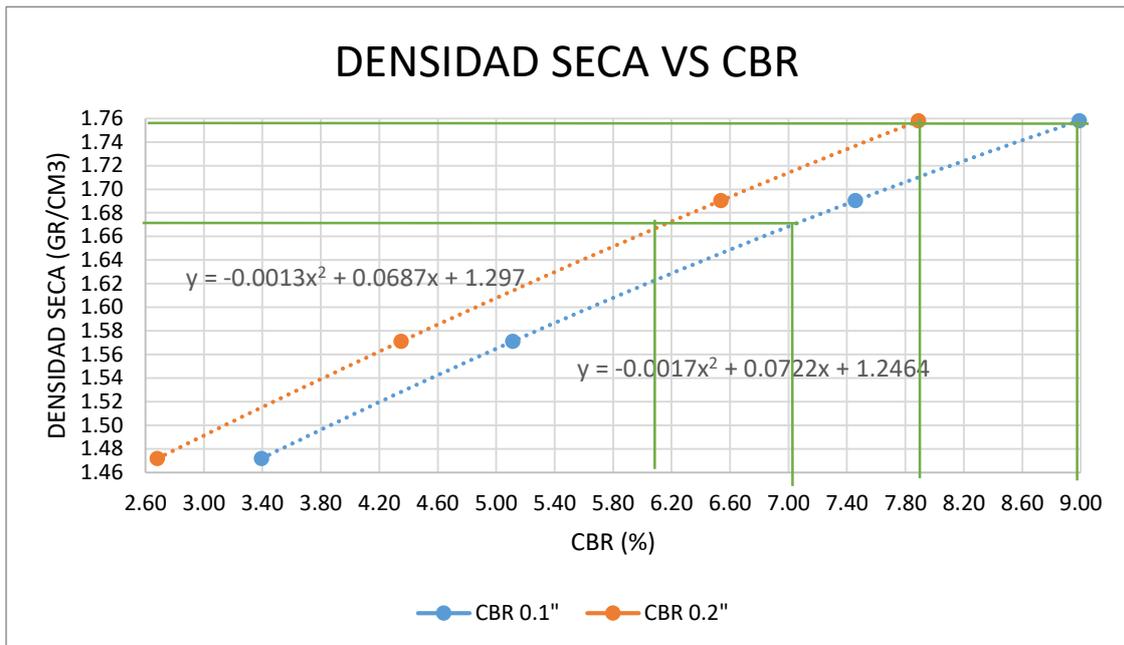


## cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N° de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	17.9	17.9	17.9			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11089	10674	11658			
Peso del molde (gr)	7119	6371	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3970	4303	4591			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.74	1.85	1.99			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	84.44	72.86	83.42	72.18	69.72	67.62
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.23	70.68	79.45	70.14	67.85	65.58
Cápsula (gr)	63.13	58.71	57.22	58.79	57.25	54.29
Peso del agua (gr)	3.21	2.18	3.97	2.04	1.87	2.04
Peso del suelo seco (gr)	18.10	11.97	22.23	11.35	10.60	11.29
Contenido de agua (%)	17.73	18.21	17.86	17.97	17.64	18.07
Contenido de agua promedio (%)	17.97		17.92		17.86	
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.47</b>		<b>1.57</b>		<b>1.69</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.39	<b>3.39</b>	2.54	3.60	<b>5.11</b>	2.54	5.26	<b>7.46</b>
105.68	5.08	2.83	<b>2.68</b>	5.08	4.60	<b>4.35</b>	5.08	6.91	<b>6.54</b>



Densidad seca máxima = 1.758 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.670 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 7.89 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 8.99 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 6.15 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 7.03 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

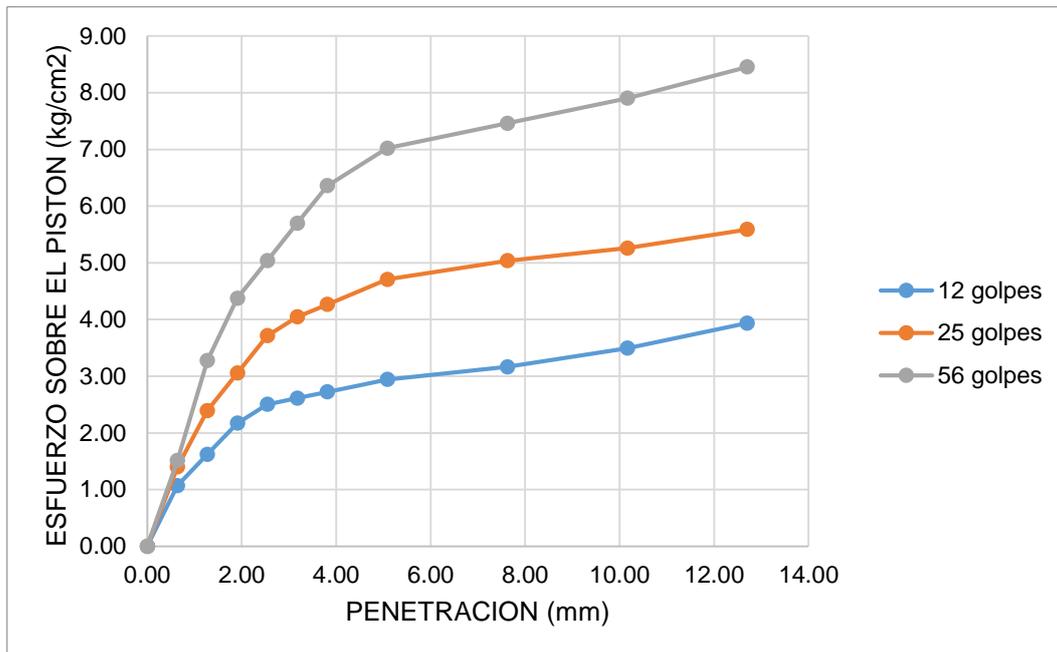
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 10% de polvo de vidrio reciclado - 3

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	126	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
05/06/2024	11:15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06/06/2024	11:15	24	206.0	5.23	4.15	145.0	3.68	2.88	78.0	1.98	1.56
07/06/2024	11:15	48	226	5.74	4.56	170	4.32	3.37	98	2.49	1.96
10/06/2024	11:15	120	276.0	7.01	<b>5.56</b>	220.0	5.59	<b>4.37</b>	148.0	3.76	<b>2.96</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA kg/cm2	Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1	20.71	1.07	2.5	27.11	1.40	3	29.25	1.51
0.050	1.27		3.5	31.38	1.62	7	46.31	2.39	11	63.37	3.27
0.075	1.91		6	42.04	2.17	10	59.11	3.05	16	84.70	4.38
0.100	2.54	70.49	7.5	48.44	2.50	13	71.90	3.71	19	97.50	5.04
0.125	3.18		8	50.57	2.61	14.5	78.30	4.05	22	110.30	5.70
0.150	3.81		8.5	52.71	2.72	15.5	82.57	4.27	25	123.09	6.36
0.200	5.08	105.68	9.5	56.97	2.94	17.5	91.10	4.71	28	135.89	7.02
0.300	7.62		10.5	61.24	3.16	19	97.50	5.04	30	144.42	7.46
0.400	10.16		12	67.64	3.49	20	101.76	5.26	32	152.95	7.90
0.500	12.70		14	76.17	3.94	21.5	108.16	5.59	34.5	163.62	8.45

PENETRACION VS ESFUERZO

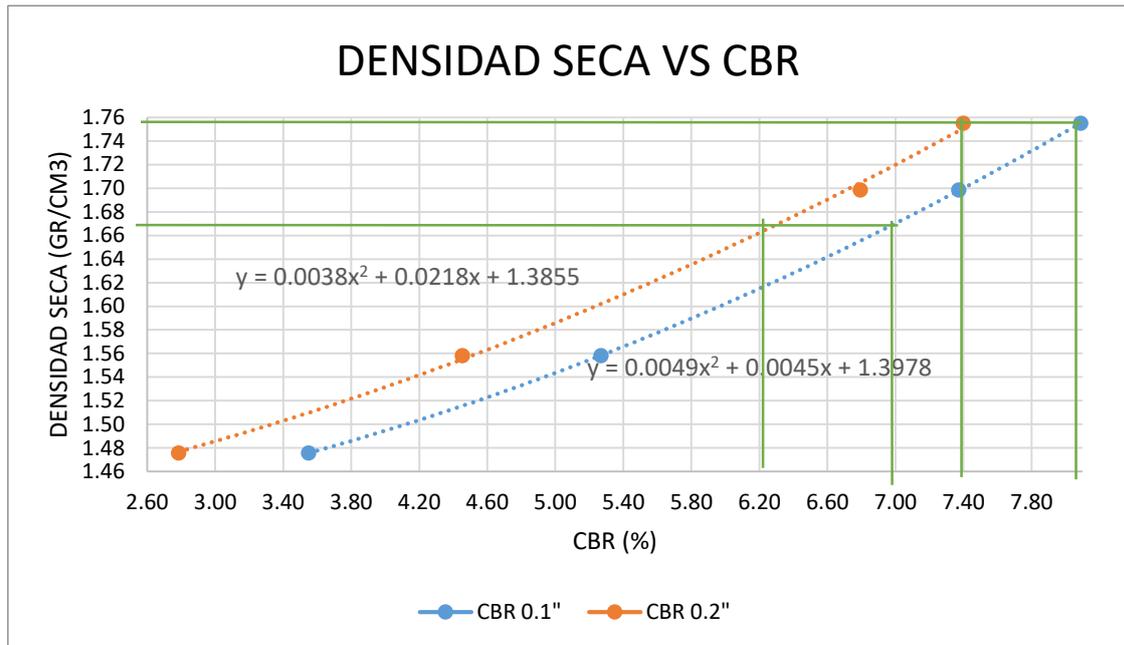


cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	18.2	18.2	18.2			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11116	10653	11695			
Peso del molde (gr)	7119	6371	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3997	4282	4628			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.60	12.80	12.70			
Volumen del molde	2286.38	2322.67	2304.52			
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.75	1.84	2.01			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	84.54	72.91	83.48	72.24	69.8	67.62
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.23	70.68	79.45	70.14	67.85	65.58
Cápsula (gr)	63.13	58.71	57.22	58.79	57.25	54.29
Peso del agua (gr)	3.31	2.23	4.03	2.1	1.95	2.04
Peso del suelo seco (gr)	18.10	11.97	22.23	11.35	10.60	11.29
Contenido de agua (%)	18.29	18.63	18.13	18.50	18.40	18.07
Contenido de agua promedio (%)	18.46		18.32		18.23	
<b>Densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.48</b>		<b>1.56</b>		<b>1.70</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.50	<b>3.55</b>	2.54	3.71	<b>5.27</b>	2.70	5.20	<b>7.37</b>
105.68	5.08	2.94	<b>2.79</b>	5.08	4.71	<b>4.45</b>	5.24	7.18	<b>6.80</b>



Densidad seca máxima = 1.755 gr/cm3

95% de la DMS = 1.667 gr/cm3

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 7.40 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 8.09 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 6.21 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 6.97%**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

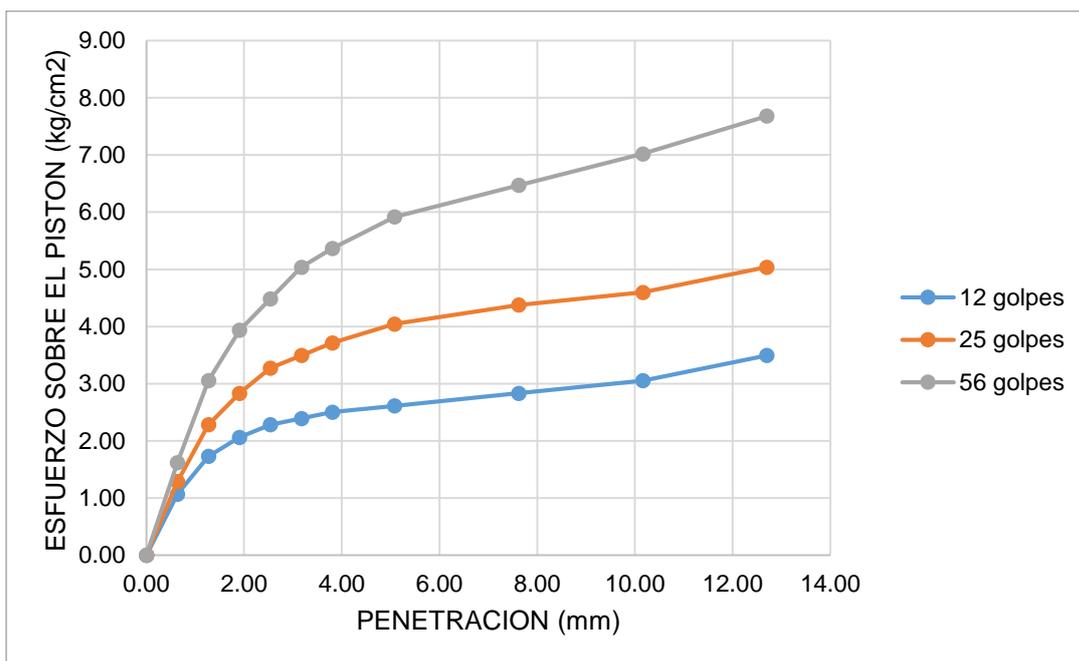
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado - 1

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/06/2024	11:55	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27/06/2024	11:55	24	168.0	4.27	3.33	118.0	3.00	2.38	49.0	1.24	0.98
28/06/2024	11:55	48	195	4.95	3.87	142	3.61	2.86	72	1.83	1.44
01/07/2024	11:55	120	246.0	6.25	<b>4.88</b>	195.0	4.95	<b>3.93</b>	115.0	2.92	<b>2.30</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1	20.71	1.07	2	24.98	1.29	3.5	31.38	1.62
0.050	1.27		4	33.51	1.73	6.5	44.18	2.28	10	59.11	3.05
0.075	1.91		5.5	39.91	2.06	9	54.84	2.83	14	76.17	3.94
0.100	2.54	70.49	6.5	44.18	2.28	11	63.37	3.27	16.5	86.83	4.49
0.125	3.18		7	46.31	2.39	12	67.64	3.49	19	97.50	5.04
0.150	3.81		7.5	48.44	2.50	13	71.90	3.71	20.5	103.90	5.37
0.200	5.08	105.68	8	50.57	2.61	14.5	78.30	4.05	23	114.56	5.92
0.300	7.62		9	54.84	2.83	16	84.70	4.38	25.5	125.23	6.47
0.400	10.16		10	59.11	3.05	17	88.97	4.60	28	135.89	7.02
0.500	12.70		12	67.64	3.49	19	97.50	5.04	31	148.69	7.68

## PENETRACION VS ESFUERZO

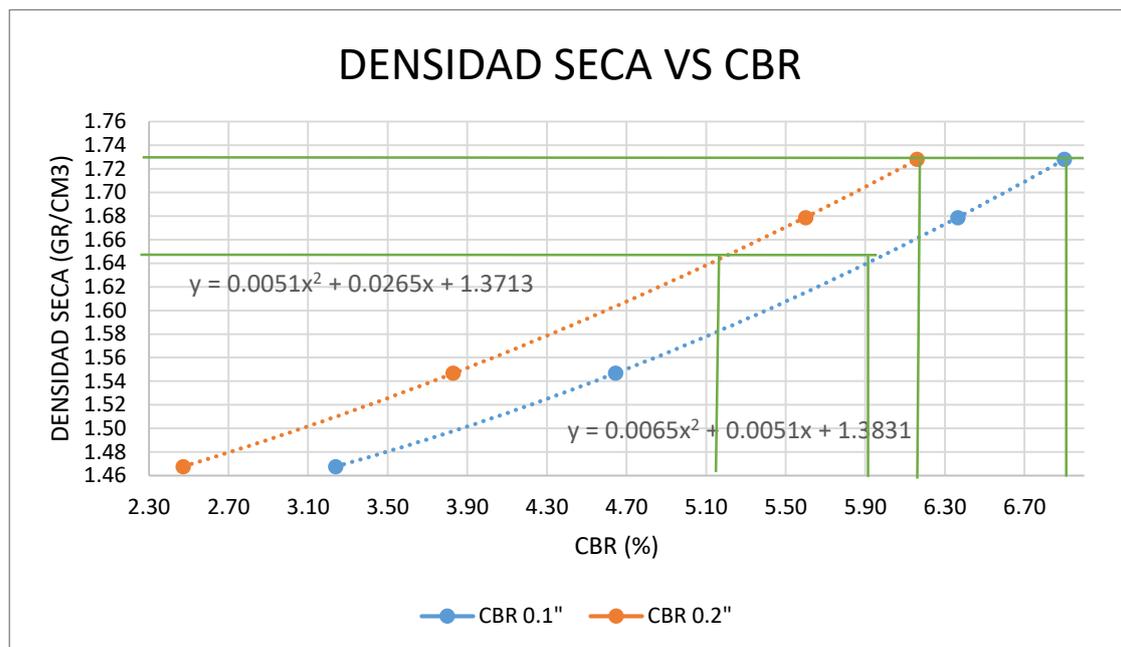


## cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N° de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	17	17	17			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10361	11256	11590			
Peso del molde (gr)	6371	7119	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3990	4137	4523			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.80	12.60	12.70			
Volumen del molde	2322.67	2286.38	2304.52			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.72	1.81	1.96			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	76.58	110.15	85.87	83.67	81.24	90.01
Peso suelo seco + cápsula (gr)	73.74	103.16	82.57	79.39	78.53	86.03
Cápsula (gr)	57.02	62.29	62.69	54.71	62.49	62.55
Peso del agua (gr)	2.84	6.99	3.3	4.28	2.71	3.98
Peso del suelo seco (gr)	16.72	40.87	19.88	24.68	16.04	23.48
Contenido de agua (%)	16.99	17.10	16.60	17.34	16.90	16.95
Contenido de agua promedio (%)	17.04		16.97		16.92	
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.47</b>		<b>1.55</b>		<b>1.68</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.28	<b>3.24</b>	2.54	3.27	<b>4.64</b>	2.54	4.49	<b>6.36</b>
105.68	5.08	2.61	<b>2.47</b>	5.08	4.05	<b>3.83</b>	5.08	5.92	<b>5.60</b>



Densidad seca máxima = 1.728 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.642 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 6.16 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 6.90 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 5.13 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 5.93 %**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

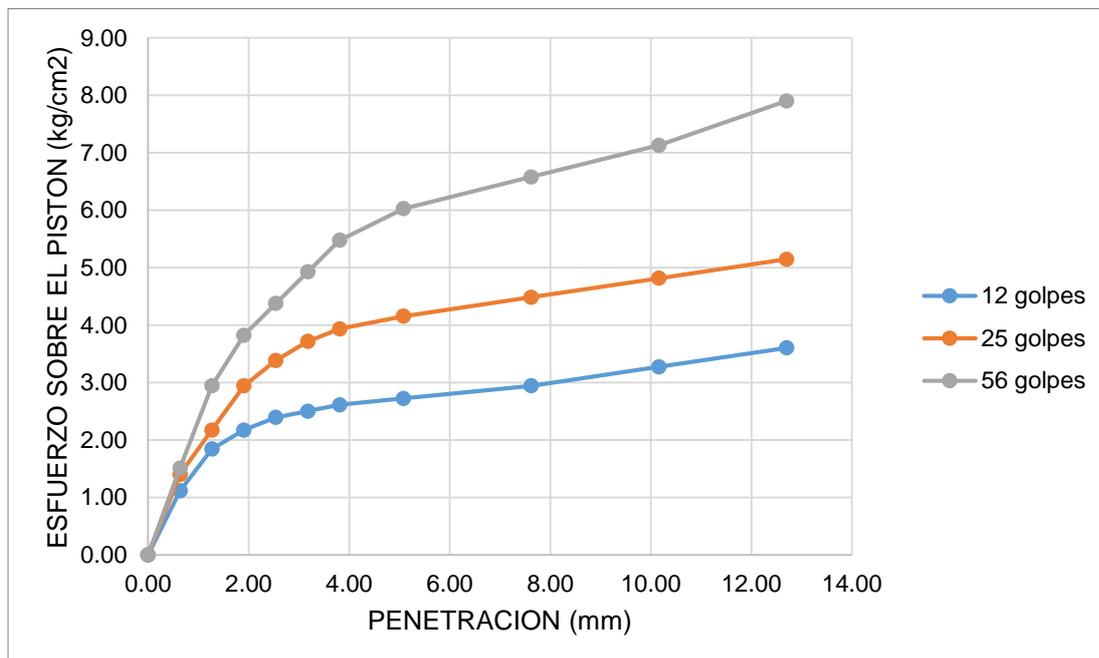
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado - 2

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/06/2024	12:05	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27/06/2024	12:05	24	173.0	4.39	3.43	123.0	3.12	2.48	47.0	1.19	0.94
28/06/2024	12:05	48	190	4.83	3.77	137	3.48	2.76	74	1.88	1.48
01/07/2024	12:05	120	248.0	6.30	<b>4.92</b>	197.0	5.00	<b>3.97</b>	112.0	2.84	<b>2.24</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.2	21.57	1.11	2.5	27.11	1.40	3	29.25	1.51
0.050	1.27		4.5	35.64	1.84	6	42.04	2.17	9.5	56.97	2.94
0.075	1.91		6	42.04	2.17	9.5	56.97	2.94	13.5	74.04	3.83
0.100	2.54	70.49	7	46.31	2.39	11.5	65.50	3.38	16	84.70	4.38
0.125	3.18		7.5	48.44	2.50	13	71.90	3.71	18.5	95.36	4.93
0.150	3.81		8	50.57	2.61	14	76.17	3.94	21	106.03	5.48
0.200	5.08	105.68	8.5	52.71	2.72	15	80.43	4.16	23.5	116.69	6.03
0.300	7.62		9.5	56.97	2.94	16.5	86.83	4.49	26	127.36	6.58
0.400	10.16		11	63.37	3.27	18	93.23	4.82	28.5	138.02	7.13
0.500	12.70		12.5	69.77	3.60	19.5	99.63	5.15	32	152.95	7.90

PENETRACION VS ESFUERZO

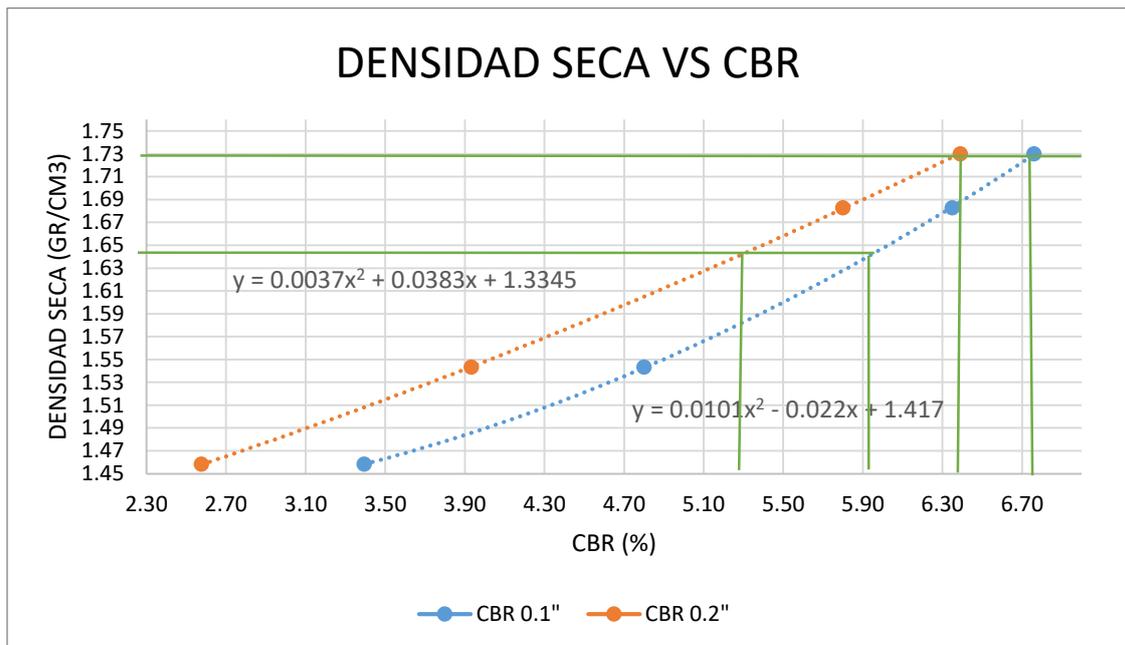


cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N° de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	17	17	17			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10335.5	11244	11607			
Peso del molde (gr)	6371	7119	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3964.5	4125	4540			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.80	12.60	12.70			
Volumen del molde	2322.67	2286.38	2304.52			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.71	1.80	1.97			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	76.91	91.45	83.85	76.14	78.05	77.25
Peso suelo seco + cápsula (gr)	74.14	86.94	80.73	72.95	75.48	74.48
Cápsula (gr)	57.86	60.57	62.15	54.23	60.34	58.35
Peso del agua (gr)	2.77	4.51	3.12	3.19	2.57	2.77
Peso del suelo seco (gr)	16.28	26.37	18.58	18.72	15.14	16.13
Contenido de agua (%)	17.01	17.10	16.79	17.04	16.97	17.17
Contenido de agua promedio (%)	17.06		16.92		17.07	
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.46</b>		<b>1.54</b>		<b>1.68</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.39	<b>3.39</b>	2.54	3.38	<b>4.80</b>	2.65	4.48	<b>6.35</b>
105.68	5.08	2.72	<b>2.58</b>	5.08	4.16	<b>3.93</b>	5.19	6.13	<b>5.80</b>



Densidad seca máxima = 1.730 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.644 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 6.39 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 6.76 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 5.33 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 5.95**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

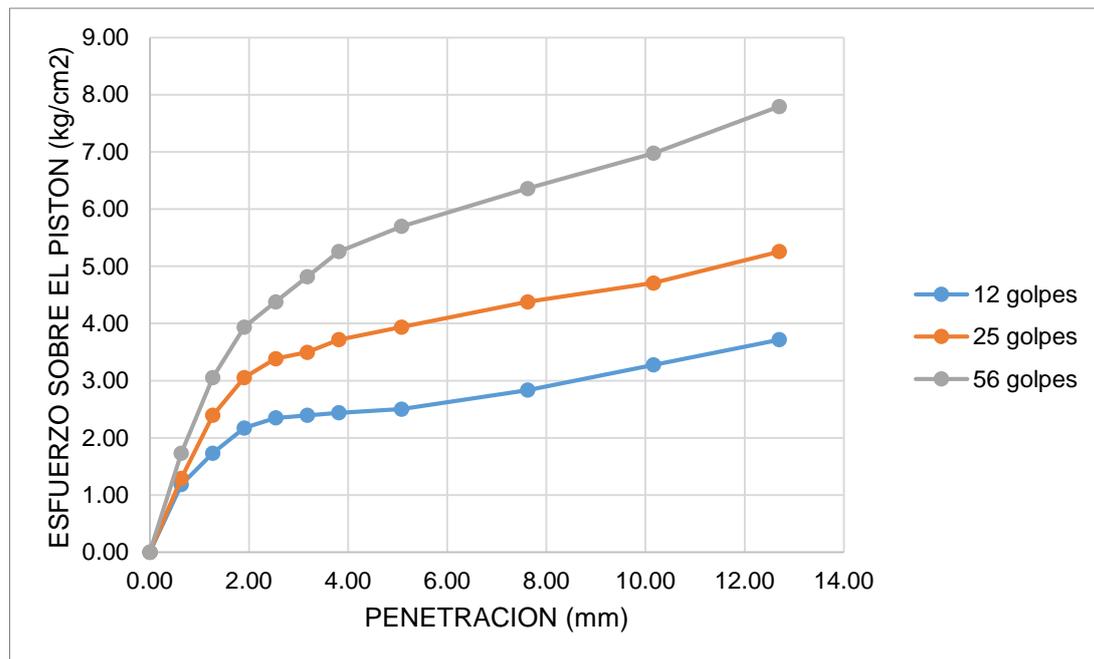
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH + 15% de polvo de vidrio reciclado - 3

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/07/2024	12:21	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11/07/2024	12:21	24	161.0	4.09	3.19	111.0	2.82	2.24	42.0	1.07	0.84
12/07/2024	12:21	48	187	4.75	3.71	136	3.45	2.74	66	1.68	1.32
15/07/2024	12:21	120	239.0	6.07	<b>4.74</b>	189.0	4.80	<b>3.81</b>	108.0	2.74	<b>2.16</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA kg/cm2	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga kg
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.5	22.85	1.18	2	24.98	1.29	4	33.51	1.73
0.050	1.27		4	33.51	1.73	7	46.31	2.39	10	59.11	3.05
0.075	1.91		6	42.04	2.17	10	59.11	3.05	14	76.17	3.94
0.100	2.54	70.49	6.8	45.46	2.35	11.5	65.50	3.38	16	84.70	4.38
0.125	3.18		7	46.31	2.39	12	67.64	3.49	18	93.23	4.82
0.150	3.81		7.2	47.16	2.44	13	71.90	3.71	20	101.76	5.26
0.200	5.08	105.68	7.5	48.44	2.50	14	76.17	3.94	22	110.30	5.70
0.300	7.62		9	54.84	2.83	16	84.70	4.38	25	123.09	6.36
0.400	10.16		11	63.37	3.27	17.5	91.10	4.71	27.8	135.04	6.98
0.500	12.70		13	71.90	3.71	20	101.76	5.26	31.5	150.82	7.79

## PENETRACION VS ESFUERZO

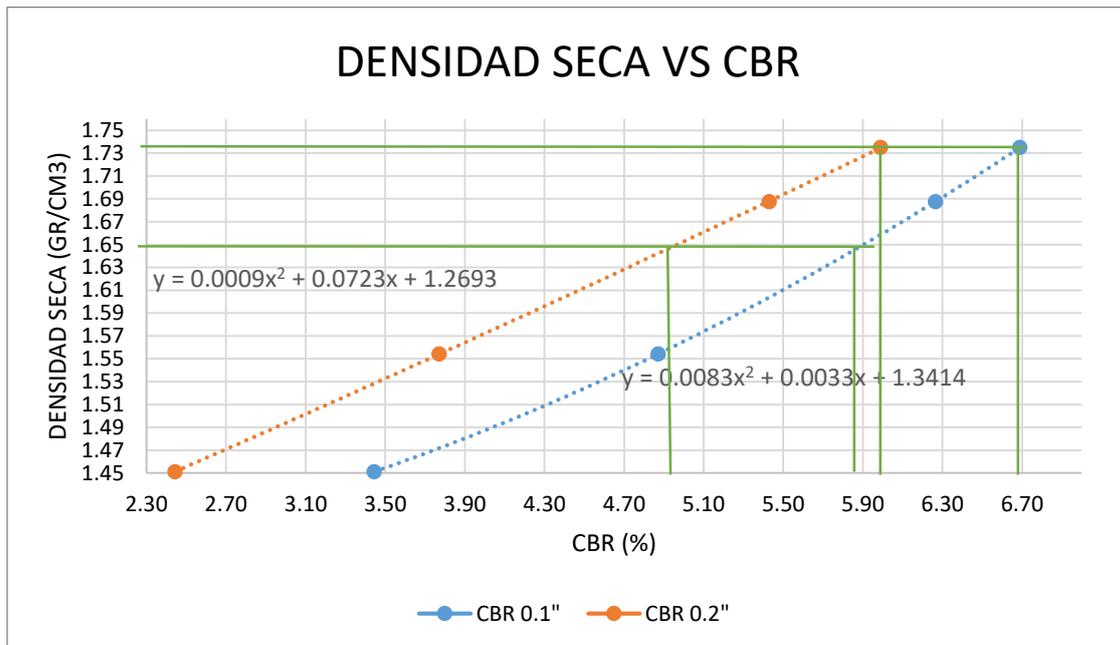


## cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N° de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	17.1	17.1	17.1			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10310	11281	11624			
Peso del molde (gr)	6371	7119	7067			
Peso del suelo húmedo (gr)	3939	4162	4557			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.80	12.60	12.70			
Volumen del molde	2322.67	2286.38	2304.52			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.70	1.82	1.98			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	77.16	72.75	81.88	68.66	74.86	64.43
Peso suelo seco + cápsula (gr)	74.54	70.71	78.89	66.5	72.42	62.92
Cápsula (gr)	58.70	58.84	61.61	53.74	58.18	54.15
Peso del agua (gr)	2.62	2.04	2.99	2.16	2.44	1.51
Peso del suelo seco (gr)	15.84	11.87	17.28	12.76	14.24	8.77
Contenido de agua (%)	16.54	17.19	17.30	16.93	17.13	17.22
Contenido de agua promedio (%)	16.86		17.12		17.18	
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.45</b>		<b>1.55</b>		<b>1.69</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.65	2.43	<b>3.45</b>	2.62	3.43	<b>4.87</b>	2.61	4.42	<b>6.26</b>
105.68	5.19	2.58	<b>2.44</b>	5.16	3.99	<b>3.77</b>	5.15	5.74	<b>5.43</b>



Densidad seca máxima = 1.735 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.648 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 5.99 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 6.69 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 4.94 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 5.88 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

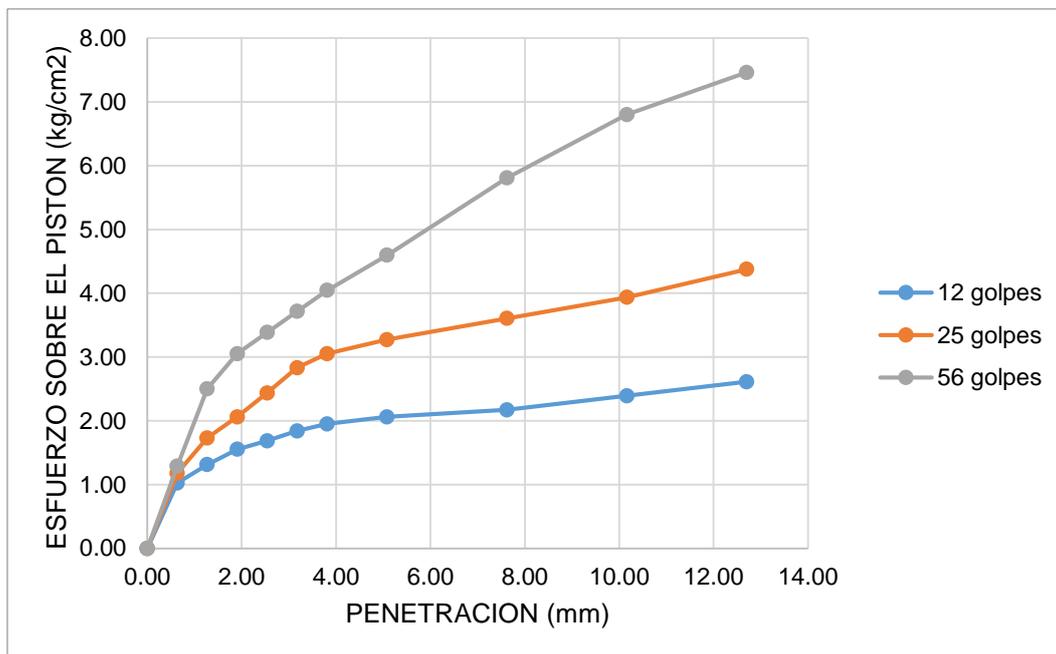
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 1

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	125	mm	L. inicial	126	mm	L. inicial	125	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/04/2024	11:24	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29/04/2024	11:24	72	333.0	8.46	6.77	238.0	6.05	4.80	214.0	5.44	4.35
30/04/2024	11:24	96	341.0	8.66	<b>6.93</b>	258.0	6.55	<b>5.20</b>	223.0	5.66	<b>4.53</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA kg/cm2	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		0.8	19.86	1.03	1.5	22.85	1.18	2	24.98	1.29
0.050	1.27		2.1	25.41	1.31	4	33.51	1.73	7.5	48.44	2.50
0.075	1.91		3.2	30.10	1.56	5.5	39.91	2.06	10	59.11	3.05
0.100	2.54	70.49	3.8	32.66	1.69	7.2	47.16	2.44	11.5	65.50	3.38
0.125	3.18		4.5	35.64	1.84	9	54.84	2.83	13	71.90	3.71
0.150	3.81		5	37.78	1.95	10	59.11	3.05	15	80.43	4.16
0.200	5.08	105.68	5.5	39.91	2.06	11	63.37	3.27	17	88.97	4.60
0.300	7.62		6	42.04	2.17	12.5	69.77	3.60	23	114.56	5.92
0.400	10.16		7	46.31	2.39	14	76.17	3.94	27	131.62	6.80
0.500	12.70		8	50.57	2.61	16	84.70	4.38	31	148.69	7.68

## PENETRACION VS ESFUERZO

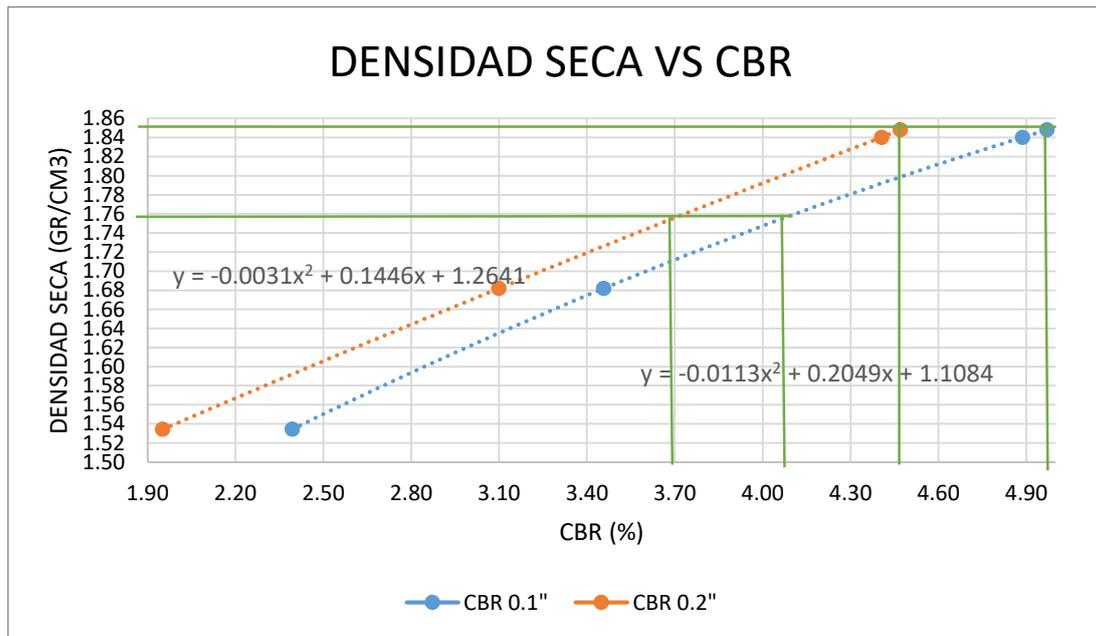


## cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	15	15	15			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11121	10789	11916			
Peso del molde (gr)	7060	6371	7117			
Peso del suelo húmedo (gr)	4061	4418	4799			
Diámetro del molde (cm)	15.30	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.50	12.60	12.50			
Volumen del molde	2298.17	2286.38	2268.23			
Densidad húmeda (gr/cm3)	<b>1.77</b>	<b>1.93</b>	<b>2.12</b>			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	98.89	96.73	101.15	95.75	102.58	97.49
Peso suelo seco + cápsula (gr)	93.62	91.83	95.44	90.63	97.02	92.35
Cápsula (gr)	58.94	59.51	57.07	56.30	59.91	58.07
Peso del agua (gr)	5.27	4.9	5.71	5.12	5.56	5.14
Peso del suelo seco (gr)	34.68	32.32	38.37	34.33	37.11	34.28
Contenido de agua (%)	15.20	15.16	14.88	14.91	14.98	14.99
Contenido de agua promedio (%)	15.18		14.90		14.99	
<b>densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.53</b>		<b>1.68</b>		<b>1.84</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	1.69	<b>2.39</b>	2.54	2.44	<b>3.46</b>	2.69	3.44	<b>4.89</b>
105.68	5.08	2.06	<b>1.95</b>	5.08	3.27	<b>3.10</b>	5.23	4.66	<b>4.41</b>



Densidad seca máxima = 1.848 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.756 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 4.47 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 4.97 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 3.69 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 4.07 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

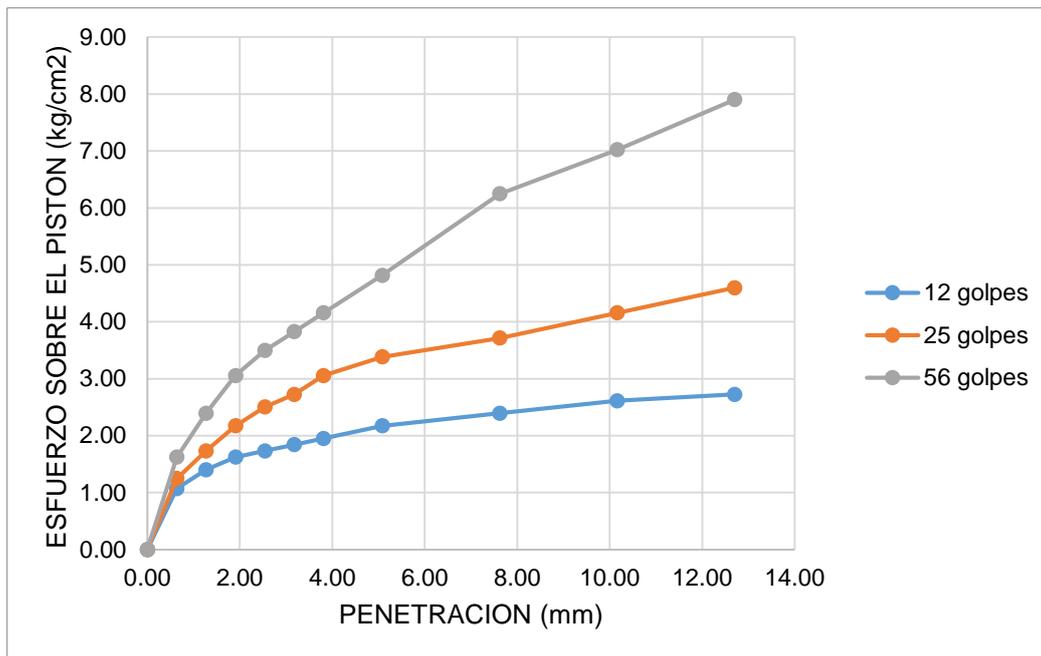
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 2

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	125	mm	L. inicial	126	mm	L. inicial	125	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
26/04/2024	11:35	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29/04/2024	11:35	72	341.0	8.66	6.93	247.0	6.27	4.98	221.0	5.61	4.49
30/04/2024	11:35	96	349.0	8.86	<b>7.09</b>	266.0	6.76	<b>5.36</b>	230.0	5.84	<b>4.67</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1	20.71	1.07	1.8	24.13	1.25	3.5	31.38	1.62
0.050	1.27		2.5	27.11	1.40	4	33.51	1.73	7	46.31	2.39
0.075	1.91		3.5	31.38	1.62	6	42.04	2.17	10	59.11	3.05
0.100	2.54	70.49	4	33.51	1.73	7.5	48.44	2.50	12	67.64	3.49
0.125	3.18		4.5	35.64	1.84	8.5	52.71	2.72	13.5	74.04	3.83
0.150	3.81		5	37.78	1.95	10	59.11	3.05	15	80.43	4.16
0.200	5.08	105.68	6	42.04	2.17	11.5	65.50	3.38	18	93.23	4.82
0.300	7.62		7	46.31	2.39	13	71.90	3.71	24.5	120.96	6.25
0.400	10.16		8	50.57	2.61	15	80.43	4.16	28	135.89	7.02
0.500	12.70		8.5	52.71	2.72	17	88.97	4.60	32	152.95	7.90

## PENETRACION VS ESFUERZO

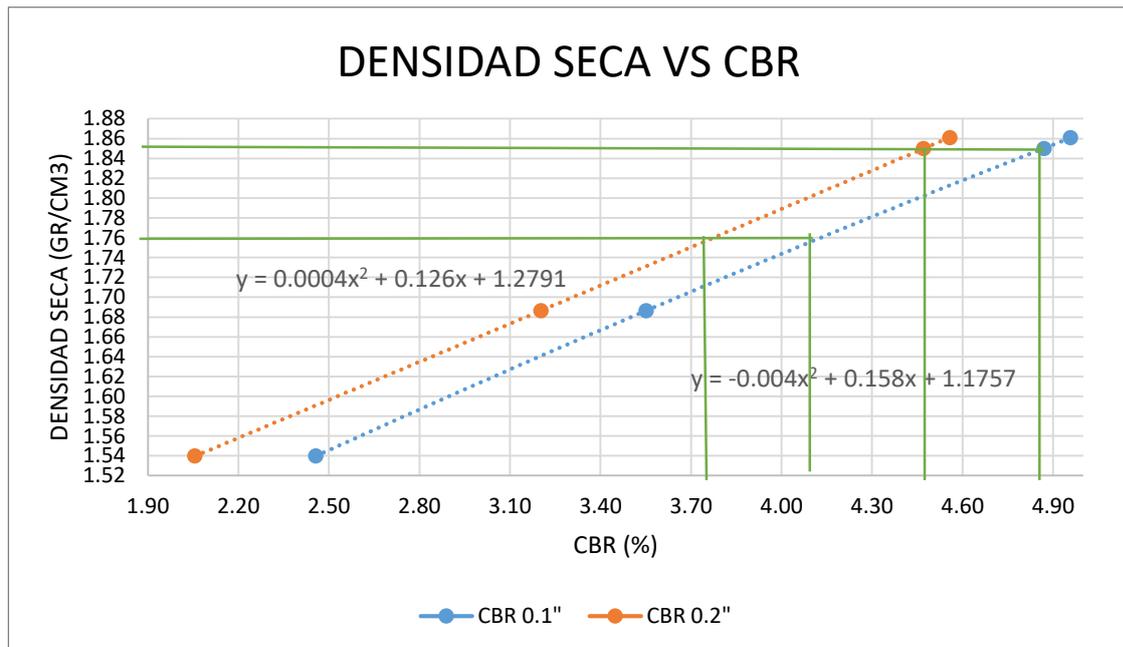


## cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N° de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	14.7	14.7	14.7			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11103	11570	11708			
Peso del molde (gr)	7042	7150	6865			
Peso del suelo húmedo (gr)	4061	4420	4843			
Diámetro del molde (cm)	15.30	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.50	12.60	12.50			
Volumen del molde	2298.17	2286.38	2268.23			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.77	1.93	2.14			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	92.07	89.88	101.5	92.63	98.33	90.32
Peso suelo seco + cápsula (gr)	87.56	85.99	95.87	88.15	93.62	86.29
Cápsula (gr)	57.17	59.53	57.71	57.3	61.54	59.03
Peso del agua (gr)	4.51	3.89	5.63	4.48	4.71	4.03
Peso del suelo seco (gr)	30.39	26.46	38.16	30.85	32.08	27.26
Contenido de agua (%)	14.84	14.70	14.75	14.52	14.68	14.78
Contenido de agua promedio (%)	14.77		14.64		14.73	
<b>densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.54</b>		<b>1.69</b>		<b>1.86</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	1.73	<b>2.46</b>	2.54	2.50	<b>3.55</b>	2.54	3.49	<b>4.96</b>
105.68	5.08	2.17	<b>2.06</b>	5.08	3.38	<b>3.20</b>	5.08	4.82	<b>4.56</b>



Densidad seca máxima = 1.850 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.758 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 4.47 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 4.87 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 3.75 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 4.11 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

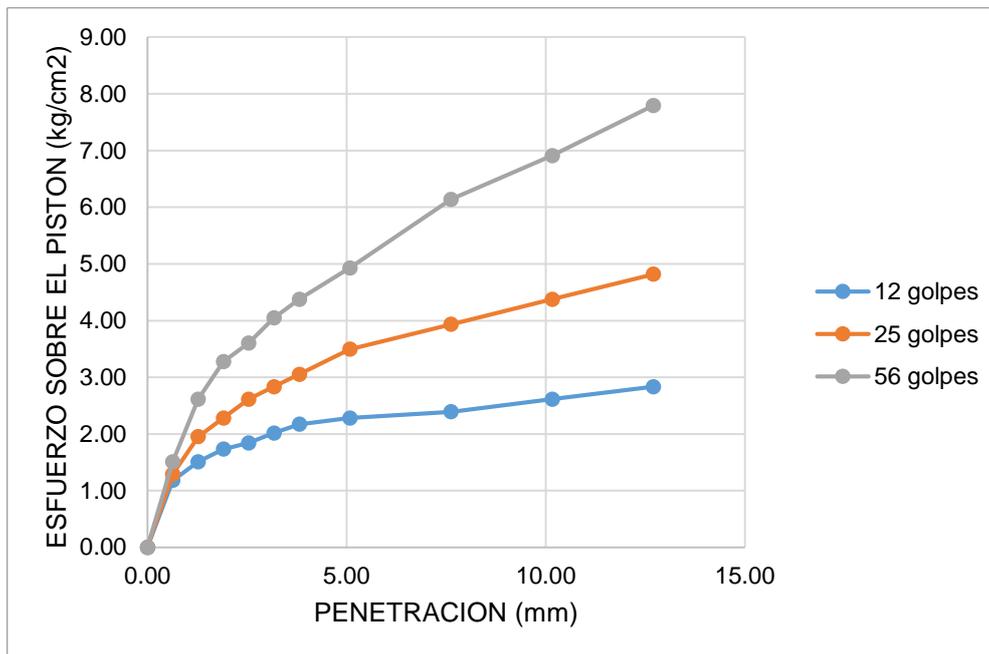
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - 3

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	127	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/04/2024	11:15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19/04/2024	11:15	24	145.0	3.68	2.90	126.0	3.20	2.50	89.0	2.26	1.79
22/04/2024	11:15	96	336.0	8.53	<b>6.72</b>	261.0	6.63	<b>5.18</b>	225.0	5.72	<b>4.54</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.5	22.85	1.18	2	24.98	1.29	3	29.25	1.51
0.050	1.27		3	29.25	1.51	5	37.78	1.95	8	50.57	2.61
0.075	1.91		4	33.51	1.73	6.5	44.18	2.28	11	63.37	3.27
0.100	2.54	70.49	4.5	35.64	1.84	8	50.57	2.61	12.5	69.77	3.60
0.125	3.18		5.3	39.06	2.02	9	54.84	2.83	14.5	78.30	4.05
0.150	3.81		6	42.04	2.17	10	59.11	3.05	16	84.70	4.38
0.200	5.08	105.68	6.5	44.18	2.28	12	67.64	3.49	18.5	95.36	4.93
0.300	7.62		7	46.31	2.39	14	76.17	3.94	24	118.83	6.14
0.400	10.16		8	50.57	2.61	16	84.70	4.38	27.5	133.76	6.91
0.500	12.70		9	54.84	2.83	18	93.23	4.82	31.5	150.82	7.79

## PENETRACION VS ESFUERZO

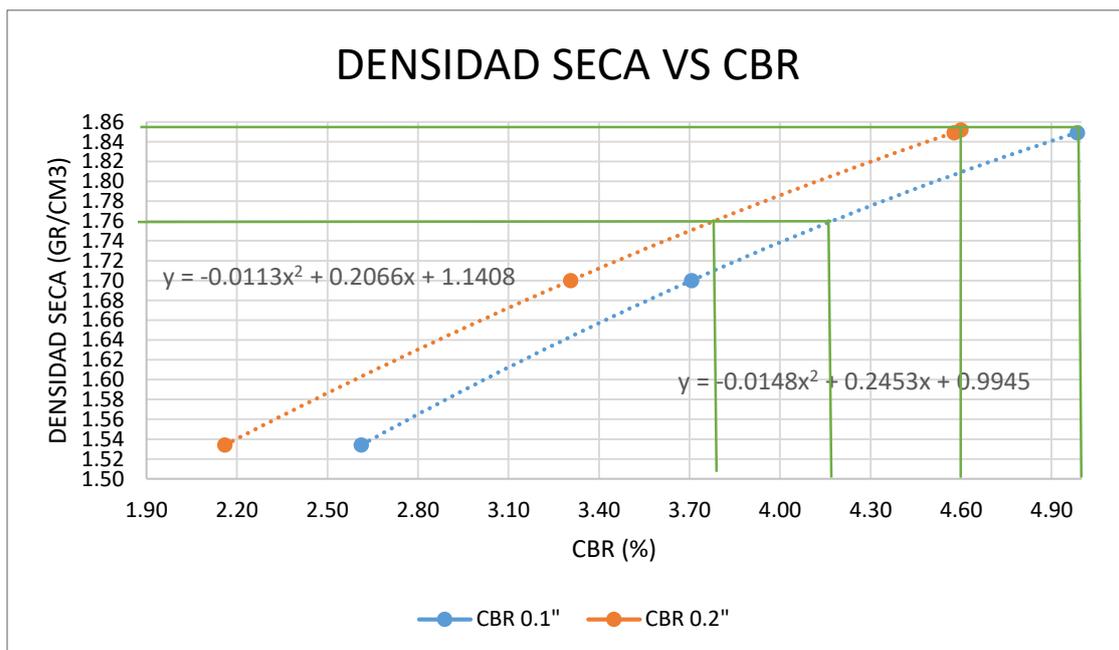


## cálculo densidad seca

molde N°	1	2	3			
N° capas	5	5	5			
N°de golpes/capa	12	25	56			
Humedad óptima (%)	15	15	15			
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11142.5	10911	11987			
Peso del molde (gr)	7060	6371	7117			
Peso del suelo húmedo (gr)	4082.5	4540	4870			
Diámetro del molde (cm)	15.20	15.20	15.20			
Altura del molde (cm)	12.70	12.80	12.60			
Volumen del molde	2304.52	2322.67	2286.38			
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.77	1.95	2.13			
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	105.71	103.58	100.80	98.76	106.82	104.67
Peso suelo seco + cápsula (gr)	99.67	97.68	95.01	93.11	100.41	98.40
Cápsula (gr)	60.71	59.50	56.42	55.29	58.28	57.11
Peso del agua (gr)	6.04	5.90	5.79	5.65	6.41	6.27
Peso del suelo seco (gr)	38.96	38.18	38.59	37.82	42.13	41.29
Contenido de agua (%)	15.50	15.45	15.00	14.95	15.21	15.18
Contenido de agua promedio (%)	15.48		14.98		15.20	
<b>densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.53</b>		<b>1.70</b>		<b>1.85</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	1.84	<b>2.61</b>	2.54	2.61	<b>3.71</b>	2.45	3.51	<b>4.99</b>
105.68	5.08	2.28	<b>2.16</b>	5.08	3.49	<b>3.31</b>	4.99	4.84	<b>4.58</b>



Densidad seca máxima = 1.852 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.759 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 4.60 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 5.01 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 3.77 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 4.16 %**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

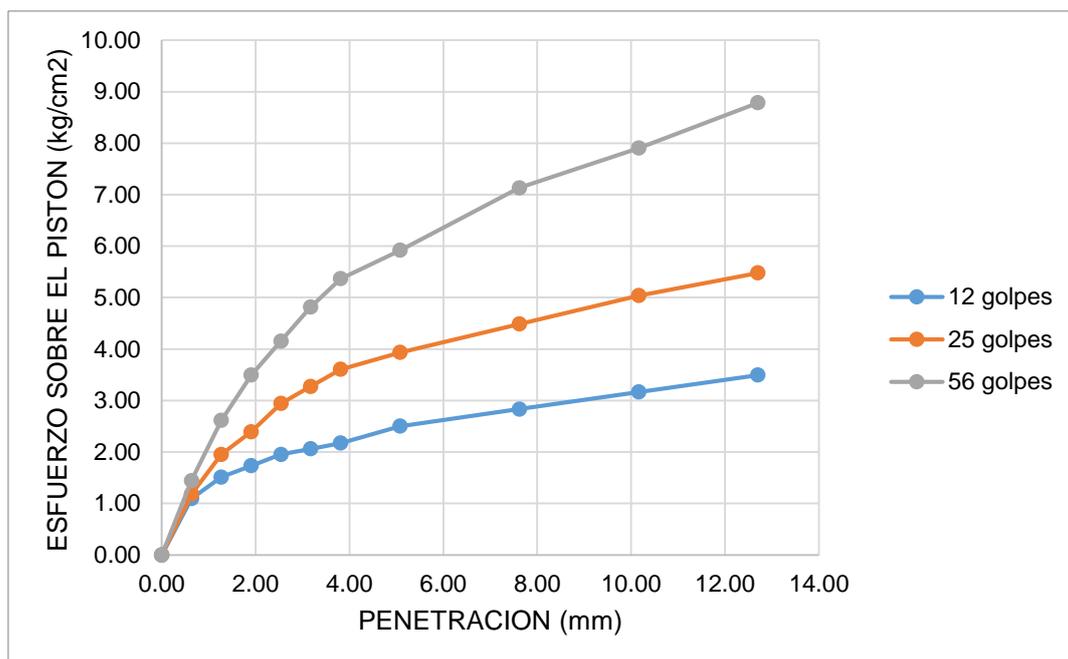
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 5 % de polvo de vidrio reciclado -1

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	126	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
09/05/2024	12:20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10/05/2024	12:20	24	122.0	3.10	2.46	102.0	2.59	2.02	79.0	2.01	1.58
13/05/2024	12:20	96	278.0	7.06	<b>5.60</b>	207.0	5.26	<b>4.11</b>	183.0	4.65	<b>3.66</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.1	21.14	1.09	1.5	22.85	1.18	2.7	27.97	1.44
0.050	1.27		3	29.25	1.51	5	37.78	1.95	8	50.57	2.61
0.075	1.91		4	33.51	1.73	7	46.31	2.39	12	67.64	3.49
0.100	2.54	70.49	5	37.78	1.95	9.5	56.97	2.94	15	80.43	4.16
0.125	3.18		5.5	39.91	2.06	11	63.37	3.27	18	93.23	4.82
0.150	3.81		6	42.04	2.17	12.5	69.77	3.60	20.5	103.90	5.37
0.200	5.08	105.68	7.5	48.44	2.50	14	76.17	3.94	23	114.56	5.92
0.300	7.62		9	54.84	2.83	16.5	86.83	4.49	28.5	138.02	7.13
0.400	10.16		10.5	61.24	3.16	19	97.50	5.04	32	152.95	7.90
0.500	12.70		12	67.64	3.49	21	106.03	5.48	36	170.02	8.78

PENETRACION VS ESFUERZO

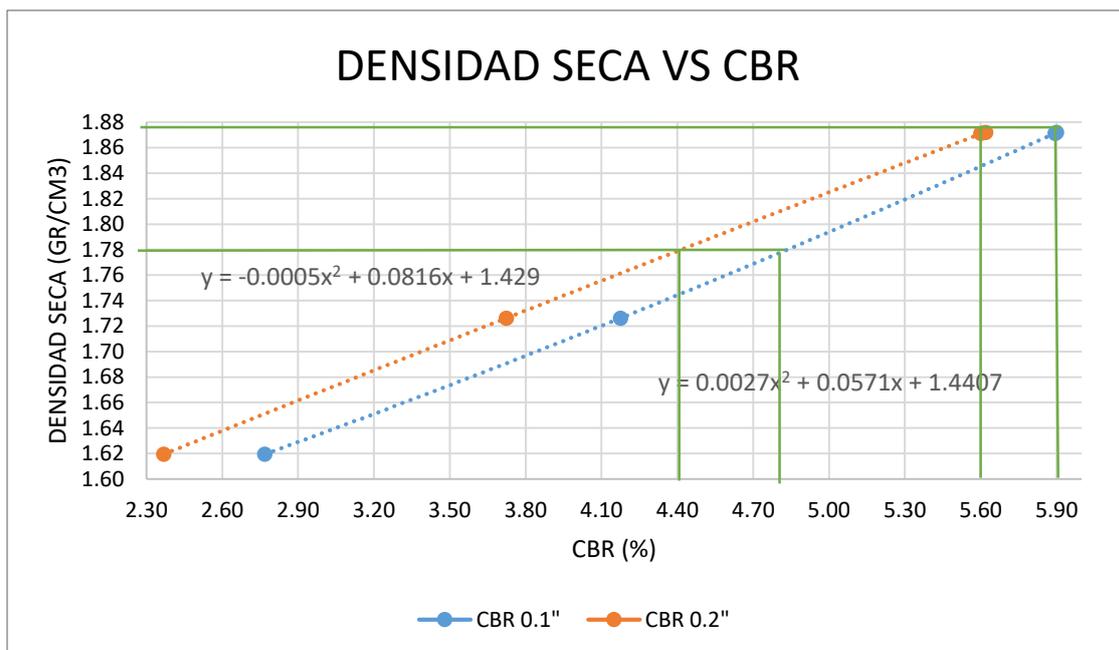


cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	14		14		14	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11338		10930		11985	
Peso del molde (gr)	7117		6365		7066	
Peso del suelo húmedo (gr)	4221		4565		4919	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.60		12.80		12.70	
Volumen del molde	2286.38		2322.67		2304.52	
Densidad húmeda (gr/cm3)	<b>1.85</b>		<b>1.97</b>		<b>2.13</b>	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.22	89.52	73.96	78.75	85.17	86.42
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.94	85.81	72.12	76.21	81.81	83.14
Cápsula (gr)	58.42	59.38	58.76	57.98	58.17	59.59
Peso del agua (gr)	3.28	3.71	1.84	2.54	3.36	3.28
Peso del suelo seco (gr)	23.52	26.43	13.36	18.23	23.64	23.55
Contenido de agua (%)	13.95	14.04	13.77	13.93	14.21	13.93
Contenido de agua promedio (%)	13.99		13.85		14.07	
<b>densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.62</b>		<b>1.73</b>		<b>1.87</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	1.95	<b>2.77</b>	2.54	2.94	<b>4.18</b>	2.54	4.16	<b>5.90</b>
105.68	5.08	2.50	<b>2.37</b>	5.08	3.94	<b>3.72</b>	5.08	5.92	<b>5.60</b>



Densidad seca máxima = 1.872 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.778 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 5.62 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 5.90 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 4.40 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 4.82 %**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

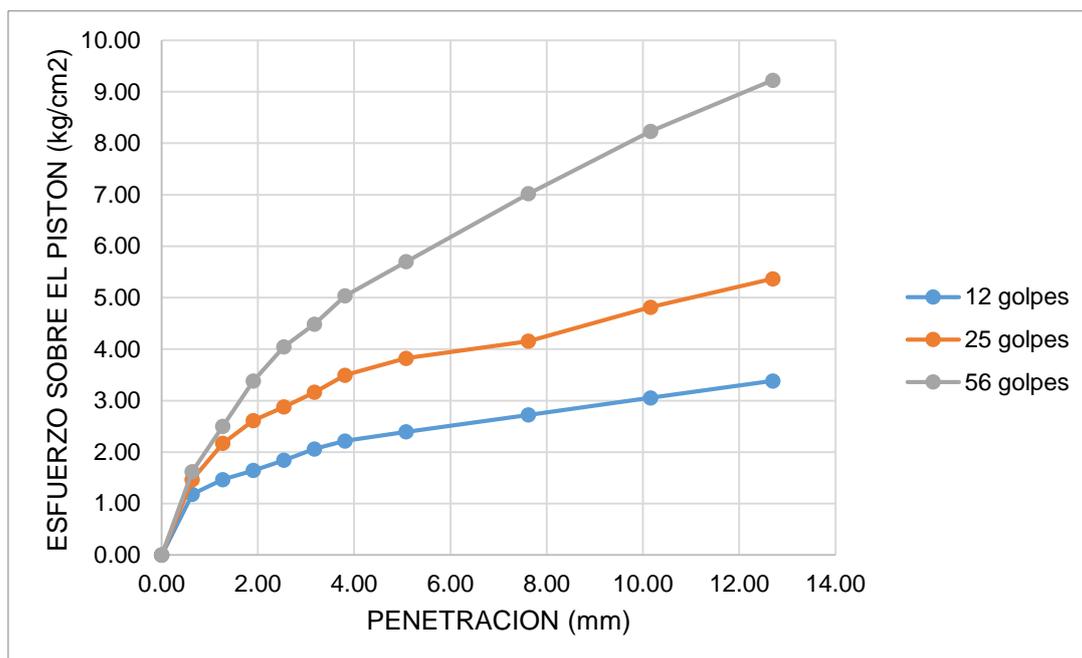
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 5 % de polvo de vidrio reciclado -2

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	127	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/05/2024	13:05	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23/05/2024	13:05	24	127.0	3.23	2.54	106.0	2.69	2.10	81.0	2.06	1.63
24/05/2024	13:05	48	203	5.16	4.06	188	4.78	3.73	152	3.86	3.06
27/05/2024	13:05	120	281.0	7.14	<b>5.62</b>	211.0	5.36	<b>4.19</b>	186.0	4.72	<b>3.75</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.5	22.85	1.18	2.8	28.39	1.47	3.5	31.38	1.62
0.050	1.27		2.8	28.39	1.47	6	42.04	2.17	7.5	48.44	2.50
0.075	1.91		3.6	31.80	1.64	8	50.57	2.61	11.5	65.50	3.38
0.100	2.54	70.49	4.5	35.64	1.84	9.2	55.69	2.88	14.5	78.30	4.05
0.125	3.18		5.5	39.91	2.06	10.5	61.24	3.16	16.5	86.83	4.49
0.150	3.81		6.2	42.90	2.22	12	67.64	3.49	19	97.50	5.04
0.200	5.08	105.68	7	46.31	2.39	13.5	74.04	3.83	22	110.30	5.70
0.300	7.62		8.5	52.71	2.72	15	80.43	4.16	28	135.89	7.02
0.400	10.16		10	59.11	3.05	18	93.23	4.82	33.5	159.35	8.23
0.500	12.70		11.5	65.50	3.38	20.5	103.90	5.37	38	178.55	9.22

## PENETRACION VS ESFUERZO

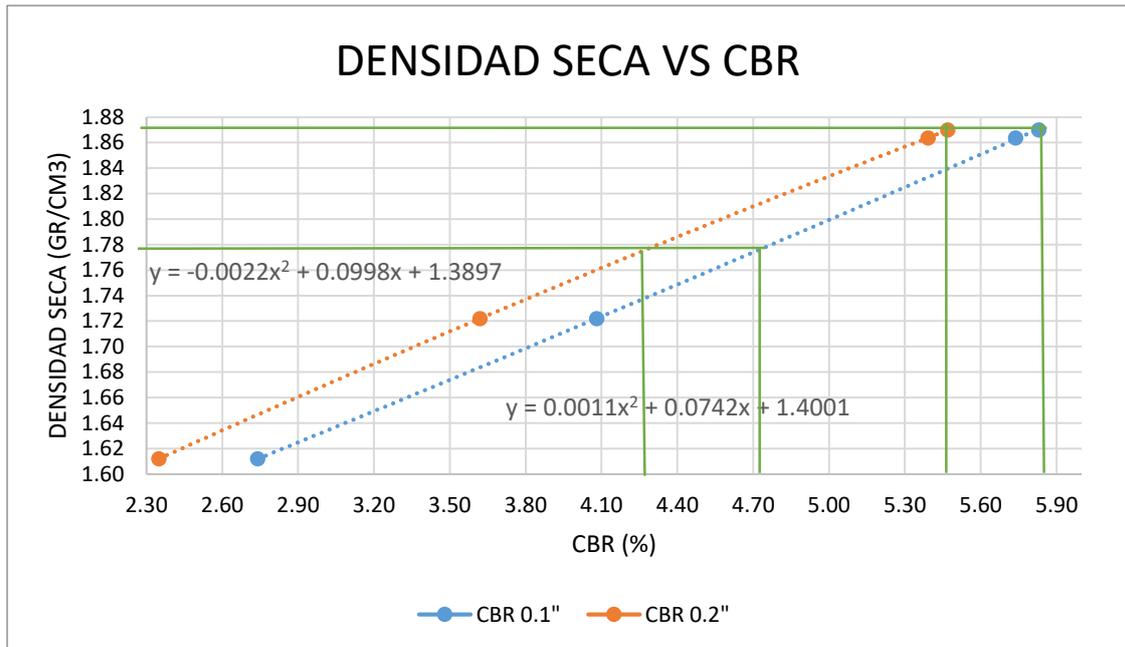


## cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	14.1		14.1		14.1	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11325		10930		11970	
Peso del molde (gr)	7119		6370		7068	
Peso del suelo húmedo (gr)	4206		4560		4902	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.60		12.80		12.70	
Volumen del molde	2286.38		2322.67		2304.52	
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.84		1.96		2.13	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.76	81.79	81.82	78.84	80.58	79.41
Peso suelo seco + cápsula (gr)	82.53	78.82	79.29	76.33	77.79	76.83
Cápsula (gr)	59.58	57.86	60.72	58.9	57.89	58.75
Peso del agua (gr)	3.23	2.97	2.53	2.51	2.79	2.58
Peso del suelo seco (gr)	22.95	20.96	18.57	17.43	19.90	18.08
Contenido de agua (%)	14.07	14.17	13.62	14.40	14.02	14.27
Contenido de agua promedio (%)	14.12		14.01		14.15	
<b>densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.61</b>		<b>1.72</b>		<b>1.86</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.62	1.93	<b>2.74</b>	2.54	2.88	<b>4.08</b>	2.54	4.05	<b>5.74</b>
105.68	5.16	2.48	<b>2.35</b>	5.08	3.83	<b>3.62</b>	5.08	5.70	<b>5.39</b>



Densidad seca máxima = 1.870 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.777 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 5.47 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 5.83 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 4.28 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 4.74 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

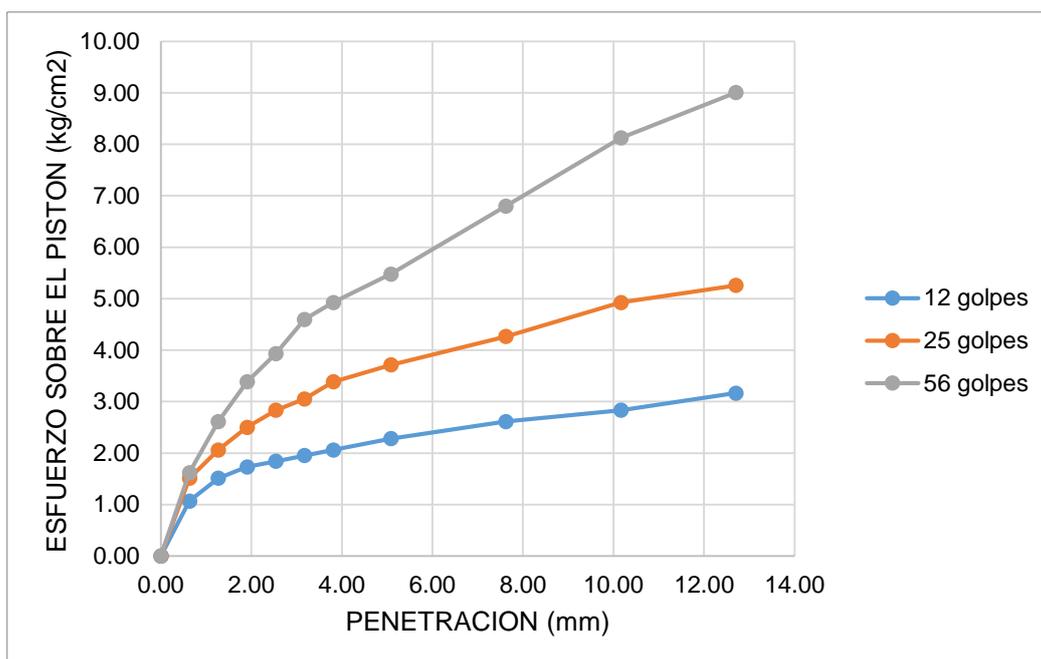
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 5 % de polvo de vidrio reciclado -3

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	126	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/05/2024	13:15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23/05/2024	13:15	24	130.0	3.30	2.62	110.0	2.79	2.18	82.0	2.08	1.64
24/05/2024	13:15	48	206	5.23	4.15	189	4.80	3.75	155	3.94	3.10
27/05/2024	13:15	120	283.0	7.19	<b>5.70</b>	215.0	5.46	<b>4.27</b>	187.0	4.75	<b>3.74</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1	20.71	1.07	3	29.25	1.51	3.5	31.38	1.62
0.050	1.27		3	29.25	1.51	5.5	39.91	2.06	8	50.57	2.61
0.075	1.91		4	33.51	1.73	7.5	48.44	2.50	11.5	65.50	3.38
0.100	2.54	70.49	4.5	35.64	1.84	9	54.84	2.83	14	76.17	3.94
0.125	3.18		5	37.78	1.95	10	59.11	3.05	17	88.97	4.60
0.150	3.81		5.5	39.91	2.06	11.5	65.50	3.38	18.5	95.36	4.93
0.200	5.08	105.68	6.5	44.18	2.28	13	71.90	3.71	21	106.03	5.48
0.300	7.62		8	50.57	2.61	15.5	82.57	4.27	27	131.62	6.80
0.400	10.16		9	54.84	2.83	18.5	95.36	4.93	33	157.22	8.12
0.500	12.70		10.5	61.24	3.16	20	101.76	5.26	37	174.28	9.00

PENETRACION VS ESFUERZO

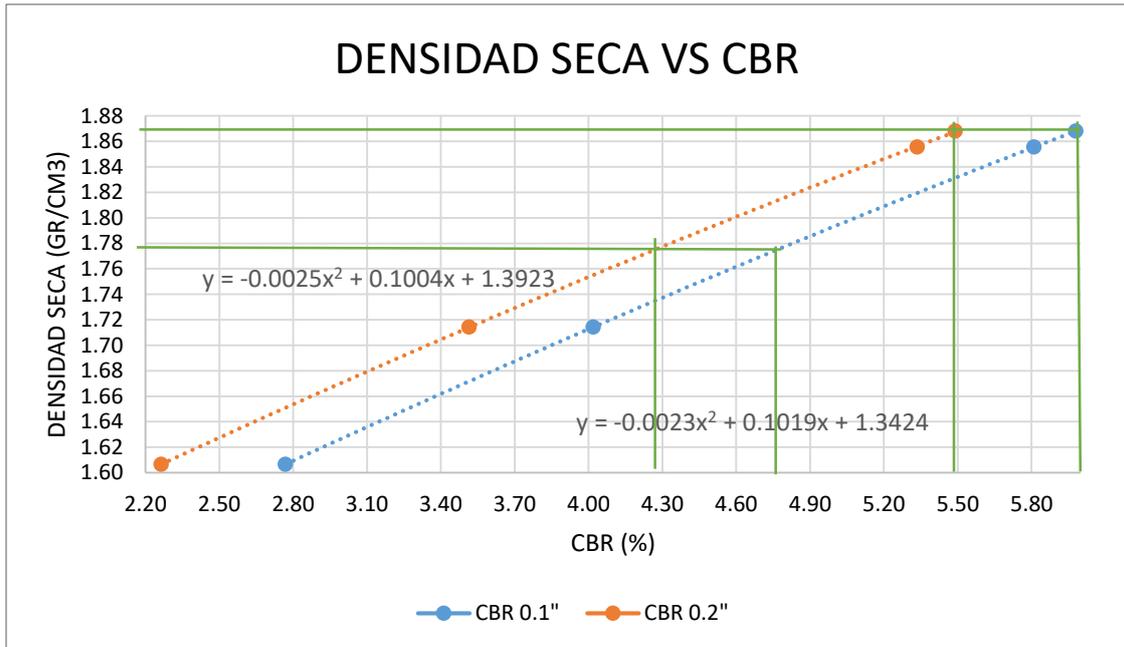


## cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	13.9		13.9		13.9	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11302		10899		11939	
Peso del molde (gr)	7117		6365		7066	
Peso del suelo húmedo (gr)	4185		4534		4873	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.60		12.80		12.70	
Volumen del molde	2286.38		2322.67		2304.52	
Densidad húmeda (gr/cm3)	<b>1.83</b>		<b>1.95</b>		<b>2.11</b>	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	85.49	83.47	83.56	81.98	82.9	82.29
Peso suelo seco + cápsula (gr)	83.88	82.02	82.26	80.78	81.51	81.03
Cápsula (gr)	72.4	71.54	72.97	72.06	71.56	71.99
Peso del agua (gr)	1.61	1.45	1.30	1.20	1.39	1.26
Peso del suelo seco (gr)	11.48	10.48	9.29	8.72	9.95	9.04
Contenido de agua (%)	14.02	13.84	13.99	13.76	13.97	13.94
Contenido de agua promedio (%)	13.93		13.88		13.95	
<b>densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.61</b>		<b>1.71</b>		<b>1.86</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.64	1.95	<b>2.77</b>	2.54	2.83	<b>4.02</b>	2.60	4.10	<b>5.81</b>
105.68	5.18	2.39	<b>2.26</b>	5.08	3.71	<b>3.52</b>	5.14	5.64	<b>5.34</b>



Densidad seca máxima = 1.868 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.775 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 5.49 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 5.98 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 4.24 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 4.76 %**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

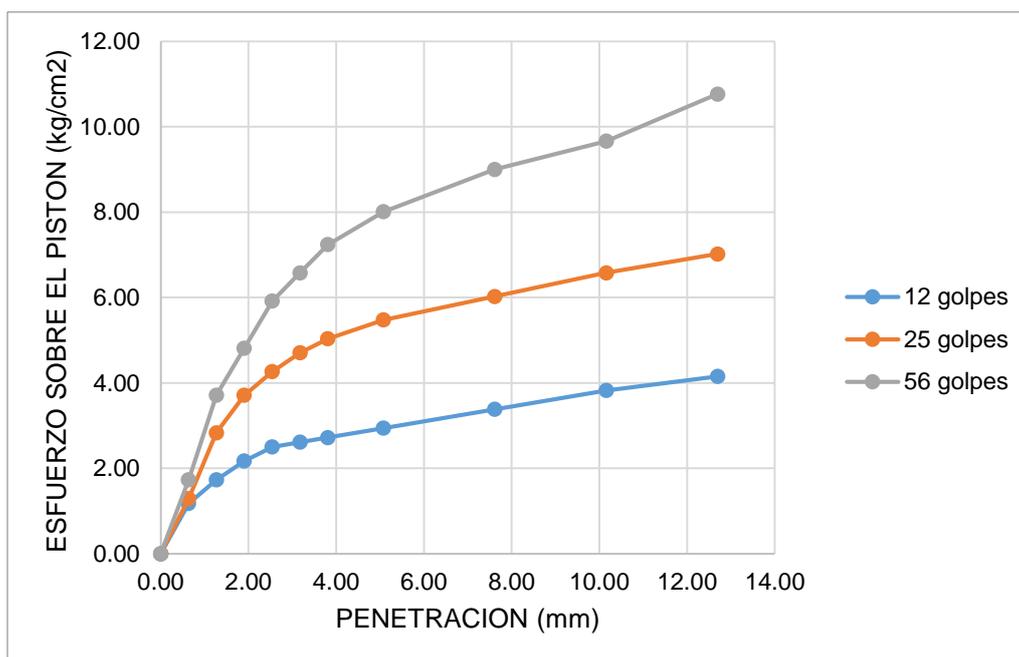
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 10 % de polvo de vidrio reciclado -1

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	126	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
19/06/2024	13:40	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/06/2024	13:40	24	96.0	2.44	1.94	67.0	1.70	1.33	42.0	1.07	0.84
21/06/2024	13:40	48	154	3.91	3.10	95	2.41	1.89	73	1.85	1.46
25/06/2024	10:13	144	211.0	5.36	<b>4.25</b>	143.0	3.63	<b>2.84</b>	118.0	3.00	<b>2.36</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.5	22.85	1.18	2	24.98	1.29	4	33.51	1.73
0.050	1.27		4	33.51	1.73	9	54.84	2.83	13	71.90	3.71
0.075	1.91		6	42.04	2.17	13	71.90	3.71	18	93.23	4.82
0.100	2.54	70.49	7.5	48.44	2.50	15.5	82.57	4.27	23	114.56	5.92
0.125	3.18		8	50.57	2.61	17.5	91.10	4.71	26	127.36	6.58
0.150	3.81		8.5	52.71	2.72	19	97.50	5.04	29	140.16	7.24
0.200	5.08	105.68	9.5	56.97	2.94	21	106.03	5.48	32.5	155.09	8.01
0.300	7.62		11.5	65.50	3.38	23.5	116.69	6.03	37	174.28	9.00
0.400	10.16		13.5	74.04	3.83	26	127.36	6.58	40	187.08	9.67
0.500	12.70		15	80.43	4.16	28	135.89	7.02	45	208.41	10.77

PENETRACION VS ESFUERZO

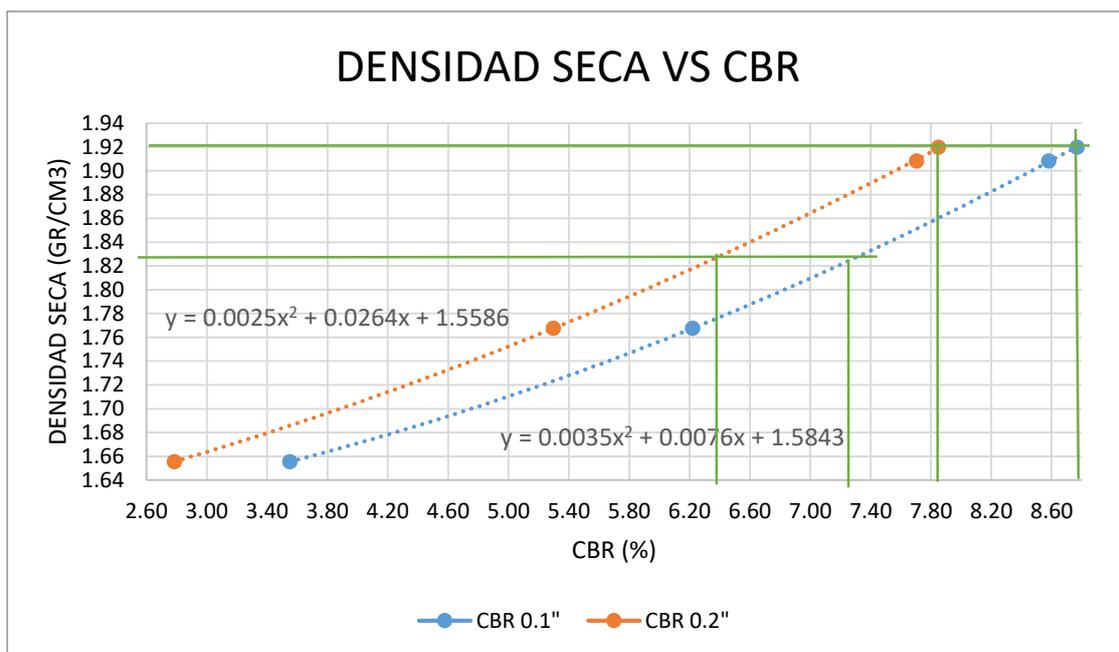


## cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	13.2		13.2		13.2	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11400		11015		12047	
Peso del molde (gr)	7119		6370		7068	
Peso del suelo húmedo (gr)	4281		4645		4979	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.60		12.80		12.70	
Volumen del molde	2286.38		2322.67		2304.52	
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.87</b>		<b>2.00</b>		<b>2.16</b>	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	80.08	88.35	96.14	77.13	73.65	80.17
Peso suelo seco + cápsula (gr)	77.95	84.89	92.79	74.7	71.89	77.65
Cápsula (gr)	61.52	58.74	66.44	56.78	58.39	58.83
Peso del agua (gr)	2.13	3.46	3.35	2.43	1.76	2.52
Peso del suelo seco (gr)	16.43	26.15	26.35	17.92	13.50	18.82
Contenido de agua (%)	12.96	13.23	12.71	13.56	13.04	13.39
Contenido de agua promedio (%)	13.10		13.14		13.21	
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.66</b>		<b>1.77</b>		<b>1.91</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.50	<b>3.55</b>	2.64	4.39	<b>6.22</b>	2.69	6.05	<b>8.58</b>
105.68	5.08	2.94	<b>2.79</b>	5.18	5.60	<b>5.30</b>	5.23	8.14	<b>7.71</b>



Densidad seca máxima = 1.920 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.824 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 7.85 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 8.77 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 6.30 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 7.26 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

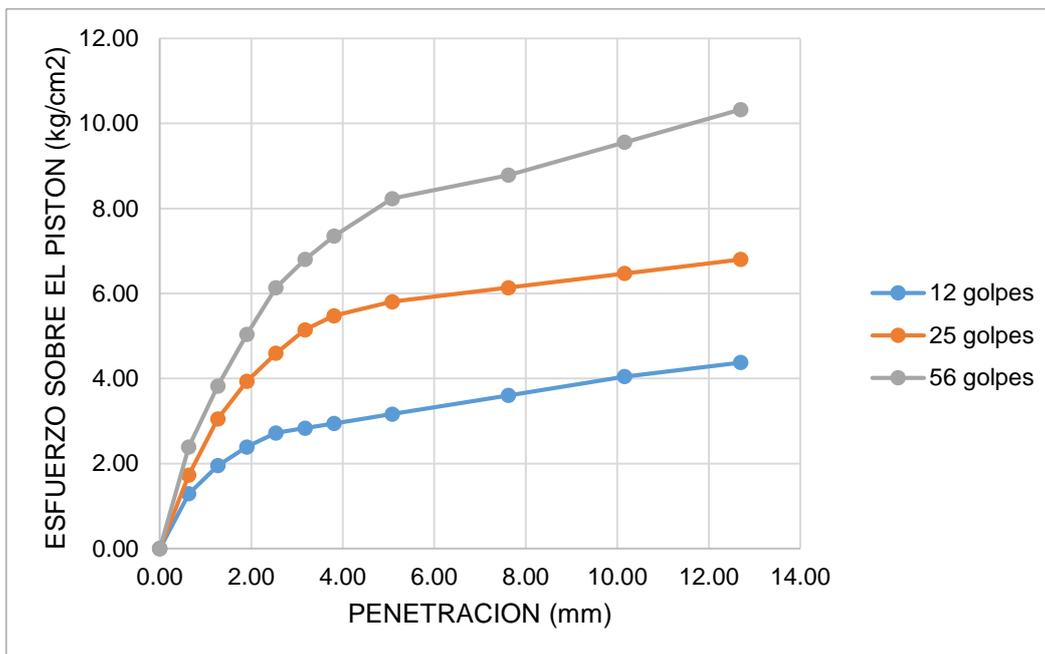
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 10 % de polvo de vidrio reciclado -2

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
04/07/2024	12:00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05/07/2024	12:00	24	91.0	2.31	1.81	60.0	1.52	1.21	35.0	0.89	0.70
08/07/2024	12:00	96	204.0	5.18	<b>4.05</b>	136.0	3.45	<b>2.74</b>	109.0	2.77	<b>2.18</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA kg/cm2	Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		2	24.98	1.29	4	33.51	1.73	7	46.31	2.39
0.050	1.27		5	37.78	1.95	10	59.11	3.05	13.5	74.04	3.83
0.075	1.91		7	46.31	2.39	14	76.17	3.94	19	97.50	5.04
0.100	2.54	70.49	8.5	52.71	2.72	17	88.97	4.60	24	118.83	6.14
0.125	3.18		9	54.84	2.83	19.5	99.63	5.15	27	131.62	6.80
0.150	3.81		9.5	56.97	2.94	21	106.03	5.48	29.5	142.29	7.35
0.200	5.08	105.68	10.5	61.24	3.16	22.5	112.43	5.81	33.5	159.35	8.23
0.300	7.62		12.5	69.77	3.60	24	118.83	6.14	36	170.02	8.78
0.400	10.16		14.5	78.30	4.05	25.5	125.23	6.47	39.5	184.95	9.56
0.500	12.70		16	84.70	4.38	27	131.62	6.80	43	199.88	10.33

PENETRACION VS ESFUERZO

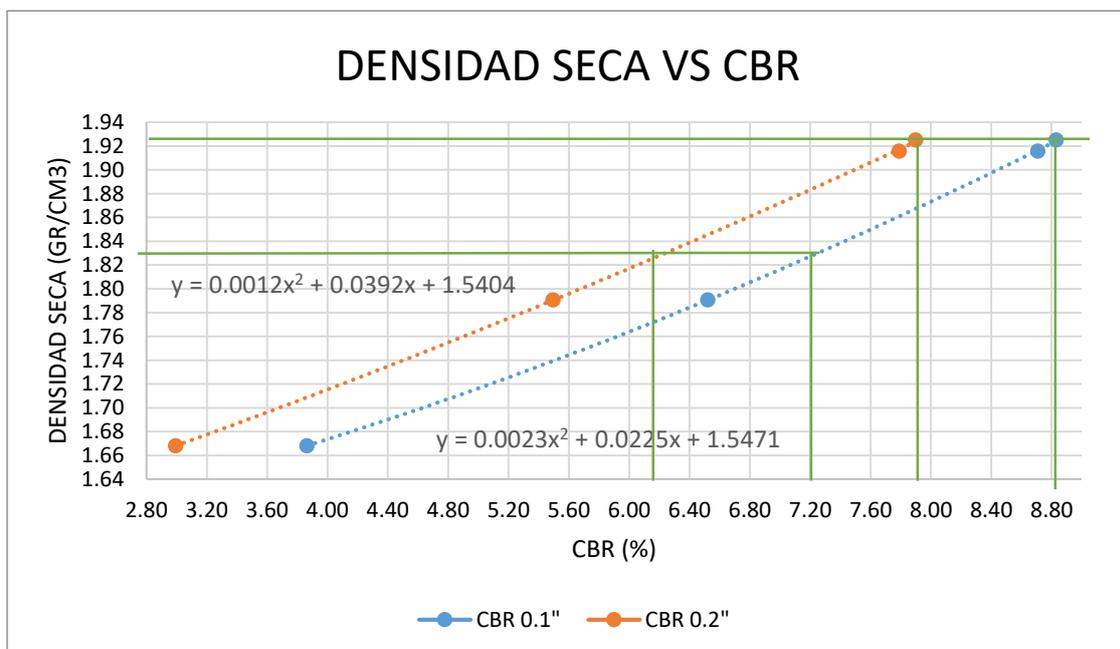


cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	13		13		13	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10751		11743		12057	
Peso del molde (gr)	6371		7119		7067	
Peso del suelo húmedo (gr)	4380		4624		4990	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.80		12.60		12.70	
Volumen del molde	2322.67		2286.38		2304.52	
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.89		2.02		2.17	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	88.65	99.37	85.65	92.05	79.97	86.03
Peso suelo seco + cápsula (gr)	85.06	95.06	83.13	88.13	77.49	82.47
Cápsula (gr)	57.88	61.64	63.75	57.7	58.64	54.86
Peso del agua (gr)	3.59	4.31	2.52	3.92	2.48	3.56
Peso del suelo seco (gr)	27.18	33.42	19.38	30.43	18.85	27.61
Contenido de agua (%)	13.21	12.90	13.00	12.88	13.16	12.89
Contenido de agua promedio (%)	13.05		12.94		13.03	
<b>densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.67</b>		<b>1.79</b>		<b>1.92</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.72	<b>3.86</b>	2.54	4.60	<b>6.52</b>	2.54	6.14	<b>8.71</b>
105.68	5.08	3.16	<b>2.99</b>	5.08	5.81	<b>5.50</b>	5.08	8.23	<b>7.79</b>



Densidad seca máxima = 1.925 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.829 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 7.90 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 8.83 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 6.18 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 7.21 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

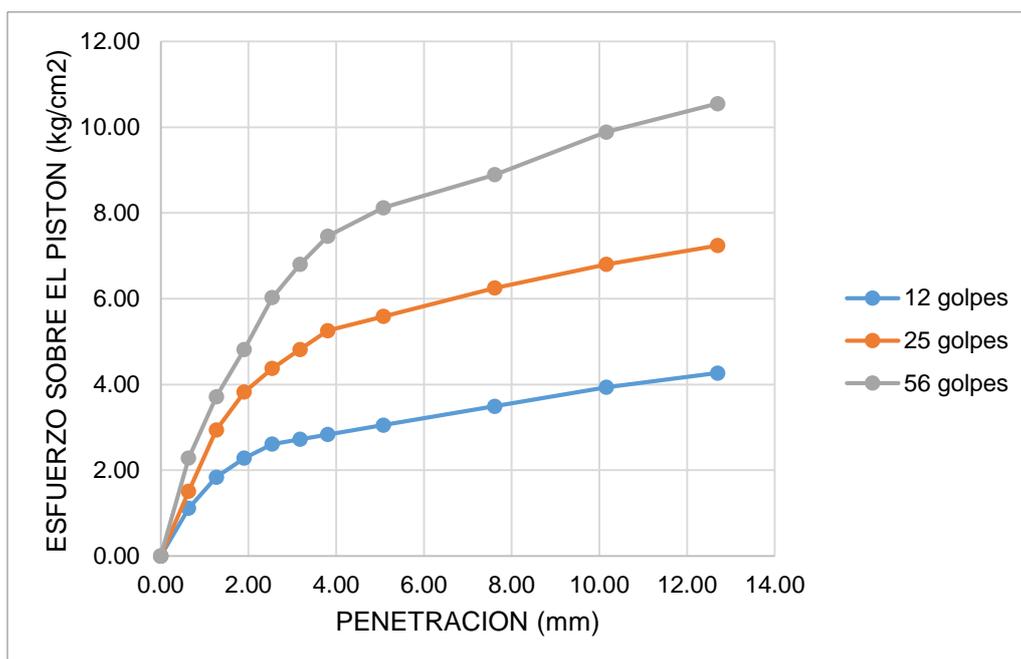
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 10 % de polvo de vidrio reciclado -3

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	126	mm	L. inicial	128	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
04/07/2024	12:10	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05/07/2024	12:10	24	99.0	2.51	2.00	71.0	1.80	1.41	44.0	1.12	0.88
08/07/2024	12:10	96	215.0	5.46	<b>4.33</b>	147.0	3.73	<b>2.92</b>	122.0	3.10	<b>2.44</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.2	21.57	1.11	3	29.25	1.51	6.5	44.18	2.28
0.050	1.27		4.5	35.64	1.84	9.5	56.97	2.94	13	71.90	3.71
0.075	1.91		6.5	44.18	2.28	13.5	74.04	3.83	18	93.23	4.82
0.100	2.54	70.49	8	50.57	2.61	16	84.70	4.38	23.5	116.69	6.03
0.125	3.18		8.5	52.71	2.72	18	93.23	4.82	27	131.62	6.80
0.150	3.81		9	54.84	2.83	20	101.76	5.26	30	144.42	7.46
0.200	5.08	105.68	10	59.11	3.05	21.5	108.16	5.59	33	157.22	8.12
0.300	7.62		12	67.64	3.49	24.5	120.96	6.25	36.5	172.15	8.89
0.400	10.16		14	76.17	3.94	27	131.62	6.80	41	191.35	9.89
0.500	12.70		15.5	82.57	4.27	29	140.16	7.24	44	204.14	10.55

PENETRACION VS ESFUERZO

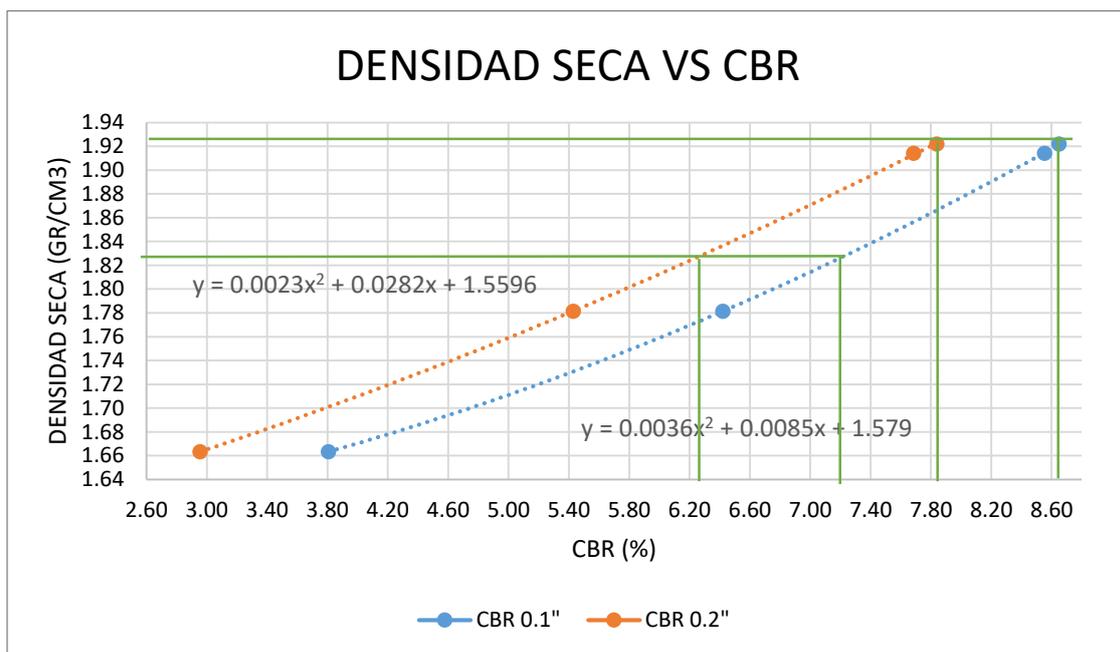


cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	13.2		13.2		13.2	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11365		11190		12090	
Peso del molde (gr)	7065		6515		7101	
Peso del suelo húmedo (gr)	4300		4675		4989	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.60		12.80		12.70	
Volumen del molde	2286.38		2322.67		2304.52	
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.88		2.01		2.16	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	84.37	93.86	90.90	84.59	76.81	83.10
Peso suelo seco + cápsula (gr)	81.51	89.98	87.96	81.42	74.69	80.06
Cápsula (gr)	59.70	60.19	65.10	57.24	58.52	56.85
Peso del agua (gr)	2.86	3.88	2.94	3.17	2.12	3.04
Peso del suelo seco (gr)	21.81	29.79	22.86	24.18	16.17	23.21
Contenido de agua (%)	13.11	13.02	12.86	13.11	13.11	13.10
Contenido de agua promedio (%)	13.07		12.99		13.10	
<b>Densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.66</b>		<b>1.78</b>		<b>1.91</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.59	2.68	<b>3.81</b>	2.66	4.53	<b>6.42</b>	2.54	6.03	<b>8.55</b>
105.68	5.13	3.12	<b>2.96</b>	5.20	5.74	<b>5.43</b>	5.08	8.12	<b>7.69</b>



Densidad seca máxima = 1.922 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.826 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 7.84 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 8.65 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 6.25 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 7.18 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

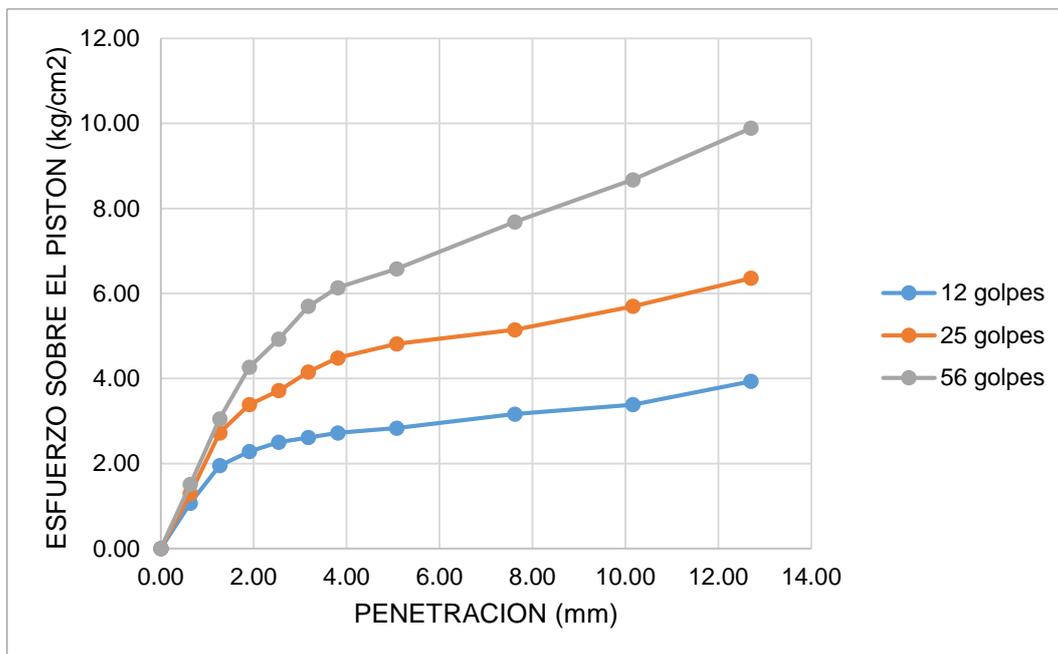
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 15 % de polvo de vidrio reciclado -1

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
31/07/2024	13:38	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/08/2024	13:38	24	78.0	1.98	1.55	50.0	1.27	1.01	25.0	0.64	0.50
02/08/2024	13:38	48	132	3.35	2.62	80	2.03	1.61	60	1.52	1.20
05/08/2024	13:38	120	187.0	4.75	<b>3.71</b>	120.0	3.05	<b>2.42</b>	91.0	2.31	<b>1.82</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1	20.71	1.07	2	24.98	1.29	3	29.25	1.51
0.050	1.27		5	37.78	1.95	8.5	52.71	2.72	10	59.11	3.05
0.075	1.91		6.5	44.18	2.28	11.5	65.50	3.38	15.5	82.57	4.27
0.100	2.54	70.49	7.5	48.44	2.50	13	71.90	3.71	18.5	95.36	4.93
0.125	3.18		8	50.57	2.61	15	80.43	4.16	22	110.30	5.70
0.150	3.81		8.5	52.71	2.72	16.5	86.83	4.49	24	118.83	6.14
0.200	5.08	105.68	9	54.84	2.83	18	93.23	4.82	26	127.36	6.58
0.300	7.62		10.5	61.24	3.16	19.5	99.63	5.15	31	148.69	7.68
0.400	10.16		11.5	65.50	3.38	22	110.30	5.70	35.5	167.88	8.67
0.500	12.70		14	76.17	3.94	25	123.09	6.36	41	191.35	9.89

PENETRACION VS ESFUERZO

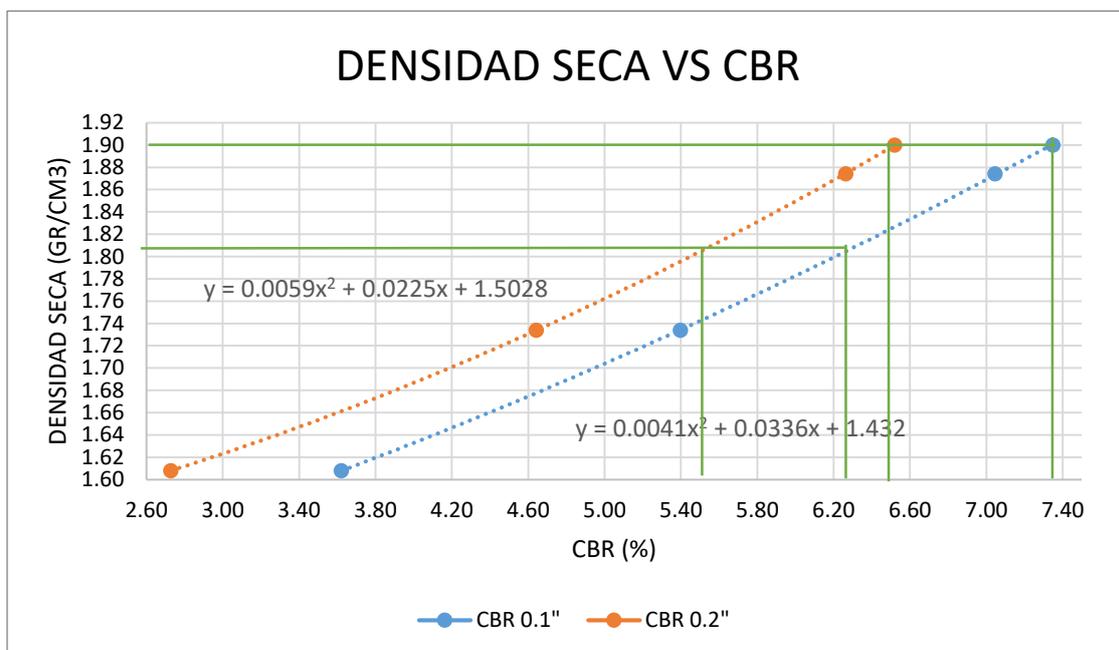


cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	12.5		12.5		12.5	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10575		11578		11928	
Peso del molde (gr)	6371		7119		7067	
Peso del suelo húmedo (gr)	4204		4459		4861	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.80		12.60		12.70	
Volumen del molde	2322.67		2286.38		2304.52	
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.81</b>		<b>1.95</b>		<b>2.11</b>	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	74.36	109.22	86.95	82.3	86.81	94.09
Peso suelo seco + cápsula (gr)	71.58	103.46	83.66	79.69	83.62	86.08
Cápsula (gr)	49.60	57.29	57.35	58.71	58.05	22.55
Peso del agua (gr)	2.78	5.76	3.29	2.61	3.19	8.01
Peso del suelo seco (gr)	21.98	46.17	26.31	20.98	25.57	63.53
Contenido de agua (%)	12.65	12.48	12.50	12.44	12.48	12.61
Contenido de agua promedio (%)	12.56		12.47		12.54	
<b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.61</b>		<b>1.73</b>		<b>1.87</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.57	2.55	<b>3.62</b>	2.67	3.80	<b>5.40</b>	2.56	4.97	<b>7.05</b>
105.68	5.11	2.88	<b>2.73</b>	5.21	4.91	<b>4.64</b>	5.10	6.62	<b>6.26</b>



Densidad seca máxima = 1.900 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.805 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 6.52 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 7.35 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 5.50 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 6.28 %**

ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

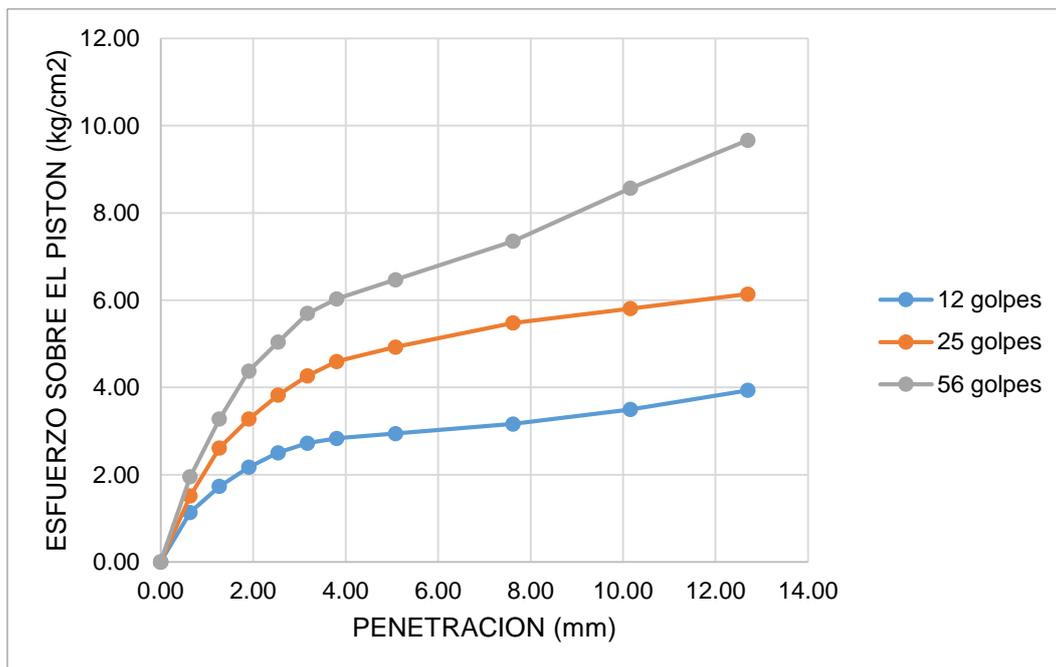
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 15 % de polvo de vidrio reciclado -2

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	127	mm	L. inicial	126	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
31/07/2024	13:45	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/08/2024	13:45	24	80.0	2.03	1.60	47.0	1.19	0.95	23.0	0.58	0.46
02/08/2024	13:45	48	131	3.33	2.62	78	1.98	1.57	62	1.57	1.24
05/08/2024	13:45	120	185.0	4.70	<b>3.70</b>	119.0	3.02	<b>2.40</b>	92.0	2.34	<b>1.84</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar kg/cm2	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.3	21.99	1.14	3	29.25	1.51	5	37.78	1.95
0.050	1.27		4	33.51	1.73	8	50.57	2.61	11	63.37	3.27
0.075	1.91		6	42.04	2.17	11	63.37	3.27	16	84.70	4.38
0.100	2.54	70.49	7.5	48.44	2.50	13.5	74.04	3.83	19	97.50	5.04
0.125	3.18		8.5	52.71	2.72	15.5	82.57	4.27	22	110.30	5.70
0.150	3.81		9	54.84	2.83	17	88.97	4.60	23.5	116.69	6.03
0.200	5.08	105.68	9.5	56.97	2.94	18.5	95.36	4.93	25.5	125.23	6.47
0.300	7.62		10.5	61.24	3.16	21	106.03	5.48	29.5	142.29	7.35
0.400	10.16		12	67.64	3.49	22.5	112.43	5.81	35	165.75	8.56
0.500	12.70		14	76.17	3.94	24	118.83	6.14	40	187.08	9.67

PENETRACION VS ESFUERZO

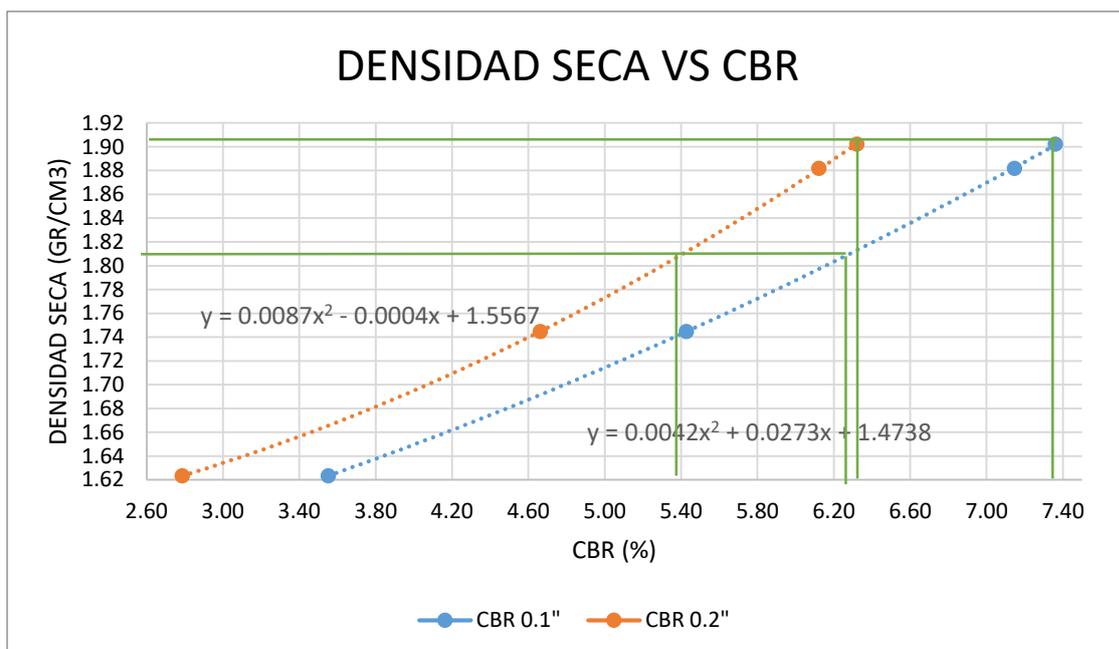


cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	12.4		12.4		12.4	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	11248		11633		11740	
Peso del molde (gr)	7042		7150		6865	
Peso del suelo húmedo (gr)	4206		4483		4875	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.70		12.60		12.70	
Volumen del molde	2304.52		2286.38		2304.52	
Densidad húmeda (gr/cm3)	<b>1.83</b>		<b>1.96</b>		<b>2.12</b>	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	91.37	98.48	91.63	83.01	81.39	92.02
Peso suelo seco + cápsula (gr)	87.32	94.21	87.93	80.11	78.67	86.53
Cápsula (gr)	54.8	59.79	58.03	56.71	56.67	42.55
Peso del agua (gr)	4.05	4.27	3.7	2.9	2.72	5.49
Peso del suelo seco (gr)	32.52	34.42	29.90	23.40	22.00	43.98
Contenido de agua (%)	12.45	12.41	12.37	12.39	12.36	12.48
Contenido de agua promedio (%)	12.43		12.38		12.42	
<b>Densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.62</b>		<b>1.74</b>		<b>1.88</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.50	<b>3.55</b>	2.54	3.83	<b>5.43</b>	2.54	5.04	<b>7.15</b>
105.68	5.08	2.94	<b>2.79</b>	5.08	4.93	<b>4.66</b>	5.08	6.47	<b>6.12</b>



Densidad seca máxima = 1.902 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.807 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 6.32 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 7.36 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 5.39 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 6.23 %**

## ENSAYO DE CBR DE SUELOS EN LABORATORIO, MTC E 132

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

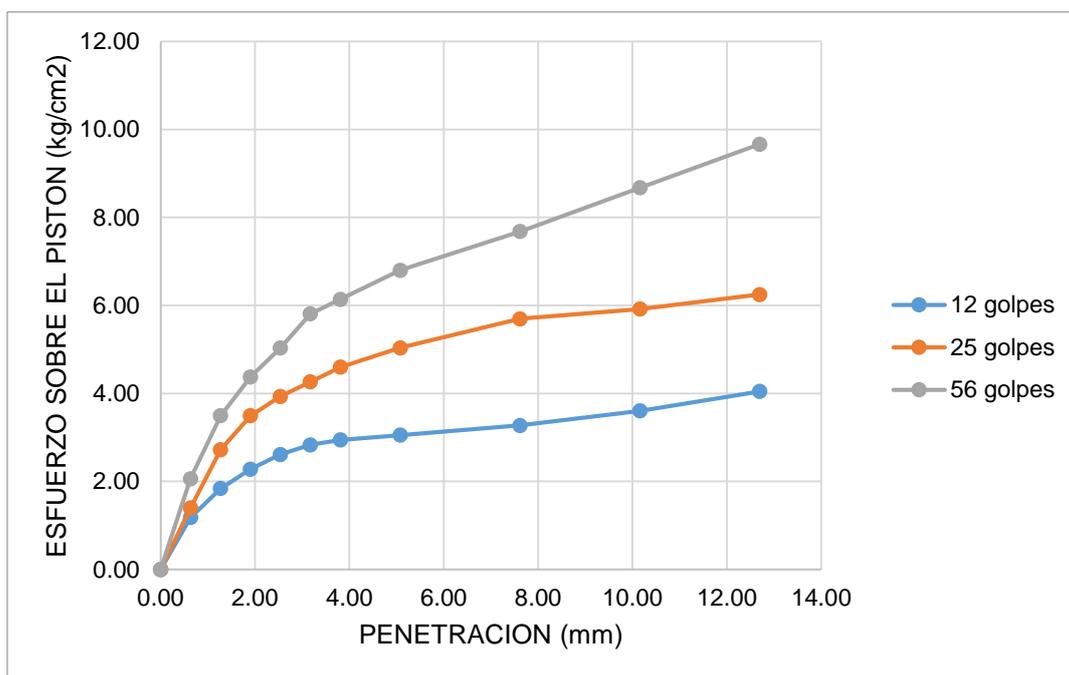
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL + 15 % de polvo de vidrio reciclado -3

Ensayo de expansión											
molde			MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			L. inicial	128	mm	L. inicial	126	mm	L. inicial	127	mm
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION		Dial(div)	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/07/2024	11:30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19/07/2024	11:30	24	76.0	1.93	1.51	46.0	1.17	0.93	21.0	0.53	0.42
22/07/2024	11:30	96	184.0	4.67	<b>3.65</b>	116.0	2.95	<b>2.34</b>	89.0	2.26	<b>1.78</b>
Ensayo de penetración											
PENETRACION 0.001"	PENETRACION mm	CARGA estándar	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
			CARGA kg/cm2	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg	Esfuerzo (kg/cm2)	CARGA Dial(div)	carga Kg
0.000	0.00		0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	0.64		1.5	22.85	1.18	2.5	27.11	1.40	5.5	39.91	2.06
0.050	1.27		4.5	35.64	1.84	8.5	52.71	2.72	12	67.64	3.49
0.075	1.91		6.5	44.18	2.28	12	67.64	3.49	16	84.70	4.38
0.100	2.54	70.49	8	50.57	2.61	14	76.17	3.94	19	97.50	5.04
0.125	3.18		9	54.84	2.83	15.5	82.57	4.27	22.5	112.43	5.81
0.150	3.81		9.5	56.97	2.94	17	88.97	4.60	24	118.83	6.14
0.200	5.08	105.68	10	59.11	3.05	19	97.50	5.04	27	131.62	6.80
0.300	7.62		11	63.37	3.27	22	110.30	5.70	30	144.42	7.46
0.400	10.16		12.5	69.77	3.60	23	114.56	5.92	36	170.02	8.78
0.500	12.70		14.5	78.30	4.05	24.5	120.96	6.25	41	191.35	9.89

PENETRACION VS ESFUERZO

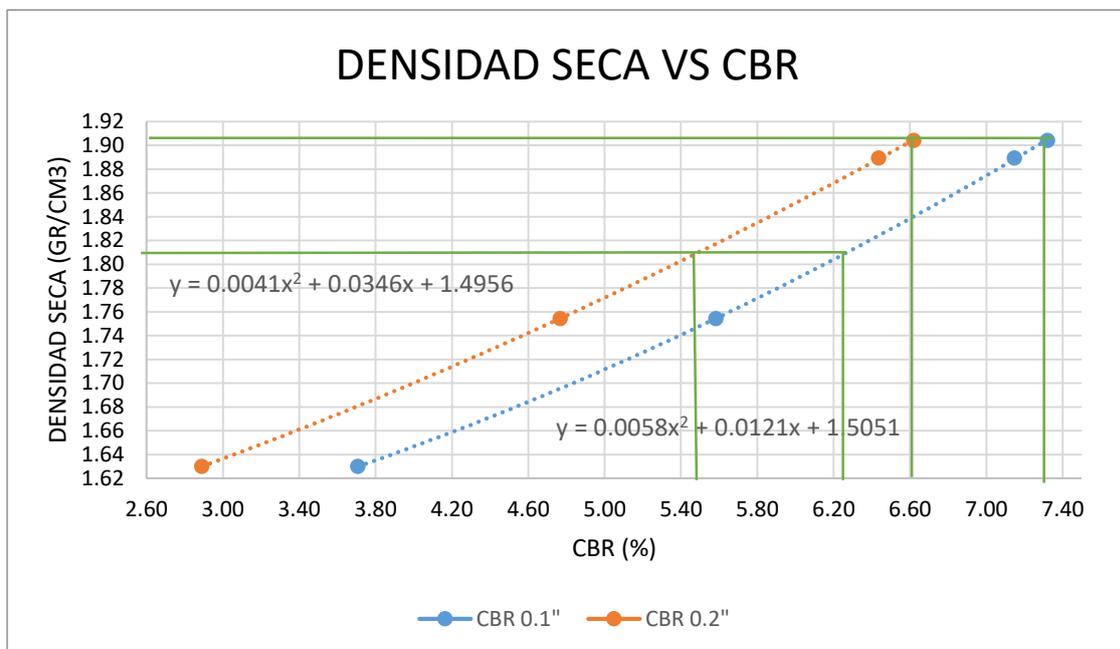


cálculo densidad seca

molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N°de golpes/capa	12		25		56	
Humedad óptima (%)	12.3		12.3		12.3	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	10626		11628		11953	
Peso del molde (gr)	6371		7119		7067	
Peso del suelo húmedo (gr)	4255		4509		4886	
Diámetro del molde (cm)	15.20		15.20		15.20	
Altura del molde (cm)	12.80		12.60		12.70	
Volumen del molde	2322.67		2286.38		2304.52	
Densidad húmeda (gr/cm3)	<b>1.83</b>		<b>1.97</b>		<b>2.12</b>	
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	108.48	110.15	96.43	83.67	75.94	90.01
Peso suelo seco + cápsula (gr)	103.05	104.96	92.2	80.52	73.72	86.98
Cápsula (gr)	60.00	62.29	58.7	54.71	55.29	62.55
Peso del agua (gr)	5.43	5.19	4.23	3.15	2.22	3.03
Peso del suelo seco (gr)	43.05	42.67	33.50	25.81	18.43	24.43
Contenido de agua (%)	12.61	12.16	12.63	12.20	12.05	12.40
Contenido de agua promedio (%)	12.39		12.42		12.22	
<b>Densidad seca (gr/cm3)</b>	<b>1.63</b>		<b>1.75</b>		<b>1.89</b>	

## Correcciones

carga patrón	MOLDE 12 GOLPES			MOLDE N° 25 GOLPES			MOLDE N° 56 GOLPES		
	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %	penetraciónmm	esfuerzo kg/cm2	CBR %
70.49	2.54	2.61	<b>3.71</b>	2.54	3.94	<b>5.58</b>	2.54	5.04	<b>7.15</b>
105.68	5.08	3.05	<b>2.89</b>	5.08	5.04	<b>4.77</b>	5.08	6.80	<b>6.44</b>



Densidad seca máxima = 1.904 gr/cm<sup>3</sup>

95% de la DMS = 1.809 gr/cm<sup>3</sup>

CBR 0.2" al 100% de la DMS = 6.62 %

CBR 0.1" al 100% de la DMS = 7.32 %

CBR 0.2" al 95% de la DMS = 5.49 %

**CBR 0.1" al 95% de la DMS = 6.27 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

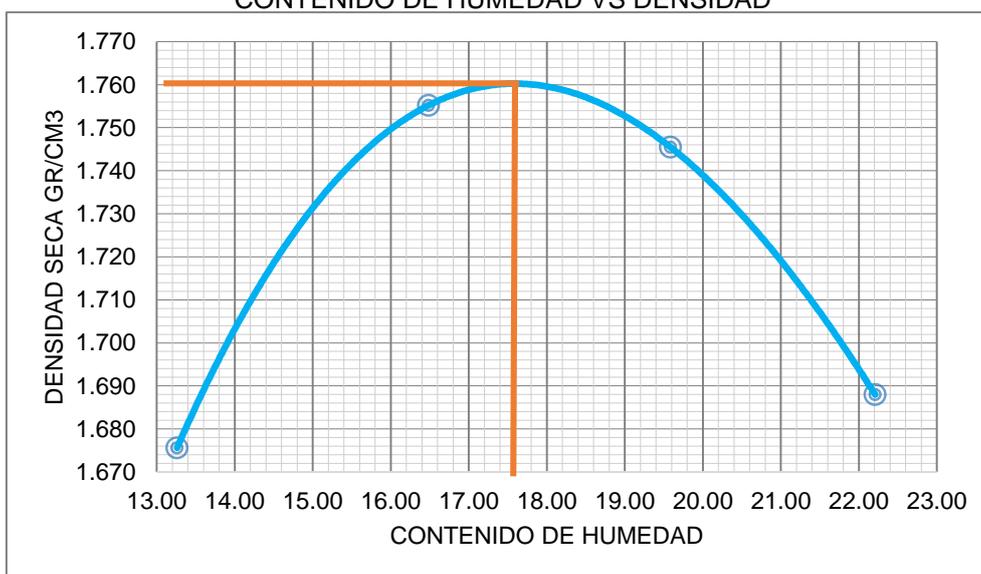
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - % óptimo de polvo de vidrio reciclado

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + capsula	gr	59.26	59.26	81.22	81.22	87.86	87.86	73.84	117.97
Peso suelo seco + capsula	gr	57.01	57.01	77.76	77.76	82.94	82.94	71.03	107.90
Capsula	gr	40.04	40.04	56.77	56.77	57.82	57.82	59.15	59.4
Peso del agua	gr	2.25	2.25	3.46	3.46	4.92	4.92	2.81	10.07
Peso del suelo seco	gr	16.97	16.97	20.99	20.99	25.12	25.12	11.88	48.50
Contenido de agua	%	13.26	13.26	16.48	16.48	19.59	19.59	23.65	20.76
Contenido de agua promedio	%	<b>13.26</b>		<b>16.48</b>		<b>19.59</b>		<b>22.21</b>	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	947.87							
Peso suelo + molde	gr	3785.34	3924.49	3965.06	3941.85				
Peso molde	gr	1986.55	1986.55	1986.55	1986.55				
Peso suelo húmedo compactado	gr	1798.79	1937.94	1978.51	1955.3				
Densidad suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.90	2.04	2.09	2.06				
Densidad suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.676</b>	<b>1.755</b>	<b>1.745</b>	<b>1.688</b>				

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.76 gr/cm<sup>3</sup>**, Contenido de humedad óptimo = **17.60 %**

## ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS ENERGIA MODIFICADA, MTC E 115

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

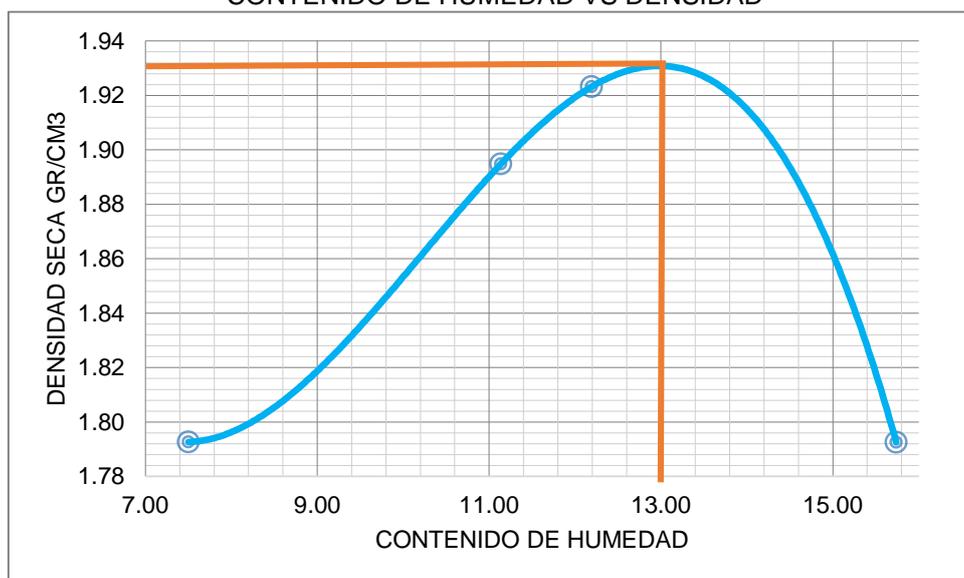
Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL - % óptimo de polvo de vidrio reciclado

prueba n°		1	2	3	4				
Contenido de humedad									
Peso suelo húmedo + capsula	gr	82.07	82.07	80.47	80.47	75.86	75.86	94.80	94.80
Peso suelo seco + capsula	gr	80.4	80.4	77.65	77.65	73.98	73.98	90.7	90.7
Capsula	gr	58.13	58.13	52.33	52.33	58.56	58.56	64.65	64.65
Peso del agua	gr	1.67	1.67	2.82	2.82	1.88	1.88	4.1	4.1
Peso del suelo seco	gr	22.27	22.27	25.32	25.32	15.42	15.42	26.05	26.05
Contenido de agua	%	7.50	7.50	11.14	11.14	12.19	12.19	15.74	15.74
Contenido de agua promedio	%	<b>7.50</b>		11.14		12.19		15.74	
Densidad seca									
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	947.87							
Peso suelo + molde	gr	3813.19		3982.65		4031.73		3953.11	
Peso molde	gr	1986.55		1986.55		1986.55		1986.55	
Peso suelo húmedo compactado	gr	1826.64		1996.1		2045.18		1966.56	
Densidad suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.93		2.11		2.16		2.07	
Densidad suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.79		1.89		1.92		1.79	

CONTENIDO DE HUMEDAD VS DENSIDAD



Densidad seca máxima = **1.93 gr/cm<sup>3</sup>**, Contenido de humedad óptimo = **13.00 %**

## ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

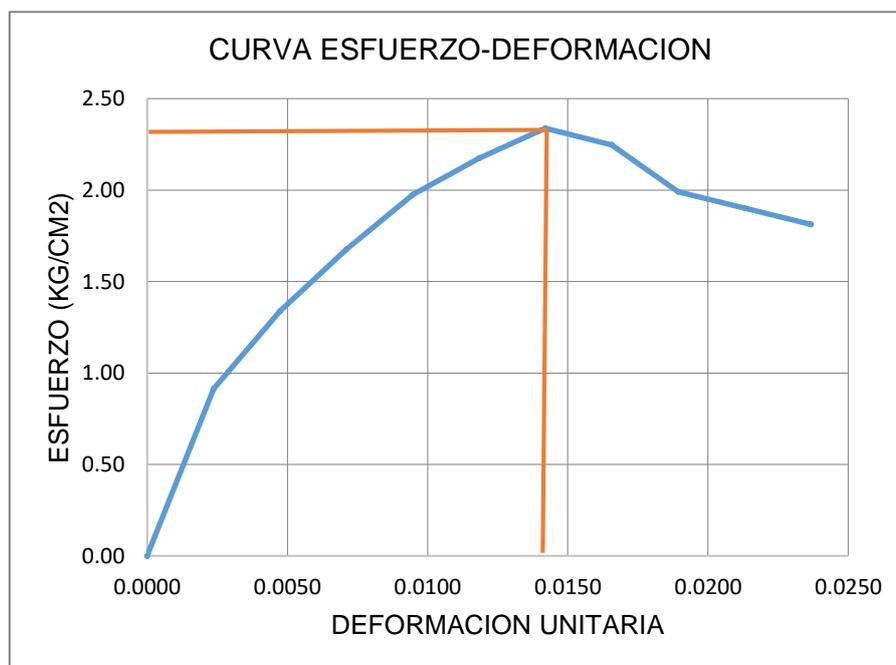
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 1

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.92

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 267.52

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.00	0.0000	24.92	0.00
10	0.25	1.5	22.85	0.0024	24.98	0.91
20	0.51	4	33.51	0.0047	25.04	1.34
30	0.76	6	42.04	0.0071	25.10	1.67
40	1.02	7.8	49.72	0.0095	25.16	1.98
50	1.27	9	54.84	0.0118	25.22	2.17
60	1.52	10	59.11	0.0142	25.28	2.34
70	1.78	9.5	56.97	0.0166	25.34	2.25
80	2.03	8	50.57	0.0189	25.41	1.99
90	2.29	7.5	48.44	0.0213	25.47	1.90
100	2.54	7	46.31	0.0237	25.53	1.81



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 2.34 \text{ Kg/cm}^2$

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

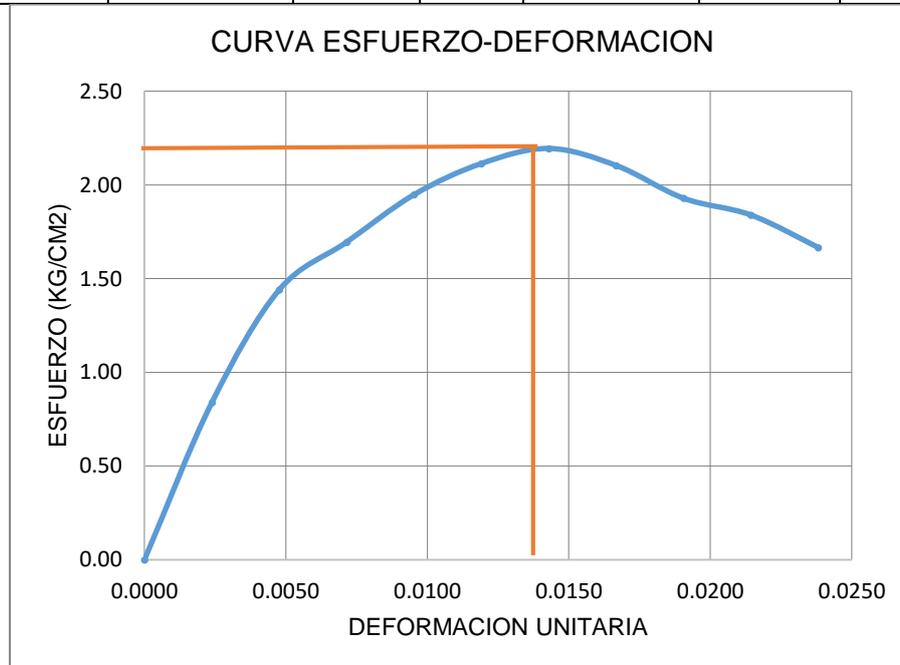
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 2

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.63

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 262.72

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0	0.0000	24.63	0.00
10	0.25	1	20.71	0.0024	24.69	0.84
20	0.51	4.5	35.64	0.0048	24.75	1.44
30	0.76	6	42.04	0.0071	24.81	1.69
40	1.02	7.5	48.44	0.0095	24.87	1.95
50	1.27	8.5	52.71	0.0119	24.93	2.11
60	1.52	9	54.84	0.0143	24.99	2.19
70	1.78	8.5	52.71	0.0167	25.05	2.10
80	2.03	7.5	48.44	0.0191	25.11	1.93
90	2.29	7	46.31	0.0214	25.17	1.84
100	2.54	6	42.04	0.0238	25.23	1.67



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 2.19 \text{ Kg/cm}^2$

### ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

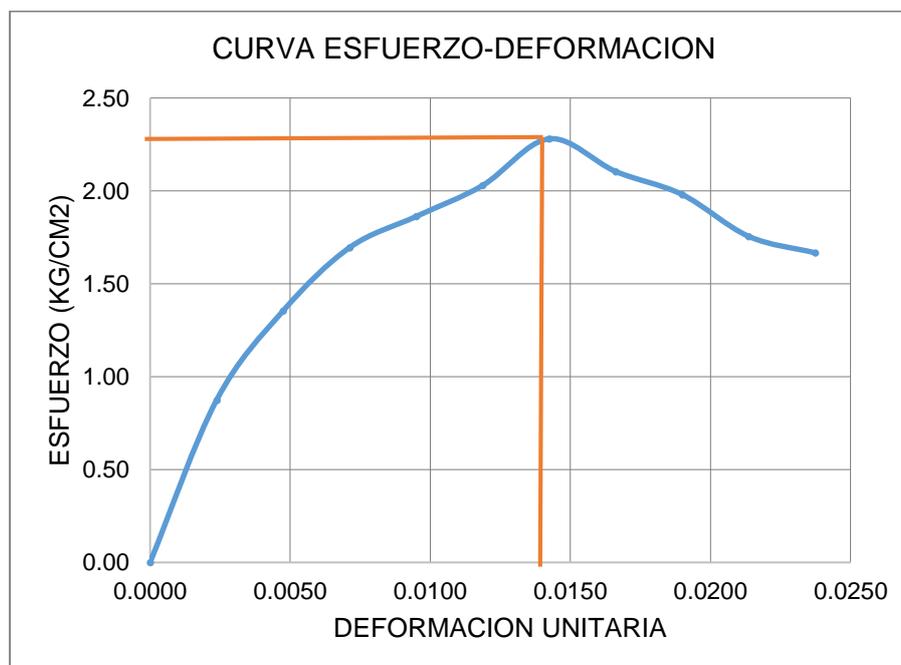
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - 3

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.63

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 263.54

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0		0.0000	24.63	0.00
10	0.25	1.2	21.57	0.0024	24.69	0.87
20	0.51	4	33.51	0.0047	24.75	1.35
30	0.76	6	42.04	0.0071	24.81	1.69
40	1.02	7	46.31	0.0095	24.87	1.86
50	1.27	8	50.57	0.0119	24.93	2.03
60	1.52	9.5	56.97	0.0142	24.99	2.28
70	1.78	8.5	52.71	0.0166	25.05	2.10
80	2.03	7.8	49.72	0.0190	25.11	1.98
90	2.29	6.5	44.18	0.0214	25.17	1.76
100	2.54	6	42.04	0.0237	25.23	1.67



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 2.28 \text{ Kg/cm}^2$

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

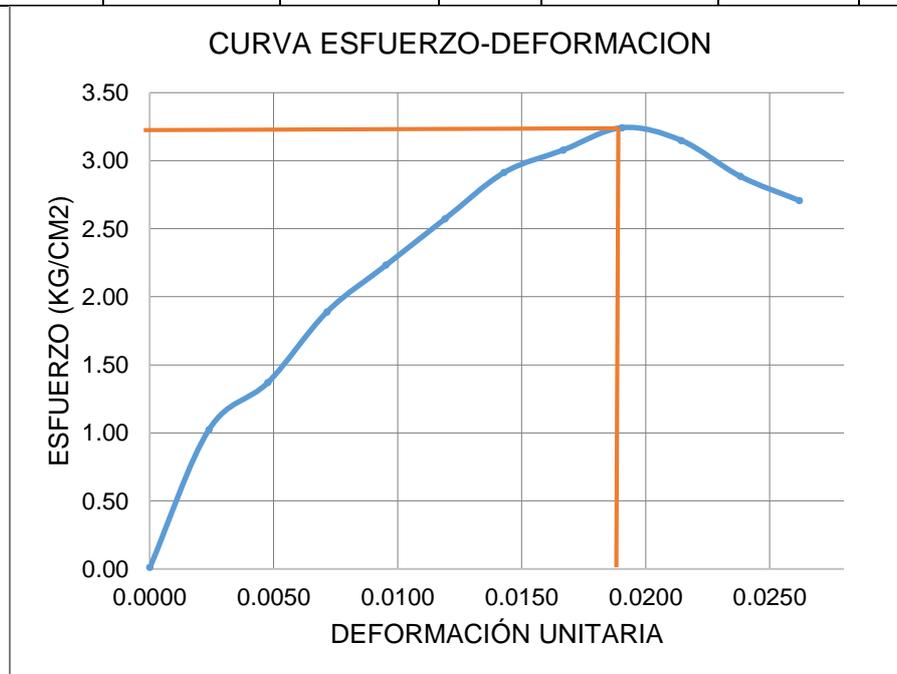
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - % óptimo de polvo de vidrio reciclado-1

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.34

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 259.60

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.29	0.0000	24.34	0.01
10	0.25	2	24.98	0.0024	24.40	1.02
20	0.51	4	33.51	0.0048	24.45	1.37
30	0.76	7	46.31	0.0071	24.51	1.89
40	1.02	9	54.84	0.0095	24.57	2.23
50	1.27	11	63.37	0.0119	24.63	2.57
60	1.52	13	71.90	0.0143	24.69	2.91
70	1.78	14	76.17	0.0167	24.75	3.08
80	2.03	15	80.43	0.0191	24.81	3.24
90	2.29	14.5	78.30	0.0214	24.87	3.15
100	2.54	13	71.90	0.0238	24.93	2.88
110	2.79	12	67.64	0.0262	24.99	2.71



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 3.24 \text{ Kg/cm}^2$

## ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

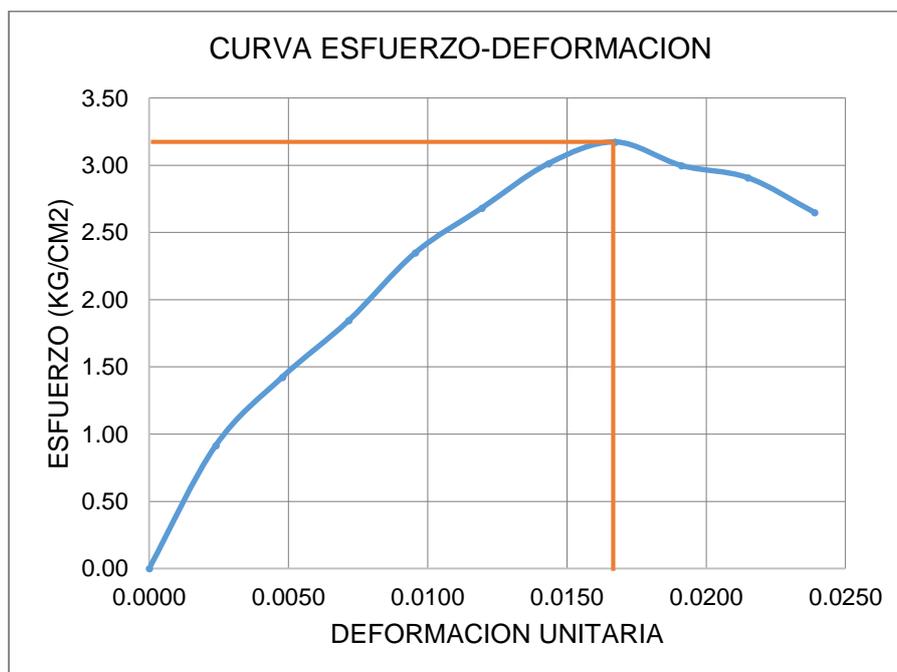
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - % óptimo de polvo de vidrio reciclado-2

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.92

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 265.03

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.00	0.0000	24.92	0.00
10	0.25	1.5	22.85	0.0024	24.98	0.91
20	0.51	4.5	35.64	0.0048	25.04	1.42
30	0.76	7	46.31	0.0072	25.10	1.84
40	1.02	10	59.11	0.0096	25.16	2.35
50	1.27	12	67.64	0.0119	25.23	2.68
60	1.52	14	76.17	0.0143	25.29	3.01
70	1.78	15	80.43	0.0167	25.35	3.17
80	2.03	14	76.17	0.0191	25.41	3.00
90	2.29	13.5	74.04	0.0215	25.47	2.91
100	2.54	12	67.64	0.0239	25.53	2.65



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 3.17 \text{ Kg/cm}^2$

### ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

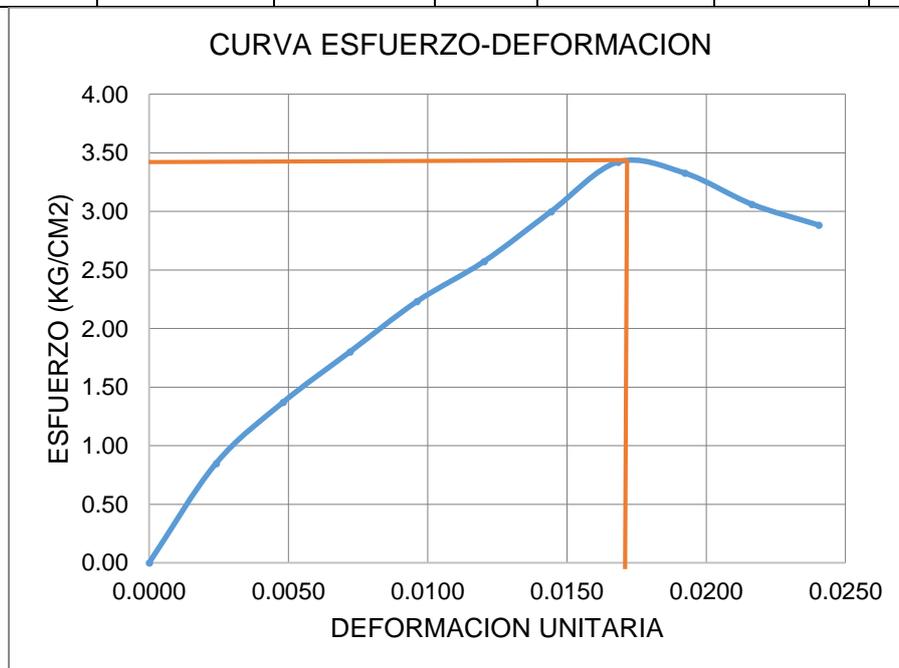
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - % óptimo de polvo de vidrio reciclado-3

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.34

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 257.17

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.00	0.0000	24.34	0.00
10	0.25	1	20.71	0.0024	24.40	0.85
20	0.51	4	33.51	0.0048	24.46	1.37
30	0.76	6.5	44.18	0.0072	24.51	1.80
40	1.02	9	54.84	0.0096	24.57	2.23
50	1.27	11	63.37	0.0120	24.63	2.57
60	1.52	13.5	74.04	0.0144	24.69	3.00
70	1.78	16	84.70	0.0168	24.75	3.42
80	2.03	15.5	82.57	0.0192	24.81	3.33
90	2.29	14	76.17	0.0216	24.88	3.06
100	2.54	13	71.90	0.0240	24.94	2.88



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 3.42 \text{ Kg/cm}^2$

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

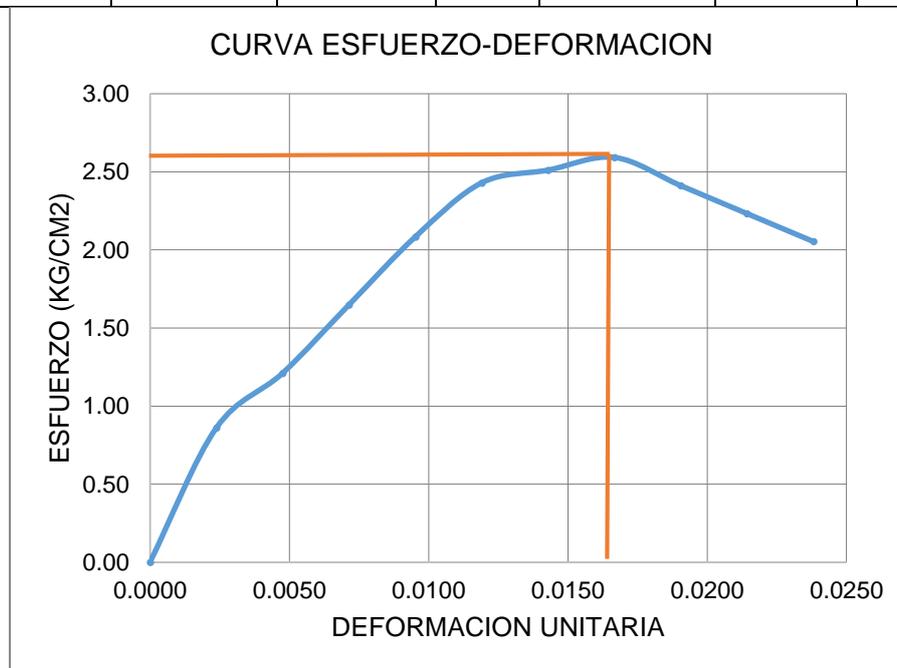
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL-1

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.05

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 256.50

deformación Dial(div)	deformación n (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.00	0.0000	24.05	0.00
10	0.25	1	20.71	0.0024	24.10	0.86
20	0.51	3	29.25	0.0048	24.16	1.21
30	0.76	5.5	39.91	0.0071	24.22	1.65
40	1.02	8	50.57	0.0095	24.28	2.08
50	1.27	10	59.11	0.0119	24.34	2.43
60	1.52	10.5	61.24	0.0143	24.40	2.51
70	1.78	11	63.37	0.0167	24.45	2.59
80	2.03	10	59.11	0.0191	24.51	2.41
90	2.29	9	54.84	0.0214	24.57	2.23
100	2.54	8	50.57	0.0238	24.63	2.05



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 2.59 \text{ Kg/cm}^2$

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

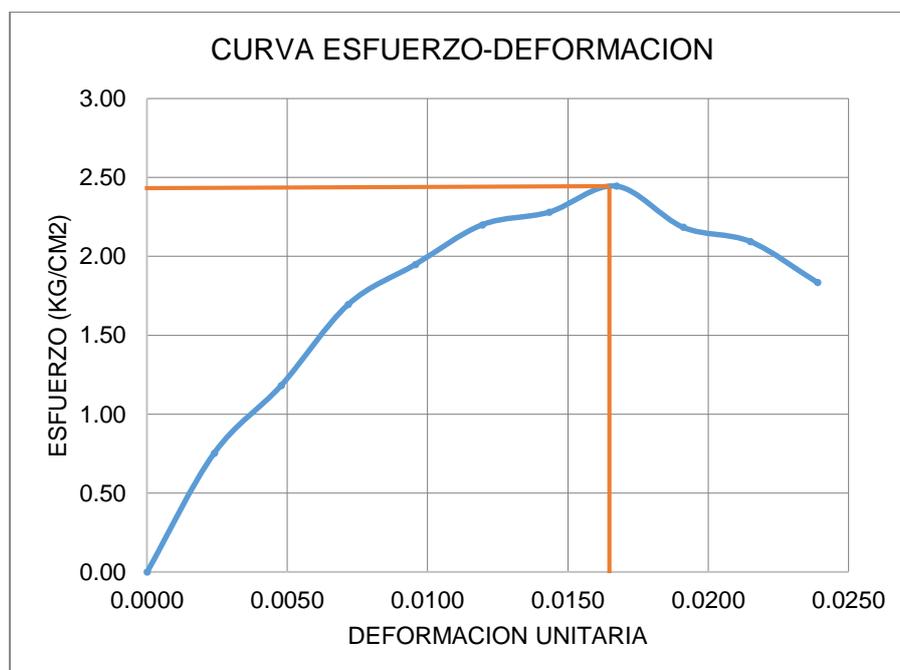
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL-2

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.63

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 261.90

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.00	0.0000	24.63	0.00
10	0.25	0.5	18.58	0.0024	24.69	0.75
20	0.51	3	29.25	0.0048	24.75	1.18
30	0.76	6	42.04	0.0072	24.81	1.69
40	1.02	7.5	48.44	0.0096	24.87	1.95
50	1.27	9	54.84	0.0119	24.93	2.20
60	1.52	9.5	56.97	0.0143	24.99	2.28
70	1.78	10.5	61.24	0.0167	25.05	2.44
80	2.03	9	54.84	0.0191	25.11	2.18
90	2.29	8.5	52.71	0.0215	25.17	2.09
100	2.54	7	46.31	0.0239	25.23	1.84



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 2.44 \text{ Kg/cm}^2$

### ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

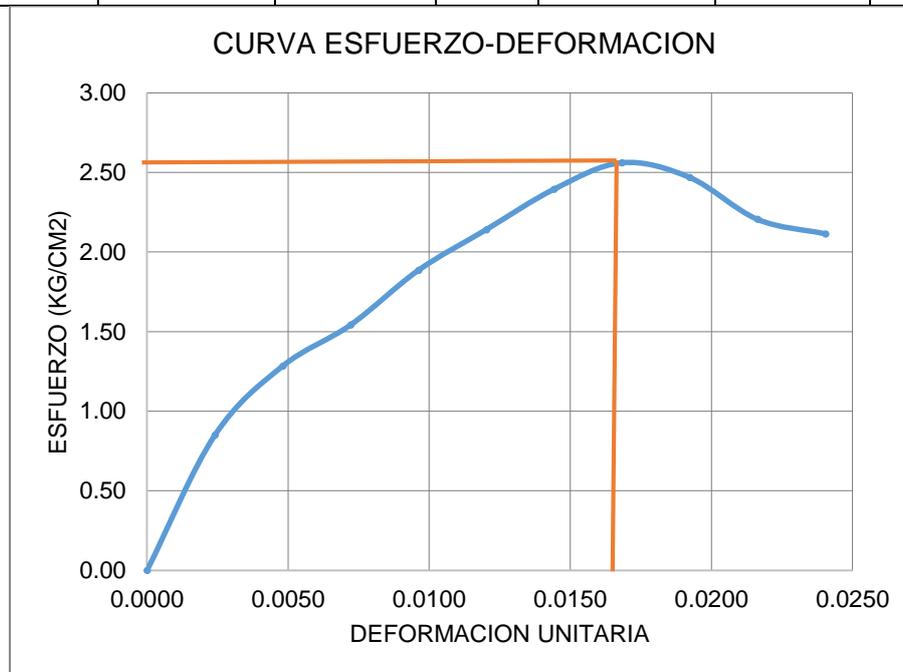
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CL- 3

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.34

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 257.17

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.00	0.0000	24.34	0.00
10	0.25	1	20.71	0.0024	24.40	0.85
20	0.51	3.5	31.38	0.0048	24.46	1.28
30	0.76	5	37.78	0.0072	24.51	1.54
40	1.02	7	46.31	0.0096	24.57	1.88
50	1.27	8.5	52.71	0.0120	24.63	2.14
60	1.52	10	59.11	0.0144	24.69	2.39
70	1.78	11	63.37	0.0168	24.75	2.56
80	2.03	10.5	61.24	0.0192	24.81	2.47
90	2.29	9	54.84	0.0216	24.88	2.20
100	2.54	8.5	52.71	0.0240	24.94	2.11



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 2.56 \text{ Kg/cm}^2$

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

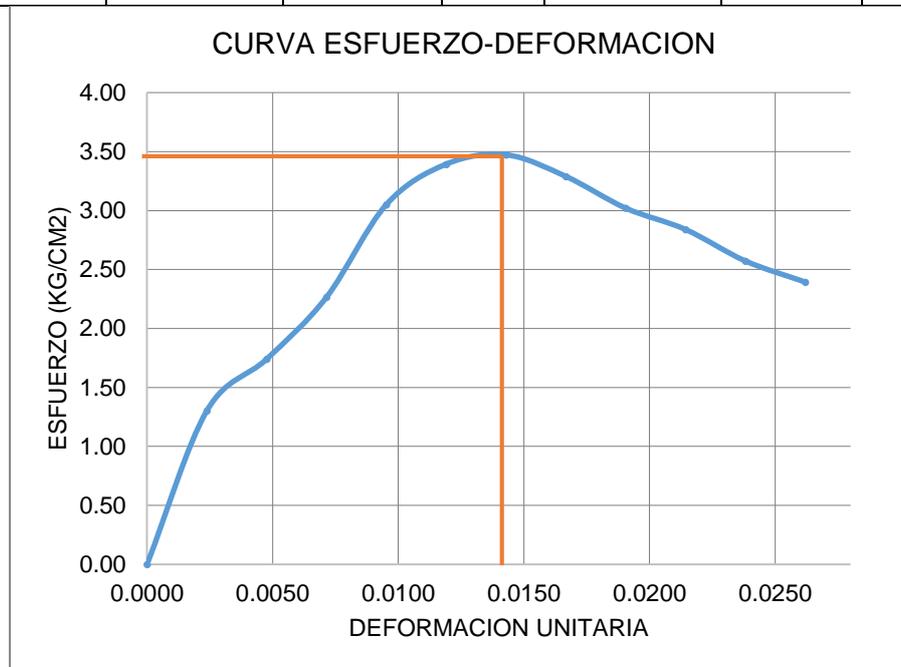
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - % óptimo de polvo de vidrio reciclado-1

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.05

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 256.50

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.00	0.0000	24.05	0.00
10	0.25	3.5	31.38	0.0024	24.10	1.30
20	0.51	6	42.04	0.0048	24.16	1.74
30	0.76	9	54.84	0.0071	24.22	2.26
40	1.02	13.5	74.04	0.0095	24.28	3.05
50	1.27	15.5	82.57	0.0119	24.34	3.39
60	1.52	16	84.70	0.0143	24.40	3.47
70	1.78	15	80.43	0.0167	24.45	3.29
80	2.03	13.5	74.04	0.0191	24.51	3.02
90	2.29	12.5	69.77	0.0214	24.57	2.84
100	2.54	11	63.37	0.0238	24.63	2.57
110	2.79	10	59.11	0.0262	24.69	2.39



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 3.47 \text{ Kg/cm}^2$

ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

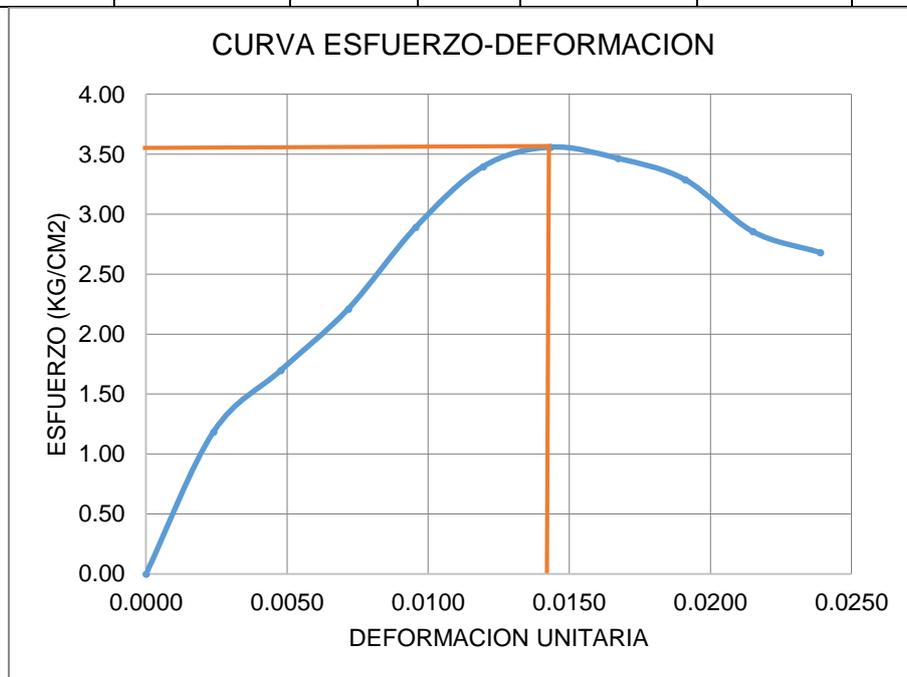
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - % óptimo de polvo de vidrio reciclado-2

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.05

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 256.50

deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.00	0.0000	24.63	0.00
10	0.25	3	29.25	0.0024	24.69	1.18
20	0.51	6	42.04	0.0048	24.75	1.70
30	0.76	9	54.84	0.0072	24.81	2.21
40	1.02	13	71.90	0.0096	24.87	2.89
50	1.27	16	84.70	0.0119	24.93	3.40
60	1.52	17	88.97	0.0143	24.99	3.56
70	1.78	16.5	86.83	0.0167	25.05	3.47
80	2.03	15.5	82.57	0.0191	25.11	3.29
90	2.29	13	71.90	0.0215	25.17	2.86
100	2.54	12	67.64	0.0239	25.23	2.68



Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 3.56 \text{ Kg/cm}^2$

## ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRA DE SUELOS, MTC E 121

Responsable: Edgar Alexander Sotelo Escobar

Tesis: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

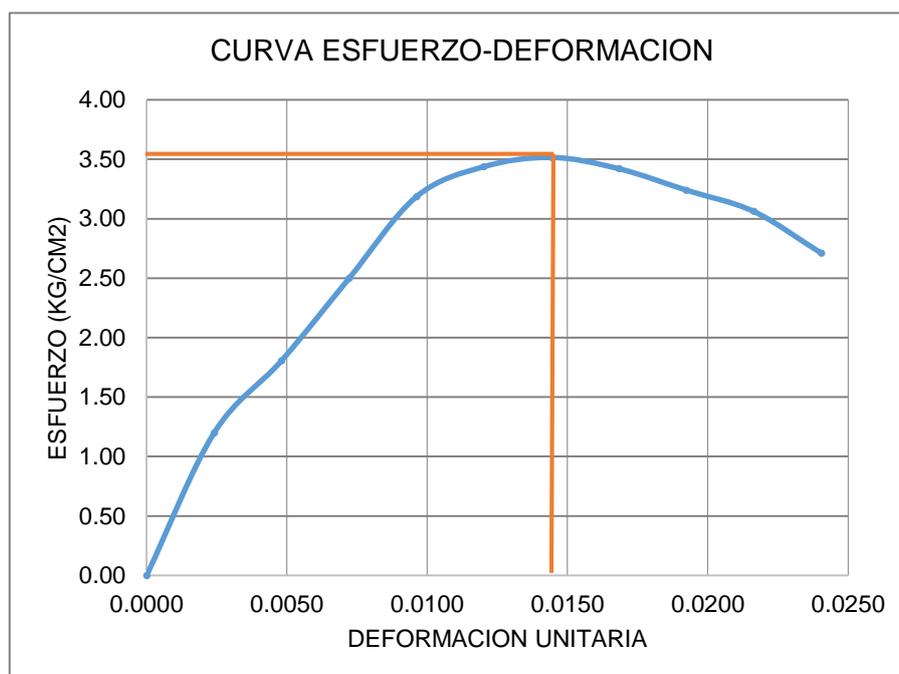
Ubicación: Zona Ladrillera – San Jerónimo – Cusco

Muestra: Suelo CH - % óptimo de polvo de vidrio reciclado-3

AREA (cm<sup>2</sup>) = 24.34

VOLUMEN (cm<sup>3</sup>) = 257.17

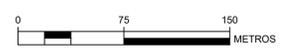
deformación Dial(div)	deformación (mm)	carga Dial(div)	carga (kg)	deformación unitaria (ε)	área corregida (Ac)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0	0.00	0.0000	24.34	0.00
10	0.25	3	29.25	0.0024	24.40	1.20
20	0.51	6.5	44.18	0.0048	24.46	1.81
30	0.76	10.5	61.24	0.0072	24.51	2.50
40	1.02	14.5	78.30	0.0096	24.57	3.19
50	1.27	16	84.70	0.0120	24.63	3.44
60	1.52	16.5	86.83	0.0144	24.69	3.52
70	1.78	16	84.70	0.0168	24.75	3.42
80	2.03	15	80.43	0.0192	24.81	3.24
90	2.29	14	76.17	0.0216	24.88	3.06
100	2.54	12	67.64	0.0240	24.94	2.71



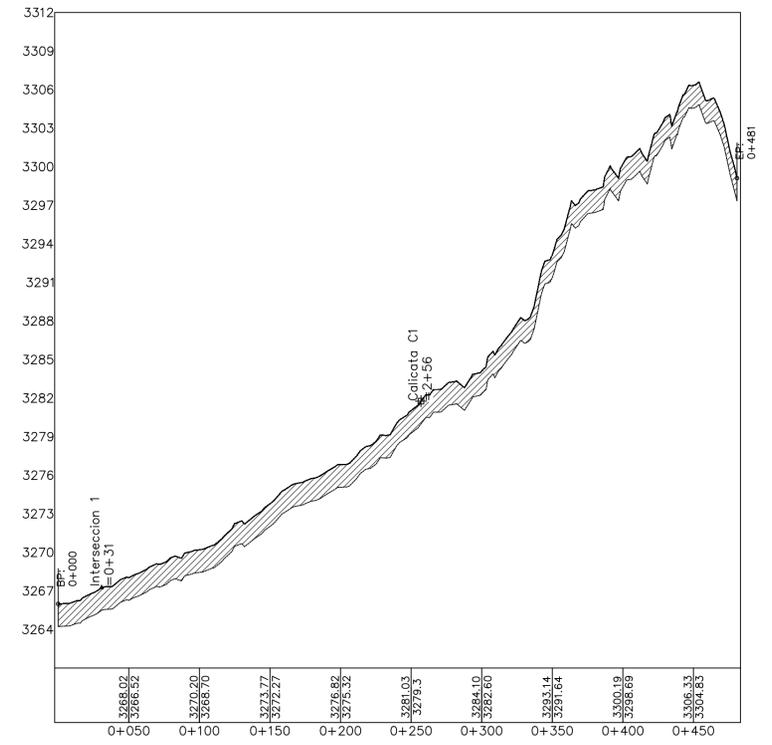
Resistencia a la compresión no confinada  $q_u = 3.52 \text{ Kg/cm}^2$

Anexo 5: Perfil longitudinal del terreno.

PLANTA 1:2500



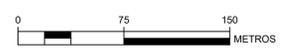
PERFIL LONGITUDINAL 1



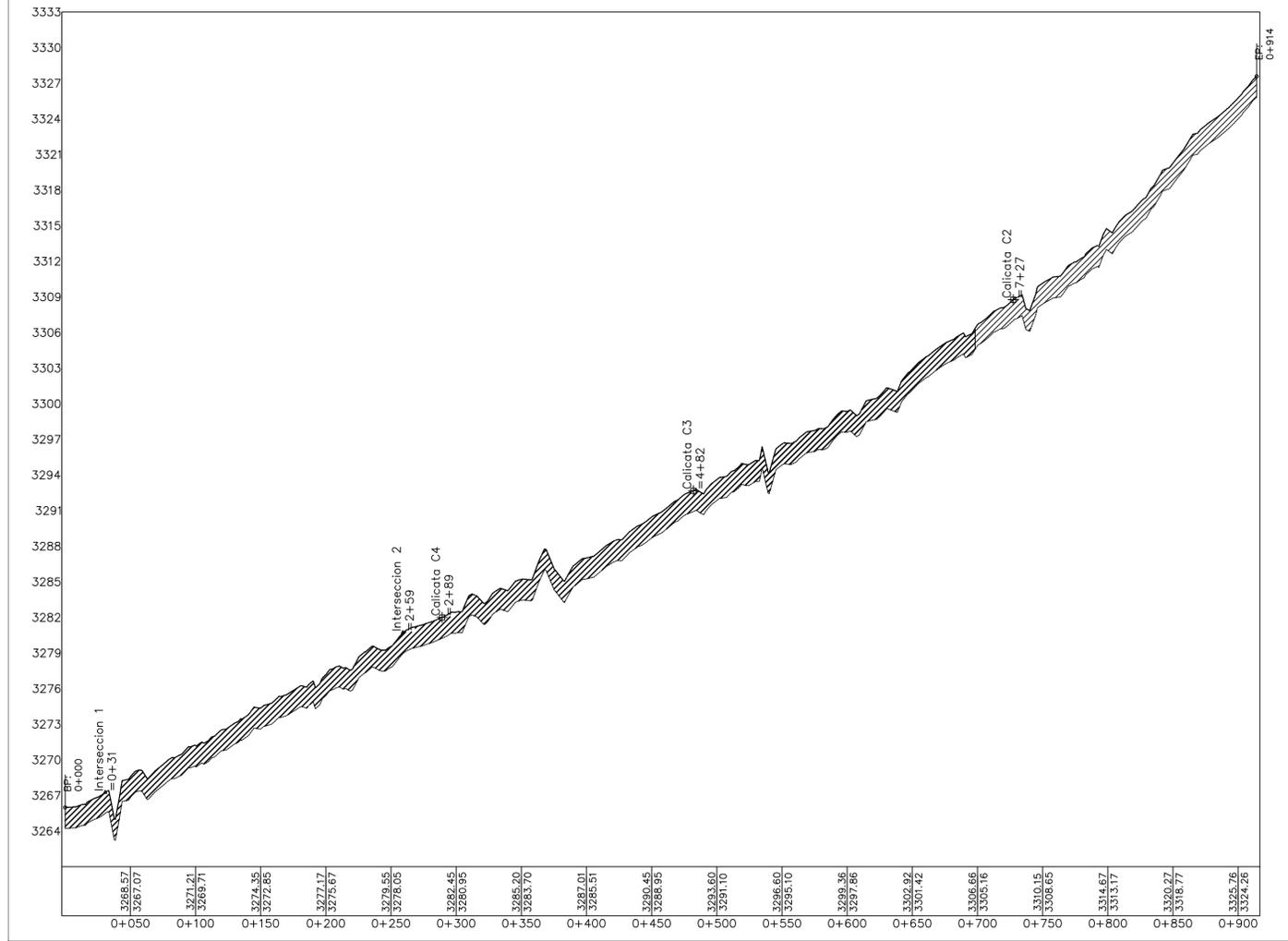
LEYENDA	
	ALINEAMIENTO
	CAMINO
	CALICATA
	INTERSECCION
	CURVA DE NIVEL MAYOR
	CURVA DE NIVEL MENOR
	CL
	CH

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>			
<b>TESIS:</b> "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"		Presentado por: <b>Bach. Sotelo E. Edgar Alexander</b> COD: N° 141121	
UBICACION	DISTRITO : SAN JERONIMO	PROVINCIA: CUSCO	DEPARTAMENTO: CUSCO
ESCALAS: 1:2500	FECHA: JULIO 2025	LAMINA <b>PU-01</b>	

PLANTA 1:2500



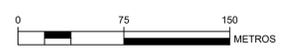
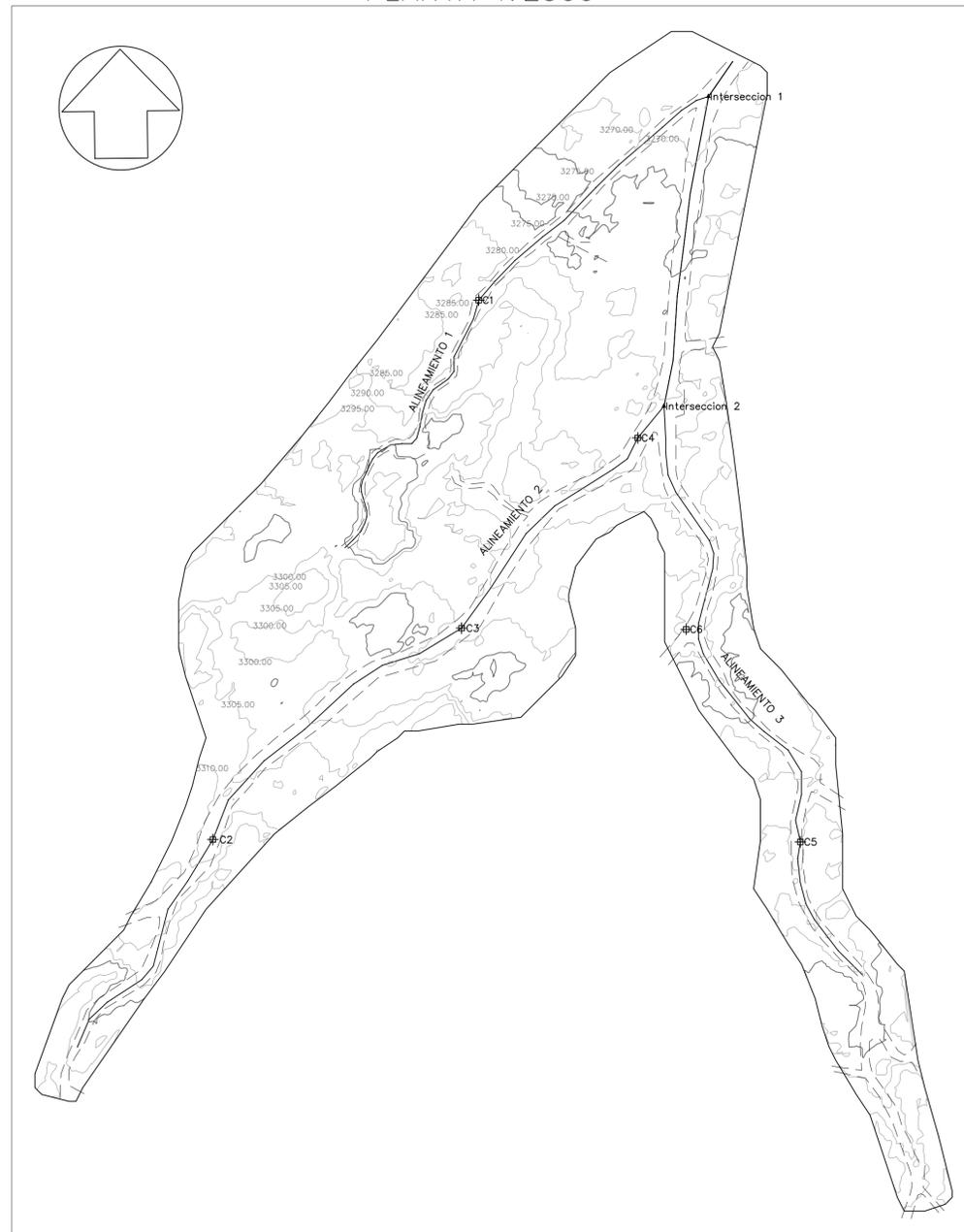
PERFIL LONGITUDINAL 2



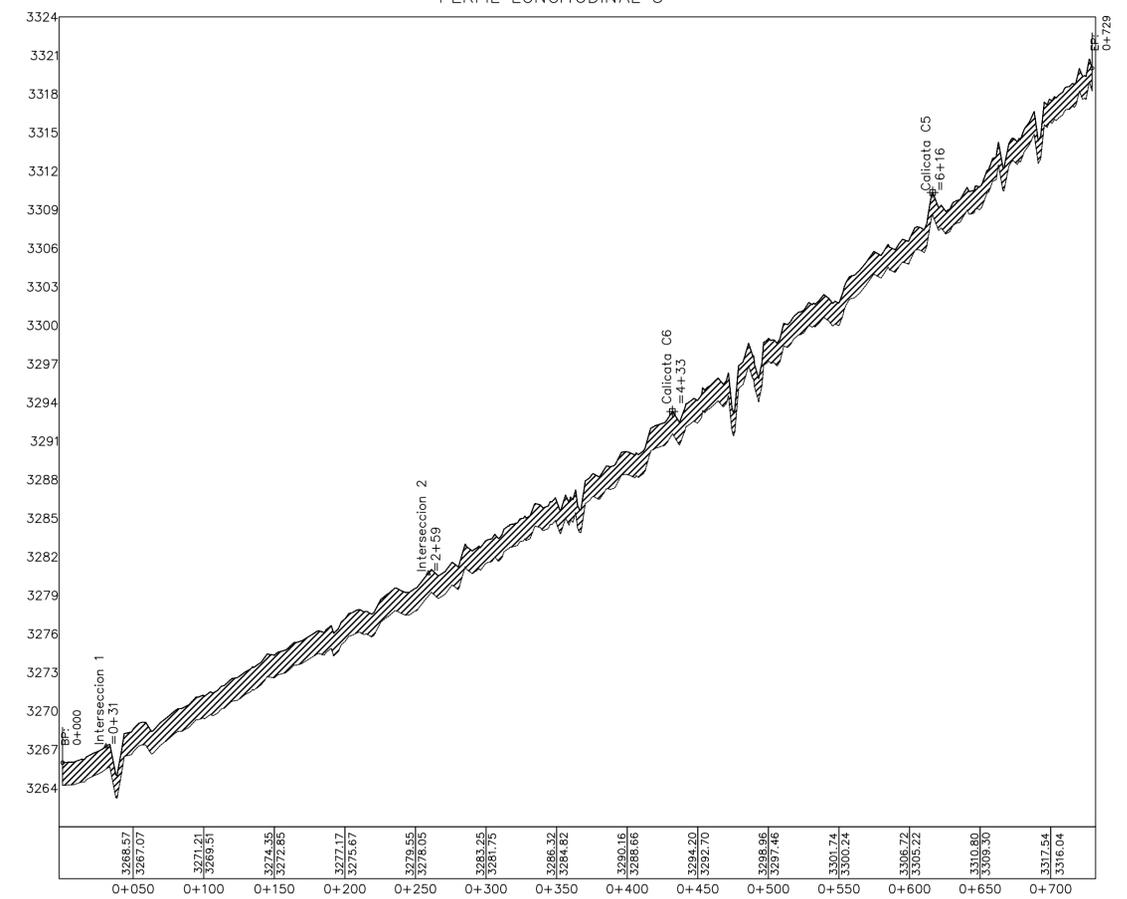
LEYENDA	
	ALINEAMIENTO
	CAMINO
	CALICATA
	INTERSECCION
	CURVA DE NIVEL MAYOR
	CURVA DE NIVEL MENOR
	CL
	CH

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>			
<b>TESIS:</b> "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"		Presentado por: <b>Bach. Sotelo E. Edgar Alexander</b> COD: N° 141121	
UBICACION	DISTRITO : SAN JERONIMO	PROVINCIA: CUSCO	DEPARTAMENTO: CUSCO
ESCALAS: 1:2500	FECHA: JULIO 2025	LAMINA <b>PU-02</b>	

PLANTA 1:2500



PERFIL LONGITUDINAL 3



LEYENDA

- ALINEAMIENTO
- - - CAMINO
- ⊕ CALICATA
- △ INTERSECCION
- ~ CURVA DE NIVEL MAYOR
- ~ CURVA DE NIVEL MENOR
- ▨ CL
- ▩ CH

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

TESIS: "MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO POLVO DE VIDRIO RECICLADO PARA SUB-RASANTE DE PAVIMENTOS DE LA ZONA LADRILLERA-CUSCO-2023"

Presentado por: **Bach. Sotelo E. Edgar Alexander**  
COD: N° 141121

UBICACION: DISTRITO: SAN JERONIMO PROVINCIA: CUSCO DEPARTAMENTO: CUSCO

ESCALAS: 1:2500 LAMINA: **PU-03** FECHA: JULIO 2025