

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE  
LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL  
SUELO DE SUBRASANTE**

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

**Presentado por:**

**Bach. YANGALI MONTALVAN, EDUARDO RAUL**

**Asesor:**

**Ing. FABIÁN BRAÑEZ, ALCIDES LUIS**

**Línea de Investigación Institucional:**

Transporte y Urbanismo

**Fecha de inicio y culminación:**

Mayo – Octubre, 2021

Huancayo – Perú Enero - 2022

---

Ing. Alcides Luis Fabián Brañez

**Asesor**

### **Dedicatoria**

- A Dios por concederme la dicha de vivir y la fortaleza para superarme.
- A mis padres por su amor, fortaleza y apoyo incondicional, ejemplos de valentía y motivo de superación.
- A mis hermanas y novia por siempre guiarme y apoyarme.

Eduardo Raúl Yangali Montalván.

## **Agradecimientos**

- A la Universidad Peruana Los Andes.

Eduardo Raúl Yangali Montalván.



## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera  
Presidente

---

Mg. Javier Reynoso Oscanoa.

---

Mg. Alejandro Benjamín García Ortiz.

---

Ing. Ernesto Willy García Poma.

---

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza.  
Secretario docente

## ÍNDICE

<b>Dedicatoria</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xvii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>20</b>
<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>20</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema</b>	<b>20</b>
<b>1.2. Formulación y sistematización del problema</b>	<b>22</b>
1.2.1. Problema general	22
1.2.2. Problemas específicos	23
<b>1.3. Justificación</b>	<b>23</b>
1.3.1. Práctica	23
1.3.2. Teórica	24
1.3.3. Metodológica	24
<b>1.4. Delimitación</b>	<b>25</b>
1.4.1. Espacial	25
1.4.2. Temporal	25
1.4.3. Económica	25
<b>1.5. Limitaciones</b>	<b>25</b>
1.5.1. Económica	25
1.5.2. Tecnológica	26
1.5.3. Información	26
<b>1.6. Objetivos</b>	<b>26</b>
1.6.1. Objetivo general	26
1.6.2. Objetivos específicos	26
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>28</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>28</b>
<b>2.1. Antecedentes</b>	<b>28</b>
2.1.1. Nacionales	28

2.1.2. Internacionales	32
<b>2.2. Marco conceptual</b>	<b>35</b>
2.2.1. Los suelos y su clasificación	35
2.2.2. Propiedades de los suelos	40
2.2.3. Estabilización de suelos	57
2.2.4. Sulfato de calcio	59
<b>2.3. Definición de términos</b>	<b>60</b>
2.3.1. Arcilla	60
2.3.2. Estabilización	61
2.3.3. Estabilización química	61
2.3.4. Subrasante	61
2.3.5. Variación volumétrica	61
2.3.6. Sulfato de calcio	62
2.3.7. Propiedades físicas	62
2.3.8. Equivalente de arena	62
2.3.9. Consistencia	62
2.3.10. Compactación	63
2.3.11. Capacidad de soporte	63
2.3.12. Propiedades mecánicas	63
<b>2.4. Hipótesis</b>	<b>64</b>
2.4.1. Hipótesis general	64
2.4.2. Hipótesis específicas	64
<b>2.5. Variables</b>	<b>64</b>
2.5.1. Definición conceptual de las variables	64
2.5.2. Definición operacional de las variables	65
2.5.3. Operacionalización de las variables	66
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>67</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>67</b>
<b>3.1. Método de investigación</b>	<b>67</b>
<b>3.2. Tipo de investigación</b>	<b>67</b>
<b>3.3. Nivel de investigación</b>	<b>68</b>
<b>3.4. Diseño de la investigación</b>	<b>68</b>
<b>3.5. Población y muestra</b>	<b>69</b>
3.5.1. Población	69

3.5.2. Muestra	69
<b>3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b>	<b>69</b>
3.6.1. Técnicas	69
3.6.2. Instrumentos	70
<b>3.7. Procedimiento de recolección de datos</b>	<b>70</b>
<b>3.8. Técnicas y análisis de datos</b>	<b>114</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>115</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>115</b>
<b>4.1. Descripción del trabajo</b>	<b>115</b>
<b>4.2. Propiedades físicas del suelo</b>	<b>116</b>
4.2.1. Límite líquido	116
4.2.2. Límite plástico	117
4.2.3. Índice de plasticidad	119
4.2.4. Variación del equivalente de arena	120
<b>4.3. Propiedades mecánicas del suelo</b>	<b>122</b>
4.3.1. Variación de la compactación del suelo	122
4.3.2. Variación de la capacidad de soporte del suelo	124
<b>4.4. Prueba de hipótesis</b>	<b>127</b>
4.4.1. Prueba de normalidad	127
4.4.2. Hipótesis específicas	129
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>141</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>141</b>
<b>5.1. Variación de la consistencia del suelo</b>	<b>141</b>
<b>5.2. Variación del equivalente de arena</b>	<b>143</b>
<b>5.3. Variación de la compactación del suelo</b>	<b>143</b>
<b>5.4. Variación de capacidad de soporte del suelo</b>	<b>145</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>146</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>148</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>149</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>152</b>
<b>Anexo N° 01: Matriz de consistencia</b>	<b>153</b>
<b>Anexo N° 02: Resumen de los datos de laboratorio</b>	<b>156</b>
<b>Anexo N° 03: Informe de laboratorio</b>	<b>159</b>
<b>Anexo N° 04: Certificados de calibración</b>	<b>192</b>

**Anexo N° 05: Ficha de toma de datos**

**205**

**Anexo N° 06: Panel fotográfico**

**207**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de suelos según la metodología SUCS.....	36
Tabla 2. Comparación de los sistemas de clasificación SUCS y AASTHO.....	36
Tabla 3. Tamaño de las partículas según el tipo de material. ....	41
Tabla 4. Clasificación del índice de plasticidad. ....	47
Tabla 5. Clasificación de la subrasante en función al CBR.....	53
Tabla 6. Clasificación del equivalente de arena. ....	57
Tabla 7. Operacionalización de las variables. ....	66
Tabla 8. Número de repeticiones de los ensayos para la investigación.....	69
Tabla 9: Dimensiones de tamices. ....	78
Tabla 10: Métodos de Compactación (Proctor modificado) .....	95
Tabla 11. Penetración .....	110
Tabla 12. Presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón.....	112
Tabla 13. Resumen de las propiedades del suelo patrón .....	116
Tabla 14. Variación del límite líquido en función del sulfato de calcio.....	116
Tabla 15. Variación del límite plástico en función del sulfato de calcio. ....	118
Tabla 16. Comportamiento del índice de plasticidad del suelo con adición de sulfato de calcio. ....	119
Tabla 17. Variación del equivalente de arena del suelo con adición de sulfato de calcio. ....	121
Tabla 18. Variación del óptimo contenido de humedad del suelo con adición de sulfato de calcio. ....	122
Tabla 19. Variación de la máxima densidad seca con la adición de sulfato de calcio.....	123
Tabla 20. Variación de la capacidad de soporte del suelo al 95 %MDS con la adición de sulfato de calcio. ....	125
Tabla 21. Variación de la capacidad de soporte del suelo al 100 %MDS con la adición de sulfato de calcio. ....	127
Tabla 22. Prueba de normalidad de los datos de laboratorio. ....	128
Tabla 23. Análisis ANOVA de la consistencia del suelo.....	130
Tabla 24. Comparación de grupos de la consistencia del suelo. ....	130
Tabla 25. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del límite líquido.....	131
Tabla 26. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del límite plástico.....	132

Tabla 27. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del índice de plasticidad. ....	132
Tabla 28. Análisis ANOVA de la consistencia del equivalente de arena. ....	133
Tabla 29. Comparación de grupos del equivalente de arena. ....	133
Tabla 30. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del equivalente de arena. ....	134
Tabla 31. Análisis ANOVA de la consistencia de la compactación. ....	135
Tabla 32. Comparación de grupos de los parámetros de la compactación. ....	136
Tabla 33. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del óptimo contenido de humedad. ....	137
Tabla 34. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento de la máxima densidad seca. ....	137
Tabla 35. Análisis ANOVA de la capacidad de soporte del suelo. ....	138
Tabla 36. Comparación de grupos de la capacidad de soporte del suelo. ....	139
Tabla 37. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento de la capacidad de soporte del suelo. ....	139
Tabla 38. Resumen de los datos de laboratorio. ....	157

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista de la calicata suelo arcilloso y de las condiciones de la pavimentación de la zona de estudio.....	22
Figura 2. Vista de un suelo arcilloso. ....	38
Figura 3. Fases del suelo.....	40
Figura 4. Tamices para el análisis granulométrico. ....	40
Figura 5. Contenido de humedad del suelo. ....	43
Figura 6. Límites de consistencia del suelo. ....	44
Figura 7. Copa de Casagrande para el análisis del límite líquido. ....	45
Figura 8. Curva del contenido de humedad y el número de golpes. ....	46
Figura 9. Elaboración del límite plástico.....	47
Figura 10. Curva de compactación obtenida con el ensayo Proctor. ....	48
Figura 11. Instrumentos para la elaboración del ensayo Proctor. ....	50
Figura 12. Características del instrumento para realizar el ensayo de CBR. ...	54
Figura 13. Ensayo de CBR.....	56
Figura 14. Práctica estándar para conservar y transportar muestras de suelo al Laboratorio según la norma ASTM D4220/D4220M-14.....	71
Figura 15. Práctica estándar para reducir muestras de agregado a tamaño para pruebas de Laboratorio en la norma ASTM C702/C702M-18. ....	72
Figura 16. Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa ASTM D2216-19 - NTP 339.127.....	77
Figura 17. Método de prueba estándar para la distribución del tamaño de partículas (gradación) de suelos usando análisis de tamiz de acuerdo con la norma NTP 339.128. ....	80
Figura 18. Método de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos de acuerdo con la norma NTP 339.129 - ASTM D4318-17e1.....	83
Figura 19. Método de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos de acuerdo con la norma NTP 339.129 - ASTM D4318-17e1.....	86
Figura 20. Método de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y áridos finos de acuerdo con la norma ASTM D 2419-14.....	94
Figura 21. Método de prueba estándar para las características de compactación del suelo en el laboratorio utilizando un esfuerzo modificado según la norma NTP 339.141- ASTM D1557-12e1.....	103



Figura 22. Método de prueba estándar para California Bearing Ratio (CBR) de suelos compactados en laboratorio con normativa ASTM D 1883.....	113
Figura 23. Mezcla del sulfato de calcio con el suelo patrón. ....	114
Figura 24. Vista de la extracción de muestras de la zona de estudio. ....	115
Figura 25. Comportamiento del límite líquido del suelo con adición de sulfato de calcio.....	117
Figura 26. Comportamiento del límite plástico del suelo con adición de sulfato de calcio.....	118
Figura 27. Comportamiento del índice de plasticidad del suelo con adición de sulfato de calcio. ....	120
Figura 28. Variación del equivalente de arena del suelo con adición de sulfato de calcio.....	121
Figura 29. Variación del óptimo contenido de humedad del suelo con adición de sulfato de calcio.....	123
Figura 30. Variación de la máxima densidad seca del suelo con adición de sulfato de calcio.....	124
Figura 31. Variación de la capacidad de soporte del suelo al 95 %MDS con la adición de sulfato de calcio. ....	126
Figura 32. Variación de la capacidad de soporte del suelo al 100 %MDS con la adición de sulfato de calcio. ....	127
Figura 33. Extracción de muestras de suelo. ....	208
Figura 34. Vista de la calicata. ....	208
Figura 35. Muestras de suelo en laboratorio.....	208
Figura 36. Tamizado de las muestras de suelos recolectados. ....	209
Figura 37. Ensayo de granulometría del suelo.....	209
Figura 38. Ensayo del límite líquido de suelo patrón.....	209
Figura 39. Ensayo del límite plástico de suelo patrón. ....	210
Figura 40. Compactación del suelo para la ejecución del ensayo Proctor. ....	210
Figura 41. Enrasado después de compactación del suelo patrón.....	210
Figura 42. Muestras de suelo patrón sumergidas para su posterior análisis en la máquina de compresión.....	211
Figura 43. Ensayo del equivalente de arena del suelo patrón. ....	211
Figura 44. Ensayo de CBR del suelo patrón. ....	211
Figura 45. Preparación de muestras de suelo más 6 % de sulfato de calcio. ....	212
Figura 46. Ensayo de límite líquido y plástico de suelo + 6% de sulfato de calcio.....	212

Figura 47. Preparación de la muestra de suelo+ 6% de sulfato de calcio, mediante el ensayo Proctor. ....	212
Figura 48. Muestras de suelo+ 6% de sulfato de calcio, sumergidas en agua para su análisis de CBR. ....	213
Figura 49. Ensayo de CBR para muestra de suelo+ 6% de sulfato de calcio. ....	213
Figura 50. Ensayo de equivalente de arena para muestra de suelo+ 6% de sulfato de calcio. ....	213
Figura 51. Preparación de muestras de suelo más 8 % de sulfato de calcio. ....	214
Figura 52. Ensayo de límite líquido y plástico de suelo + 8% de sulfato de calcio.....	214
Figura 53. Ensayo de equivalente de arena para muestra de suelo+ 8% de sulfato de calcio. ....	214
Figura 54. Preparación de la muestra de suelo+ 8% de sulfato de calcio, mediante el ensayo Proctor. ....	215
Figura 55. Muestras de suelo+ 8% de sulfato de calcio, sumergidas en agua para su análisis de CBR. ....	215
Figura 56. Ensayo de CBR para muestra de suelo+ 8% de sulfato de calcio. ....	215
Figura 57. Preparación de muestras de suelo más 10 % de sulfato de calcio. ....	216
Figura 58. Ensayo de límite líquido y plástico de suelo + 10% de sulfato de calcio.....	216
Figura 59. Ensayo de equivalente de arena para muestra de suelo+ 10% de sulfato de calcio. ....	216
Figura 60. Preparación de la muestra de suelo+ 10% de sulfato de calcio, mediante el ensayo Proctor. ....	217
Figura 61. Muestras de suelo+ 10% de sulfato de calcio, sumergidas en agua para su análisis de CBR. ....	217
Figura 62. Ensayo de CBR para muestra de suelo+ 10% de sulfato de calcio.....	217
Figura 63. Preparación de muestras de suelo más 12 % de sulfato de calcio. ....	218
Figura 64. Ensayo de límite líquido y plástico de suelo + 12% de sulfato de calcio.....	218
Figura 65. Ensayo de equivalente de arena para muestra de suelo+ 12% de sulfato de calcio. ....	218
Figura 66. Preparación de la muestra de suelo+ 12 % de sulfato de calcio, mediante el ensayo Proctor. ....	219

Figura 67. Muestras de suelo+ 12% de sulfato de calcio, sumergidas en agua para su análisis de CBR. ....	219
Figura 68. Ensayo de CBR para muestra de suelo+ 12% de sulfato de calcio.....	219

## RESUMEN

En el desarrollo de esta investigación el problema general fue: ¿Cuál es el resultado de la adición del sulfato de calcio en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante?, mientras que el objetivo general fue: Evaluar el resultado de la adición del sulfato de calcio en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante; y así contrastar la hipótesis que fue: El sulfato de calcio mejora los valores de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante.

El método de investigación fue el científico, del tipo aplicado, con un nivel explicativo y un diseño experimental. La muestra considerada fue el suelo de subrasante de la Avenida 9 de diciembre entre el Jirón Túpac Amaru y el Jr. Los Incas en la provincia de Huancayo del departamento de Junín, mientras que la muestra de acuerdo al método no probabilístico correspondió a un aproximado de 360 kg de suelo de subrasante extraído a 1.50 m de la subrasante.

Como principal conclusión se ha podido establecer que el sulfato de calcio puede mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso de baja plasticidad, para lo cual se recomienda una concentración máxima de 10 %.

Palabras Clave: **Sulfato de calcio, subrasante, propiedades físicas, propiedades mecánicas.**

## **ABSTRACT**

In the development of this research, the general problem was: What is the result of the addition of calcium sulfate in the improvement of the physical and mechanical properties of the subgrade soil, while the general objective was: To evaluate the result of the addition of calcium sulfate in the improvement of the physical and mechanical properties of the subgrade soil; and thus contrast the hypothesis that was: Calcium sulfate improves the values of the physical and mechanical properties of the subgrade soil.

The research method was scientific, of the applied type, with an explanatory level and an experimental design. The sample considered was the subgrade soil of Avenida 9 de Diciembre between Jirón Túpac Amaru and Jr. Los Incas in the province of Huancayo in the department of Junín, while the sample according to the non-probabilistic method corresponded to an approximate of 360 kg of subgrade soil extracted at 1.50 m from the subgrade.

The main conclusion was that calcium sulfate can improve the physical and mechanical properties of clayey soil of low plasticity, for which a maximum concentration of 10% is recommended.

Key words: **Calcium sulfate, subgrade, physical properties, mechanical properties.**

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación denominada “Sulfato de calcio para el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante” surge de la problemática basada en las deficientes propiedades de los suelos arcillosos, pues es muy común en el Perú al momento de realizar la construcción de vías en este tipo de suelos, las carreteras presenten fallas y baches que perjudican la transitabilidad de los vehículos.

Con los resultados se ha establecido la eficacia del sulfato de calcio para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos, para que así pueda ser aplicado para subrasante de carreteras. Aunque en este afán lo cierto es que, este material no logra otorgar la resistencia mínima que la norma exige, pero si es un excelente reductor de la plasticidad del suelo; por lo que junto a otros materiales complementarios como la escoria o el cemento pueden ser un óptimo tratamiento para estabilizar subrasantes.

Si bien algunos estudios mencionan la importancia o factibilidad del uso del sulfato de calcio en los suelos arcillosos para mejorar su capacidad portante o de soporte; es mediante esta investigación que se ha logrado establecer fehacientemente su importancia para mejorar las propiedades físicas; especialmente en el índice de plasticidad.

Para una mejor comprensión, la presente investigación se ha dividido en los siguientes capítulos:

**Capítulo I:** PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN, donde se considera el planteamiento del problema, la formulación y sistematización del problema, la

justificación, las delimitaciones de la investigación, limitaciones y los objetivos tanto general como específicos.

**Capítulo II: MARCO TEÓRICO**, contiene las antecedentes internacionales y nacionales de la investigación, el marco conceptual, la definición de términos, las hipótesis y variables.

**Capítulo III: METODOLOGÍA**, consigna el método de investigación, tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de investigación, la población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de información, el procesamiento de la información y las técnicas y análisis de datos.

**Capítulo IV: RESULTADOS**, desarrollado en base a los problemas, objetivos y las hipótesis.

**Capítulo V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS**, en el cual se realiza la discusión de los resultados obtenidos en la investigación.

Por último, se presenta las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Bach. Yangali Montalvan, Eduardo Raul.

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Según Ramos y Lozano (2019), “el funcionamiento y duración de una vía está muy ligada al tipo de suelo sobre la cual se está construyendo; pues el principal problema en las carreteras es la deficiente propiedad de estos suelos.”

Asegurar la transitabilidad de un vía resulta un factor muy importante para un país, pues según Fiallos (2016), “son el principal eje de comunicación entre comunidades para generar un desarrollo político, social y por supuesto económico.”

“En países como Ecuador, la construcción de vías nacionales, departamentales y locales ha generado progreso” (Fiallos, 2016), es por ello la importancia de su mantenimiento y especialmente que, estas se construyan sobre fundaciones que puedan asegurar durabilidad. Sin embargo, debido a la falta de materiales de cantera cerca de las zonas de



trabajo es necesario buscar nuevas alternativas con las que se pueda estabilizar las propiedades del suelo.

En Perú un aspecto importante es que, las deficientes propiedades del suelo van ligado con su clasificación, pues en muchas de sus regiones (debido a la diversidad geográfica) tienen una alta presencia de suelos finos (limosos y arcillosos). Además, Guerrero (2019), “menciona que estos materiales debido a su naturaleza sufren cambios volumétricos en función a su contenido de humedad, perjudicando así a todas las capas del pavimento.”

Es importante mencionar que según Villar y Oblitas (2020) “cerca del 87 % de las vías departamentales del Perú aún se encuentran sin pavimentar, lo cual hace referencia de la gran vulnerabilidad de estas, pues al no tener un adecuado proceso de estabilización podrían presentar a corto plazo fallas y baches, que obviamente generarán malestar en los peatones y transportistas.”

A nivel local, en lugares como el distrito de Chilca en la provincia de Huancayo – Junín, especialmente en la Avenida 9 de Diciembre (entre los jirones Túpac Amaru y Los Incas), la zona de estudio tiene suelos muy arcillosos de alta plasticidad con capacidad portante baja con valores menores al 3% clasificándolos según el Manual de Carreteras del MTC como suelos con subrasante inadecuada, el manual también señala que el valor mínimo de CBR para subrasante es del 6 %. Es por ello que, ante tal problemática, se debe buscar alternativas que logren mejorar la calidad de estos suelos, por lo tanto, en esta investigación se utilizara el sulfato de

calcio. Fiallos (2016) “quien propone la alternativa del uso del sulfato de calcio como un estabilizador, pues es un material que es de fácil acceso en muchos países.” Es más barato que otros materiales como el cemento, pues solo un kilogramo puede costar entre los cincuenta y los setenta céntimos; además que su principal función como estabilizador recaen en disminuir la contracción del suelo e incrementar la resistencia mecánica. Sin embargo, hasta la actualidad no existe una dosificación precisa para suelos finos; razón por la cual, esta investigación la propone como principal Formulación y sistematización del problema.



Figura 1. Vista de la calicata suelo arcilloso y de las condiciones de la pavimentación de la zona de estudio.

## 1.2. Formulación y sistematización del problema

### 1.2.1. Problema general

¿Cuál es el resultado de la adición del sulfato de calcio en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante?

### **1.2.2. Problemas específicos**

1. ¿Cuáles son los resultados de la influencia de la adición de sulfato de calcio en la consistencia del suelo de subrasante?
2. ¿De qué manera el sulfato de calcio actúa en el equivalente de arena del suelo de subrasante?
3. ¿Cuáles son los resultados de la incidencia del sulfato de calcio en la compactación del suelo de subrasante?
4. ¿Qué resultado se obtiene con la adición del sulfato de calcio en la capacidad de soporte del suelo de subrasante?

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Práctica**

“En cuanto a la justificación práctica de esta investigación existirá cuando esta ayude a resolver problemas de la ingeniería de transportes, mejorar la transitabilidad, reducir costos, incrementar la capacidad de soporte, reducir la plasticidad, entre otros” (Ccanto,2010). En ese sentido, la presente investigación corresponderá al planteamiento de una solución para el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante de la Avenida 9 de Diciembre entre el Jirón Túpac Amaru y el Jr. Los Incas, en la provincia de Huancayo del departamento de Junín; con lo cual se verían beneficiados los usuarios de tal vía.

### **1.3.2. Teórica**

“En cuanto a la justificación teórica de esta investigación señala; la justificación teórica se presenta cuando esta contribuye nuevo conocimiento científico, ampliar conocimientos, reflexionar frente a conocimientos existentes, proponer nuevos paradigmas, etc” (Ccanto,2010). En ese sentido, la presente investigación contribuye con información principalmente en la formulación y creación de nuevos conocimientos, basados principalmente en la aplicación del sulfato de calcio para el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, el cual servirá para ser usado en la estabilización de suelos arcillosos de baja capacidad portante.

### **1.3.3. Metodológica**

“En cuanto a la justificación metodológica de esta investigación señala; la justificación metodológica existe cuando esta aporta nuevos métodos de análisis, nuevas tecnologías, nuevos conceptos y manuales de procedimiento, entre otros” (Ccanto,2010). En ese sentido, la presente investigación recaerá en que servirá de base para futuras investigaciones relacionadas a la estabilización de suelos con sulfato de calcio, así mismo los métodos de análisis y procedimientos para alcanzar la estabilización de suelos, de ser el caso para su aplicación en distintos lugares que presenten el mismo tipo de suelo que se considera en este estudio.

## **1.4. Delimitación**

### **1.4.1. Espacial**

Para el desarrollo de esta investigación se optó por extraer suelo de la Avenida 9 de Diciembre entre el Jirón Túpac Amaru y el Jr. Los Incas, en la provincia de Huancayo del departamento de Junín; no obstante, este fue evaluado a nivel de laboratorio.

### **1.4.2. Temporal**

La presente investigación se realizó en un aproximado de seis meses, desde el mes de mayo a octubre de 2021.

### **1.4.3. Económica**

Para el desarrollo de esta investigación, la inversión económica fue asumido en su totalidad por el investigador; sin incidencia de empresas fabricantes de sulfato de calcio o instituciones que tengan relación con la producción de este material.

## **1.5. Limitaciones**

Entre las principales limitaciones para el desarrollo de esta investigación se consideraron las siguientes:

### **1.5.1. Económica**

Debido a que no pudo establecerse tramos de prueba con los valores óptimos determinados en laboratorio; puesto implica el alquiler de maquinarias pesadas y especialmente la disponibilidad de un tramo de carretera.

Complementariamente, el aspecto que ha afectado a la población mundial debido al COVID – 2019, perjudicó el desarrollo de esta investigación pues puso parámetros restrictivos de movilidad y disponibilidad de personal, lo cual incrementó los costos de obtención del material necesarios para el desarrollo de esta investigación.

### **1.5.2. Tecnológica**

Debido en que la ciudad de Huancayo, no cuenta con ensayos muy aplicados en países como Estado unidos, como el ensayo de mini Proctor, o la compactación in situ.

### **1.5.3. Información**

Debido a que no existe información respecto al uso del sulfato de calcio en el suelo, especialmente respecto a las propiedades físicas.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Evaluar el resultado de la adición del sulfato de calcio en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

1. Analizar qué resultado produce la adición de sulfato de calcio en la consistencia del suelo de subrasante.

2. Determinar de qué manera el sulfato de calcio actúa en el equivalente de arena del suelo de subrasante.
3. Indicar cuales son los resultados de la adición de sulfato de calcio en la compactación del suelo de subrasante.
4. Evaluar qué resultado se obtiene con la adición del sulfato de calcio en la capacidad de soporte del suelo de subrasante.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Nacionales

Villar y Oblitas (2020) en su tesis “Mejoramiento de la superficie de rodadura afirmada con aplicación de cloruro de calcio en la avenida Pradera, urbanización la Pradera – Pimentel – Chiclayo – Lambayeque”, consideraron como **problema general**: “¿Cuál será la influencia de la aplicación del cloruro de calcio en el mejoramiento de la superficie de rodadura afirmada de la avenida Pradera – urbanización La Pradera - Pimentel - Chiclayo – Lambayeque?”; por lo que plantearon como **principal objetivo**: “Establecer la influencia de utilizar el cloruro de calcio para mejorar la superficie de rodadura de la avenida Pradera – urbanización la Pradera”; y una **hipótesis general**: “La aplicación del cloruro de calcio influye favorablemente en el mejoramiento de la superficie de rodadura afirmada de la avenida Pradera – urbanización La Pradera - Pimentel - Chiclayo –



Lambayeque.” En este sentido, consideró una investigación con una **metodología** “Aplicada con un diseño experimental basada en la ejecución de ensayos de laboratorio que consistió en determinar la granulometría del suelo, el contenido de humedad, el límite líquido, el índice de plasticidad, el ensayo de Proctor modificado y el índice de CBR. Extrajo material de dos calicatas a una profundidad de 1.50 m, a los cuales los denominaron como suelo patrón; posteriormente, a este suelo añadieron cloruro de calcio en porcentajes del 2 % y 3 % respecto a la masa seca del suelo patrón.” Como **resultados** “Determinaron que las propiedades físicas del suelo mejoran al adicionar 3 % de cloruro de calcio, pues la densidad del suelo se incrementa de 2.147 g/cm<sup>3</sup> a 2.164 g/cm<sup>3</sup> en la calicata N° 02. Con respecto a las propiedades mecánicas, la aplicación del cloruro de calcio en una proporción del 3 % incrementó el valor del CBR de 42.3 % a 59.2 % y de 40.3 % a 56.6 % en las calicatas C-01 y C-02 respectivamente”; **concluyendo** finalmente “Que si existen una incidencia significativa del uso del material estudiado en las propiedades del suelo.”

Guerrero (2019) en su tesis “Capacidad portante de suelo cohesivo estabilizado con cal y sulfato de calcio en 10 %, 15 % y 25 %”, tuvo como **problema general** la siguiente pregunta: “¿Cómo varía la Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo Estabilizado con Cal y Sulfato de Calcio al 10%, 15% y 25%?”, por lo que planteó como **objetivo general**: “Establecer el valor de la capacidad portante de un suelo cohesivo adicionando cal y sulfato de calcio”; para lo cual

analizó suelos de tres canteras conocidas con el nombre de Shultín, El guitarrero y Shudal; por lo que consideró como **hipótesis general**: “La Capacidad Portante de un Suelo Cohesivo Estabilizado con Cal y Sulfato de Calcio al 10%, 15% y 25% aumenta en más de 5%.” En tal sentido consideró como **metodología** “Una investigación experimental basada en ensayos de laboratorio con el fin de determinar las principales propiedades como: la granulometría y los límites de Atterberg; esto con el fin de poder clasificar mediante la metodología SUCS los suelos extraídos. Con los suelos en laboratorio, procedió a la mezcla con cal y sulfato de calcio en proporciones de 10 %, 15 % y 25 %.” Como **resultados** principales obtuvo “Que los suelos extraídos fueron del tipo CL (arcillas inorgánicas), ML (limos inorgánicos) y MH (Limos inorgánicos); además que la menor densidad seca máxima para el suelo patrón fue de 1.654 g/cm<sup>3</sup> que pertenece al suelo de la cantera Shudal; mientras que al adicionar sulfato en las concentraciones descritas su valor se incrementa a 1.557 g/cm<sup>3</sup>, 1.545 g/cm<sup>3</sup> y 1.527 g/cm<sup>3</sup>, mientras que al adicionar cal este valor varía a 1.559 g/cm<sup>3</sup>, 1.560 g/cm<sup>3</sup> y 1.561 g/cm<sup>3</sup>. Con respecto al valor del CBR obtuvo que la muestra patrón es de 2.70; y con 10 %, 15 % y 25 % de sulfato de calcio se incrementa a 7, 4.10 y 4 respectivamente; además que, con la cal en las mismas concentraciones su valor aumenta a 11.20, 10.80 y 10.60 respectivamente”; **concluyendo** finalmente “Que las propiedades del suelo se incrementan después de la adición del 5 % del material estudiado, es decir, cal o sulfato de calcio.”

Machco (2019) “en su investigación “Aplicación de cal para mejorar las estabilidad de subrasante en la Calle Luna Pizarro A.H. Cueva de los tallos, Ventanilla, 2019”, tuvo como **problema general**: “¿De qué manera la aplicación de cal mejora la estabilidad de la subrasante en la Calle Luna Pizarro A. H. cueva de los tallos – distrito de Ventanilla 2019?”, por lo que planteó como principal **objetivo**: “Buscar una alternativa para mejorar las propiedades mecánicas del suelo utilizando cal”, pues es menester de los investigadores establecer la utilidad de nuevos materiales, e **hipótesis general**: “La aplicación de cal mejora la estabilidad de la subrasante en la Calle Luna Pizarro A. H. cueva de los tallos – distrito de Ventanilla 2019”; es por ello que, para cumplir el objetivo mencionado consideró una **metodología** “Basada en una investigación del tipo aplicada con un diseño de investigación experimental que consistió en la extracción de muestras de suelo de la calle Luna Pizarro mediante calicatas. Posterior a la extracción de las muestras, estas fueron analizadas en laboratorio, donde determinó propiedades como: el contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y el índice de CBR; además a ello, consideró la creación de grupos conformados por la mezcla del suelo patrón con concentraciones de cal en proporciones del 12 %, 14 % y 16 %.” Como **resultados** de la investigación “Obtuvo que el suelo analizado se clasificó como un tipo SM; mientras que las adiciones de cal en los porcentajes mencionados, incrementan el contenido de humedad. Por otro lado, y el índice de CBR se incrementa a medida que se aumenta la cantidad

de cal en el suelo”; **concluyendo** finalmente “Que la adición de cal en el suelo no representa un incremento significativo de las propiedades del suelo debido a que es un material gravoso.”

### 2.1.2. Internacionales

Singh y Singh (2021) en su artículo denominado “Estabilización de suelos arcillosos usando residuos de yesos de París y cenizas de cascara de maní”, plantearon como **problema general**: “¿Cómo los residuos de yeso y ceniza de cascara modifican las propiedades de los suelos arcillosos?”, por lo que tuvieron como principal **objetivo**: “Analizar la estabilización de los suelos arcillosos mezclado con residuos de yeso y cenizas de cáscara de maní”; para ello consideró una **metodología** “Experimental basada en la aplicación de dos ensayos: La resistencia a la compresión inconfiada y el California Bearing Ratio (CBR). Para determinar el porcentaje óptimo de la cantidad de residuo de yeso y la ceniza de cáscara de maní, primero realizó los ensayos de resistencia a la compresión inconfiada (en un periodo de 28 días) y CBR del suelo natural y, posteriormente con sustituciones de este en 3 %, 6 %, 9 %, 12 %, 15 % y 18 %. Con el mejor valor de resistencia obtenido, realizó los ensayos de CBR y UCS más una adición de 3 %, 6 %, 9 %, 12 %, 15 % y 18 % de ceniza de la cáscara de maní”. Como **resultados** “Obtuvo que el óptimo porcentaje de residuos de yeso fue del 18 %, pues la resistencia a la compresión inconfiada alcanzó un valor de 2.84 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que al adicionar la ceniza de cascara de maní, el mejor

comportamiento del CBR se logró con un 6 %, incrementándose este valor de 3.8 % a 11.52 %.” Finalmente **concluyeron** que, “Sí existe una incidencia del uso de los residuos de yeso y las cenizas de la cáscara de maní en la resistencia de los suelos arcillosos, siendo la mejor dosificación un valor de 76 % de suelo patrón, 18 % de residuos de yeso y un 6 % de ceniza.”

Ramos y Lozano (2019) en su tesis “Estabilización de suelos mediante aditivos alternativos”, consideraron como **problema general**: “¿Cómo varían las propiedades físico – mecánicas de un suelo para subrasante al adicionar ceniza de carbón y cal?”; por lo cual consideró como **objetivo general**: “Determinar comparativamente la incidencia de la cal y las cenizas volantes en las propiedades de los suelos arcillosos como el Caolín”, para que este pueda ser utilizado como una capa más del pavimento; para cumplir con su objetivo consideró una **metodología** en la que “Determinó en primera instancia las propiedades mecánicas del suelo patrón; posteriormente adicionó los materiales mencionados en proporciones del 10 %, 20 % y 40 % respecto del peso; para finalmente medir en laboratorio la resistencia a la compresión y resistencia al corte mediante los ensayos de compresión inconfiada y el de corte directo, respectivamente. Sin embargo, es importante mencionar que también determinó ciertas propiedades físicas del suelo como la granulometría, el límite líquido, el límite plástico, la gravedad específica y el pH de los suelos.” Como **resultados** “Pudo determinar que, con respecto a la cal, la mejor dosificación fue del 90 % de suelo

+ 10 % de cal, pues logró un mayor esfuerzo al corte, mientras que, para las cenizas, el mejor comportamiento fue la dosificación del 60 % de suelo + 40 % de ceniza. Como **conclusión** principal “Pudo establecer que, debido al alto costo de la cal, el elemento recomendado para la estabilización de suelos arcillosos es la ceniza, pues a pesar de necesitar mayor cantidad, su costo es menor en comparación a la cal.”

Fiallos (2016) en su tesis “Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso)”, tuvo como **problema general**: “¿Cuál es la variación de las propiedades del suelo arcilloso estabilizado con Cal, Cloruro de calcio y sulfato de calcio?”; Para ello consideró como principal **objetivo**: “Comparar la capacidad de estabilización de la cal, cloruro de calcio y el sulfato de calcio a un suelo arcilloso.” En este sentido, como parte de la **metodología** “Obtuvo muestras de suelo mediante calicatas en la ciudad del Puyo; asimismo realizó el ensayo de cono y arena de Ottawa según las especificaciones en la norma AASHTO T-205, ASTM D-2167 y los ensayos de penetración por el cono estático y dinámico en función a lo recomendado por la norma AASHTO – T49 – 93. Después de la extracción, los ensayos a la muestra patrón fueron: la granulometría y los límites de Atterberg, esto con el fin de poder clasificar mediante la metodología SUCS el suelo extraído; posteriormente realizó el ensayo de Proctor para determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, y así finalmente determinar el valor del CBR.

Una vez establecidas las propiedades del suelo obtenido in situ, procedió a mezclar la cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio en proporciones separadas del 5 %, 10 % y 15 %. Los testigos creados estuvieron en un proceso de curado durante 7, 14 y 21 días; para finalmente realizar el ensayo a compresión.” Como principales **resultados** “Obtuvo que, el suelo tuvo una densidad de campo de  $1.13 \text{ g/cm}^3$  y una humedad de 191.07 %; además que la estabilización de la arcilla - cal en porcentajes del 5 % y 10 % mejoran las propiedades del suelo; mientras que, el suelo arcilla – yeso (sulfato de calcio) obtiene un incremento de la resistencia a los 21 días en concentraciones de 10 % y 15 %; esto ocurre de manera similar en el cloruro de calcio.” Como **conclusión** final estableció que, “Si bien los elementos utilizados incrementan las propiedades del suelo, solo la cal puede ser utilizado como un material de estabilización, pues los otros elementos utilizados no cumplen las especificaciones técnicas que las normas exigen.”

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Los suelos y su clasificación**

El suelo se puede comprender como aquella capa de tamaño variable y que se ubica en la corteza del planeta. Su composición es variada y es originada por la meteorización de las grandes rocas madre (Villar y Oblitas, 2020).

Es muy importante determinar y conocer las propiedades del suelo, pues con ellos se pueden realizar diseños de manera adecuada

que no perjudiquen a las estructuras que se construyen sobre ella. En este contexto, la importancia para poder identificarlo es fundamental y en la actualidad se puede utilizar dos sistemas de clasificación conocidos como SUCS y AASTHO (Villar y Oblitas, 2020).

Según lo establecido por el MTC (2014), la clasificación SUCS tiene dentro de su clasificación los siguientes prefijos que facilitan su interpretación:

Tabla 1. Clasificación de suelos según la metodología SUCS.

Tipo de suelo	Prefijo	Tipo de suelo	Prefijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Fuente: MTC (2014).

Es conocido que, el sistema mencionado tiene mayor aplicabilidad cuando se trata de diseñar edificaciones que tienen cimentaciones como zapatas, plateas o zapatas combinadas; por lo que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha establecido como recomendación otro sistema con mayor aplicabilidad a las vías. Es por lo mencionado que la norma actual en el Perú establece una relación entre estos sistemas con mayor uso, tal como se muestra:

Tabla 2. Comparación de los sistemas de clasificación SUCS y AASTHO.

Clasificación AASTHO	Clasificación SUCS
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: MTC (2014).



## **Suelos arcillosos o finos**

Los suelos arcillosos se originan debido a la desintegración de rocas de grandes tamaños, la cuales tiene como origen el interior del planeta y que de manera general posee en su composición silicatos. Esto regula su comportamiento que lo caracteriza, pues posee una gran composición mineralógica” (Guerrero, 2019).

Una de las principales características de las arcillas es su gran superficie específica, la cual le da cuenta la capacidad de retención de agua; esto genera fluctuaciones en el volumen, debido a que se contraen y expanden a medida que se pierda y recupere agua en su composición (Guerrero, 2019).

Las principales características de las arcillas se deben gracias a que en su composición existen silicatos de aluminio, esto hace que el material sea pegajoso cuando tiene contacto con elementos líquidos como el agua, sin embargo, al secarse presentan una textura suave al tacto. El tamaño de las partículas de las arcillas es de 0.005 mm, esto también contribuye a su contextura plástica (Guerrero, 2019).

Las arcillas poseen la principal característica de ser impermeable pues logra retener el paso del agua y hasta el aire, por lo que es fácil establecer zonas de estancamiento de agua, para lo cual es necesario la construcción de drenes que ayuden a aliviar la carga de agua en el lugar de estancamiento (Guerrero, 2019).



Figura 2. Vista de un suelo arcilloso.  
Fuente: Guerrero (2019).

### **Suelos granulares**

Cuadros (2017) menciona que los suelos granulares son materiales que como principal característica es no poseer cohesión, ya que sus componentes son partículas muy grandes, generando grandes espacios de aire y que impide la cohesión; sin embargo, esto es compensado con las altas resistencias y la permeabilidad. Generalmente, los materiales granulares pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- Gravas

Las gravas son proporciones más pequeñas que una roca madre, la cual ha sido desintegrada debido a fenómenos atmosférico como la lluvia, el viento u otros factores. Se considera como gravas a aquellas partículas con tamaños superiores a los 2 mm, esto según lo establecido en la clasificación SUCS (Cuadros, 2017).

Una característica importante de estos materiales es que su ubicación está generalmente en los ríos, canteras de montaña o en lugares en que la roca madre sufre fragmentaciones; siendo además

otra de sus propiedades ser materiales de fácil fraccionamiento, lo cual hace que las partículas sean desgastadas (Cuadros, 2017).

- Arena

Las arenas son aquellos elementos que dentro de su composición existen granos finos, los cuales son generados debido al gran desgaste de las rocas mediante medios mecánicos. El tamaño de estos materiales se encuentra en un rango de 2 mm a 0.05 mm, y al igual que las gravas, la cohesión es nula (Cuadros, 2017).

La ubicación de este material es comúnmente en las orillas de los ríos o en el mar, pero que tienen como desventaja la presencia de impureza los cuales modifican su comportamiento real. A diferencia de los suelos arcillosos, las arenas no poseen propiedades plásticas, por lo que no son resistentes a la aplicación de cargas de compresión (Cuadros, 2017).

### **Composición del suelo**

La composición del suelo está conformada por tres fases conocidas como la sólida, la líquida y la gaseosa. En la fase sólida existen partículas de la roca madre y de minarles, los cuales definen su textura. En la fase líquida, el elemento que tiene mayor prevalencia es el agua; mientras que en la última fase lo es el aire. La unión de estas fases forman el volumen total del suelo, lo cual da cabida al análisis de propiedades como la porosidad, el peso específico, entre otras; mediante las cuales se pueden relacionar las tres fases mencionadas (Fiallos, 2016).

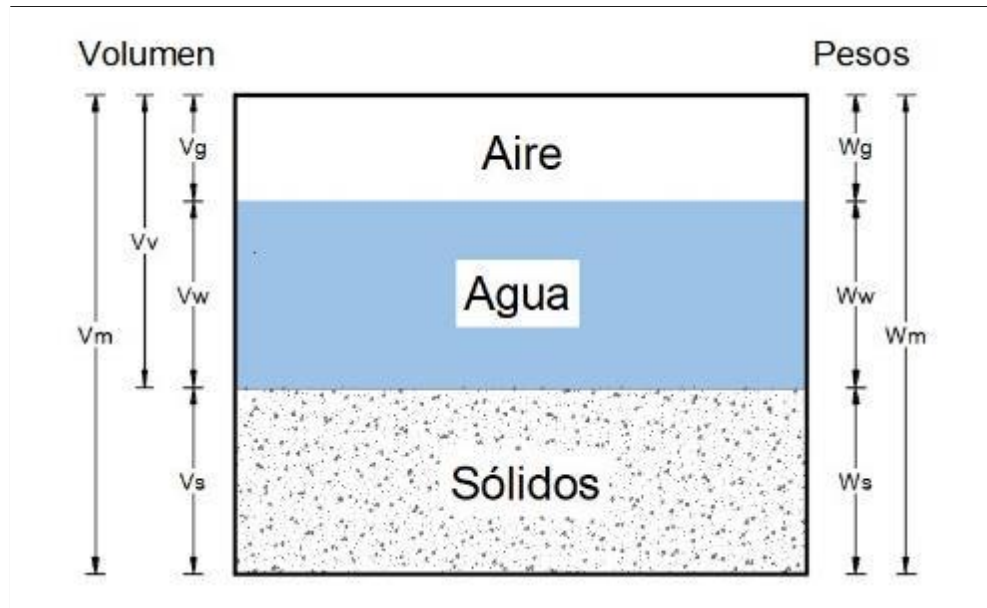


Figura 3. Fases del suelo.  
Fuente: Elaboración Propia.

## 2.2.2. Propiedades de los suelos

### Análisis granulométrico

Villar y Oblitas (2020) explica que el ensayo de granulometría tiene como fin establecer una gradación de las partículas del suelo, para ello es necesario el uso de instrumentos como los tamices o zarandas, cuyos ejemplos se muestran en la siguiente figura.



Figura 4. Tamices para el análisis granulométrico.  
Fuente: Villar y Oblitas (2020).

Con la ayuda de estos instrumentos, los suelos pueden clasificarse en diferentes rangos de tamaño, el cual se describe en la siguiente tabla:

Tabla 3. Tamaño de las partículas según el tipo de material.

Tipo de material		Tamaño de las partículas
	Grava	75 mm - 4.75 mm
Arena	Arena gruesa	4.75 mm - 2.00 mm
	Arena media	2.00 mm - 0.425 mm
	Arena fina	0.425 mm - 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	menor a 0.005 mm

Fuente: Fuente: MTC (2014).

El desarrollo del ensayo de granulometría está determinado por la norma MTC E 107, la cual tiene como principal referencia lo establecido con la norma ASTM D 422 (MTC, 2016).

Los tamices deben componer una secuencia de mallas estandarizadas por las normativas mencionadas, las cuales deben de seguir el siguiente orden: 3", 1 ½", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N° 50, N° 100 y N° 200 (MTC, 2016).

### **Contenido de humedad**

Es una de las propiedades del suelo con la cual se puede establecer la cantidad de agua que posee el suelo, las cuales están en función de aspecto como las condiciones climáticas. El valor de esta propiedad es muy delicado, pues es muy sensible al cambio de temperatura; es por ello que para la extracción y determinación de esta propiedad es necesario parafinar las muestras de suelo que se extraigan (Villar y Oblitas, 2020).

Para el MTC (2016), el valor de la humedad se puede calcular siguiendo las recomendaciones de la norma MTC E 108 o en la norma NTP 339.129, donde se establecen con claridad los procedimientos y materiales para su desarrollo; dichos instrumentos necesarios son:

- “Horno con temperaturas de aproximadamente 110 °C.”
- “Balanzas.”
- “Materiales de manipulación.”

Para la determinación del contenido de humedad del suelo se necesita una cantidad mínima de 20 g de suelo, este debe pesarse y ser puesta en un horno; posteriormente se saca la muestra de suelo con el fin de realizar las mediciones una vez seca la muestra (MTC, 2016).

Esta propiedad es muy importante debido a que es un indicador de la cantidad de agua necesaria para la compactación, la cual es determinada con el ensayo Proctor; definiendo de esta manera que, si el óptimo contenido de humedad es mayor a la humedad natural se deberá secar el suelo antes de su compactación, pero si se da el caso contrario, se deberá compactar el suelo solo con el excedente de agua (MTC, 2016).



Figura 5. Contenido de humedad del suelo.  
Fuente: Villar y Oblitas (2020).

### **Plasticidad de los suelos**

La plasticidad de los suelos es un indicador indirecto de la capacidad de soporte a las deformaciones, antes de que este material pueda agrietarse. Por lo general los suelos plásticos son cohesivos y arcillosos y su clasificación se da en función de los límites de Atterberg (Machco, 2019).

### **Estados de consistencia**

Los estados de consistencia son aquellas fases del suelo afectado por la cantidad de agua en su composición; si esta cantidad de agua se incrementa, el suelo pasa a tener una consistencia líquida, pero si el agua se evapora, la consistencia pasa a ser más dura o rígida (Fiallos, 2016). Las fases del suelo se muestran en la siguiente figura.

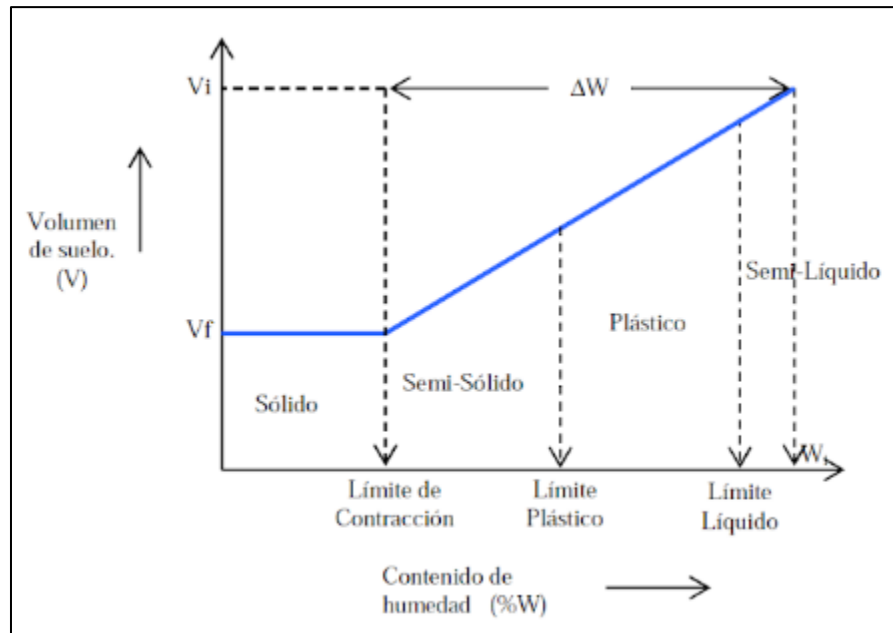


Figura 6. Límites de consistencia del suelo.  
Fuente: Braja (2015).

#### - Límite líquido

Este límite indica la capacidad de un suelo de poseer agua en su composición, por lo general su presencia es representada en porcentaje respecto al peso o volumen total. Este límite indica la separación de los estados semilíquido y plástico (Braja, 2015).

Un aspecto resaltante de esta propiedad, lo establece el MTC (2014) en su sección 301.02, quien establece que para materiales de afirmado, el valor máximo debe ser de 35 %.

Para estimar su valor, es necesario la aplicación de la norma MTC E 110 o la NTP 399.129 (MTC, 2016).

El desarrollo de la determinación del límite líquido necesita de la aplicación de la copa de Casagrande, donde se ensaya una porción de suelo a la cual se le realiza una ranura de 12 mm, con la finalidad



de cerrarla en un promedio de 25 golpes, la cual se logra mediante una manija que deja caer la copa desde una altura de 1 cm (MTC, 2016).



Figura 7. Copa de Casagrande para el análisis del límite líquido.  
Fuente: Braja (2015).

Cuando se logre cerrar la ranura en la cantidad mencionada se podrá estar seguro que es el momento en el que se puede sacar una muestra de suelo para ser colocada en el horno y de esta manera establecer el valor del límite líquido. Por lo general, la ranura no logra cerrarse con exactitud a los 25 golpes por lo que será necesario tantearla mediante la toma de muestras con golpes cercanos a los 25 golpes, generando de esta manera una gráfica similar a la que se muestra a continuación (MTC, 2016).

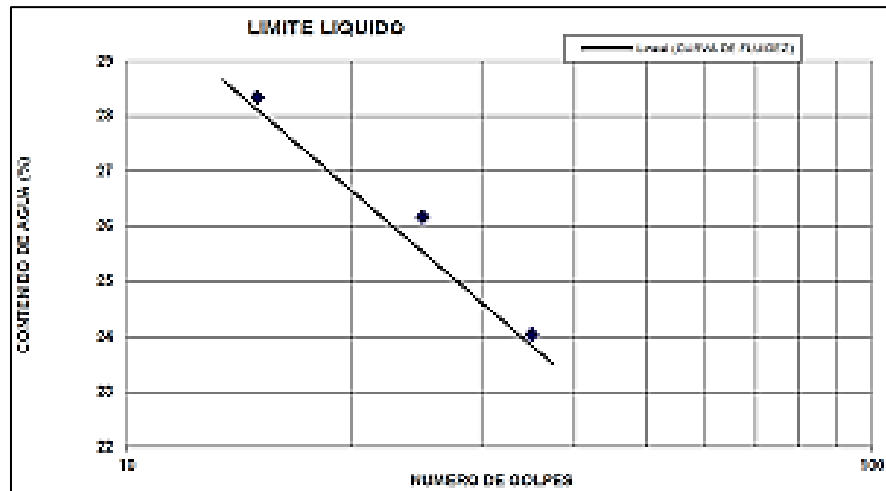


Figura 8. Curva del contenido de humedad y el número de golpes.  
Fuente: Braja (2015).

- Límite plástico e índice de plasticidad

La plasticidad de un suelo es representado por el límite de plasticidad del suelo y por ende de la humedad en el que este suelo pasa de un estado plástico a uno semisólido; si pasa esta fase el suelo tiende a fracturarse (Villar y Oblitas, 2020).

Valores demasiado altos de este límite, es un indicativo de la presencia de arcilla en la muestra de suelo (Villar y Oblitas, 2020).

Para determinar el límite líquido del suelo de debe aplicar las recomendaciones establecidas por la norma MTC E 111, donde se especifica la correcta ejecución de los ensayos. En la mencionada norma se establece que para la determinación de esta propiedad es necesario la realización de rollo de arcilla con un diámetro máximo de 3 mm, los cuales deben fisurarse. Cuando se lleguen a este estado se obtendrá muestras, para ser llevadas al horno y de esta manera

calcular el porcentaje de agua presente, el cual es el indicado de esta propiedad (MTC, 2016).



Figura 9. Elaboración del límite plástico.  
Fuente: Braja (2015).

Las normas de diferentes países hacen referencia que el valor de la desviación estándar del límite plástico es máximo de 0.9 con un rango promedio de más o menos 2.6 % (Villar y Oblitas, 2020).

Según establece el MTC (2014) uno de las propiedades que se debe tener en cuenta para el control de las propiedades del suelo es el índice de plasticidad, este se obtiene de la diferencia de límite líquido y el plástico; por lo que es un excelente indicador de la cantidad de material arcilloso en el suelo. Tal es su importancia, que la mencionada norma clasifica el suelo en función de este valor, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. Clasificación del índice de plasticidad.

Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$7 < IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No plástico	Suelos exentos de arcilla

Fuente: MTC (2014).

## Compactación del suelo

Machco (2019), menciona que uno de las principales propiedades del suelo es la compactación, pues mediante esta se puede incrementar su resistencia. Este fue un concepto difícil de comprender en un inicio, y no fue solo hasta el año 1993 que pudo ser comprendida gracias al estudio de Proctor, quien sistematizó todos los datos de campo que obtuvo para establecer una teoría que relacione la compactación con la densidad y el contenido de humedad de un suelo. De esta manera pudo establecer gráficamente las relaciones entre los parámetros mencionados y que se esquematizan en la siguiente figura.

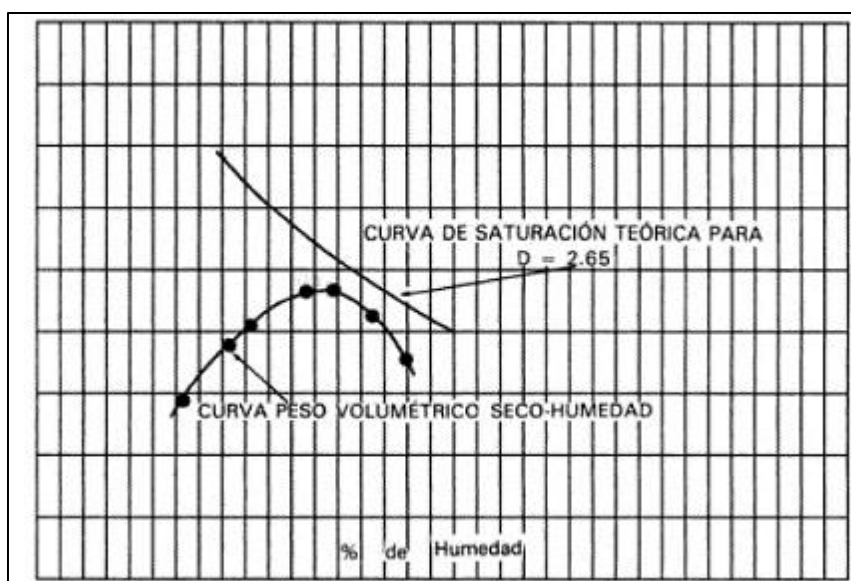


Figura 10. Curva de compactación obtenida con el ensayo Proctor.  
Fuente: Machco (2019).

Con el desarrollo de esta teoría el MTC (2014), ha reglamentado que la energía de compactación puede calcularse de acuerdo a la siguiente ecuación

$$E = \frac{W.H.N}{V}$$

“Donde E, es la energía específica para compactar el suelo, W, es el peso del pistón, H, es la altura que cae el pistón, N, es la cantidad de golpes y V, volumen total del suelo compactado” (MTC, 2014).

Bajo esta perspectiva se puede decir que, al incrementarse la energía de compactación, también debería incrementar el peso específico y disminuye la cantidad de agua para su compactación.

- Ensayo de Proctor modificado

Como se ha descrito, este ensayo desarrollado por el doctor Proctor, busca establecer una relación entre la humedad de un suelo y su peso seco. Para su estimación en laboratorio es necesario seguir las recomendaciones de la norma MTC E 115, donde se establece que para poder llevar a campo este ensayo de debe considerar una capa de 30 cm, la cual deberá llegar a un 95 % de su densidad seca (MTC, 2014).

Para la ejecución del ensayo de Proctor, el MTC (2014) menciona que se deben de considerar los siguientes instrumentos:

- “Moldes metálicos, que tengan diámetros de 4 o 6 pulgadas y una altura de 4.58 pulgadas.”
- “Un pistón con el cual se pueda compactar el suelo al dejarse caer desde una altura de 18 pulgadas.”
- “Balanza y horno eléctrico.”
- “Regla metálica y zarandas de 3/4”, 3/8” y N°4”.

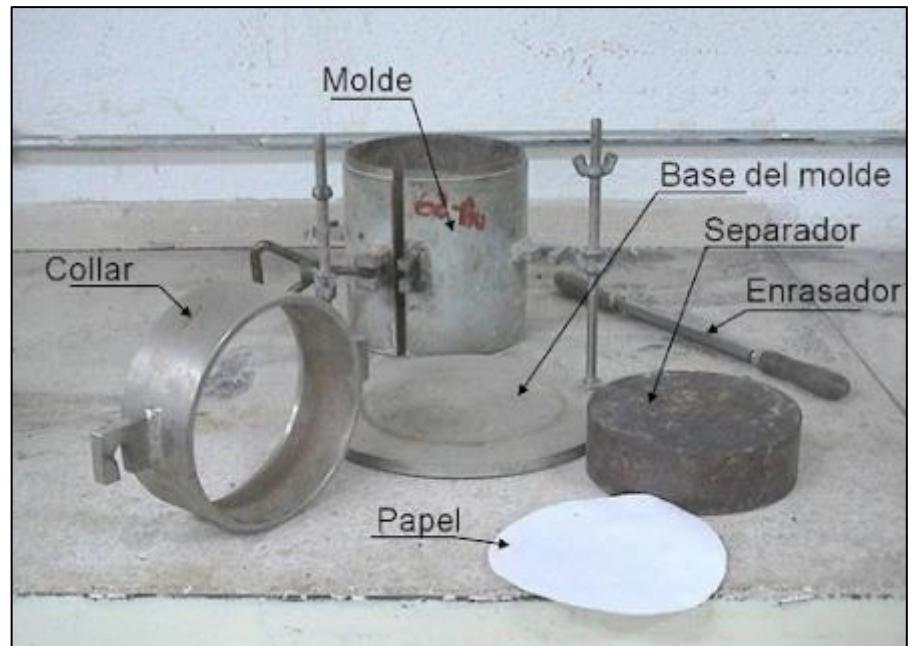


Figura 11. Instrumentos para la elaboración del ensayo Proctor.  
Fuente: Machco (2019).

- Muestras para el ensayo Proctor

Las muestras para el desarrollo del ensayo de Proctor será variable y dependerá del método de compactación (A, B o C); siendo que para los métodos A y B se necesita 16 kg de suelo, mientras que en método C es necesario hasta 29 kg de muestras de suelo por ensayo(MTC, 2014).

- Aplicación de los métodos de compactación

Los principales métodos de compactación son tres, esto se describen a continuación:

Método A: Este método se utiliza cuando cantidades de suelo menores o iguales al 20 % son retenidos en la malla N°4; para lo cual se considerará especímenes elaboraos en 5 capas con 25 golpes en cada una de ellas (MTC, 2014).

Método B: Este método es aplicable cuando más del 20 % del material utilizado es retenido en el tamiz 4 y a la vez el 20 % o menores a este se retienen la de 3/8". Para ello será necesario elaborar muestras a 5 capas con 25 golpes cada una de ellas (MTC, 2014).

Método C: Este método es aplicable cuando más del 20 % del suelo se retiene en el tamiz de 3/8", también se debe de cumplir que menos del 30 % es retenido en el tamiz de 3/4"(MTC, 2014).

- Procedimiento del ensayo Proctor

El MTC (2014) describe que para la ejecución del ensayo Proctor se deben de considerar los siguientes pasos:

- Escoger el mejor método de compactación.
- Verificar la validez y precisión de los instrumentos y materiales que se utilizarán.
- Tamizar el suelo por las mallas descritas en el ítem anterior y en función al método de compactación.
- Preparar muestras de suelos con variaciones de contenido de humedad en 2 %.
- Preparar de manera minuciosa los moldes a utilizar en el ensayo.
- Se deberán verter el suelo, en capas de acuerdo al método seleccionado y los golpes necesarios.

- Se deberá enrasar el material, una vez se haya sacado el collarín de apoyo del molde.
- Finalmente, pesa todo el espécimen para registrarlo de manera manual, luego se desmenuza el material para determinar su humedad.

### **Capacidad de soporte del suelo**

Esta propiedad del suelo también es conocida como CBR y es un valor semi empírico con el cual se puede determinar a resistencia del suelo de manera indirecta. La determinación de su valor es muy importante para el diseño de los espesores del pavimento (Velásquez, 2018).

Un aspecto controversial de esta propiedad radica en que al saturar las muestras antes del ensayo, se entiende que hay un sobredimensionamiento de su valor, lo cual hace que se considere valores elevados de capas asfálticas; sin embargo, hoy en día esta percepción de “peor de los casos” sigue prevaleciendo (Velásquez, 2018).

Según Velásquez (2018), una definición con mayor aceptación es la que indica que el índice de CBR establece una relación entre la resistencia al esfuerzo cortante bajo altas condiciones de humedad y la densidad controlada, mediante la cual se pretende incrustar un pistón a una profundidad de 0.1 y 0.2 pulgadas. Bajo este contexto, la ecuación para estimar este parámetro es la siguiente:



$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria del patrón}} * 100$$

Bajo las concepciones descritas, el Manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones dice que el CBR de una sub rasante debe ser mayor o igual a 6 %, en por lo menos una capa de 0.60 m, esta al ensayarse bajo una penetración de 0.1”, siendo este criterio para establecer la siguiente clasificación (MTC, 2016).

Tabla 5. Clasificación de la subrasante en función al CBR.

Categoría de la subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3 %
S1: Subrasante insuficiente	3 % ≤ CBR < 6 %
S2: Subrasante regular	6 % ≤ CBR < 10 %
S3: Subrasante buena	10 % ≤ CBR < 20 %
S4: Subrasante muy buena	20 % ≤ CBR < 30 %
S5: Subrasante excelente	CBR ≥ 30 %

Fuente: MTC (2016).

- Equipos y materiales para la realización del ensayo CBR

El MTC (2016), en el manual de ensayos de materiales y de acuerdo a la norma MTC E 132 menciona que para el desarrollo del ensayo es necesario las siguientes herramientas y materiales:

- Prensa de compresión y un molde de forma cilíndrica que se muestra en la siguiente figura.
- Pistón para la compactación de muestras.
- Instrumento para medir la deformación de la muestra.

- Pesas que estén ranuradas y que posean una masa de 4.54 kg y 2.27 kg.
- Un lugar para la saturación de los especímenes.
- Horno eléctrico con resistencia a una temperatura de 110 °C, junto con tamices 4, 3/4" y 2" y una balanza electrónica.

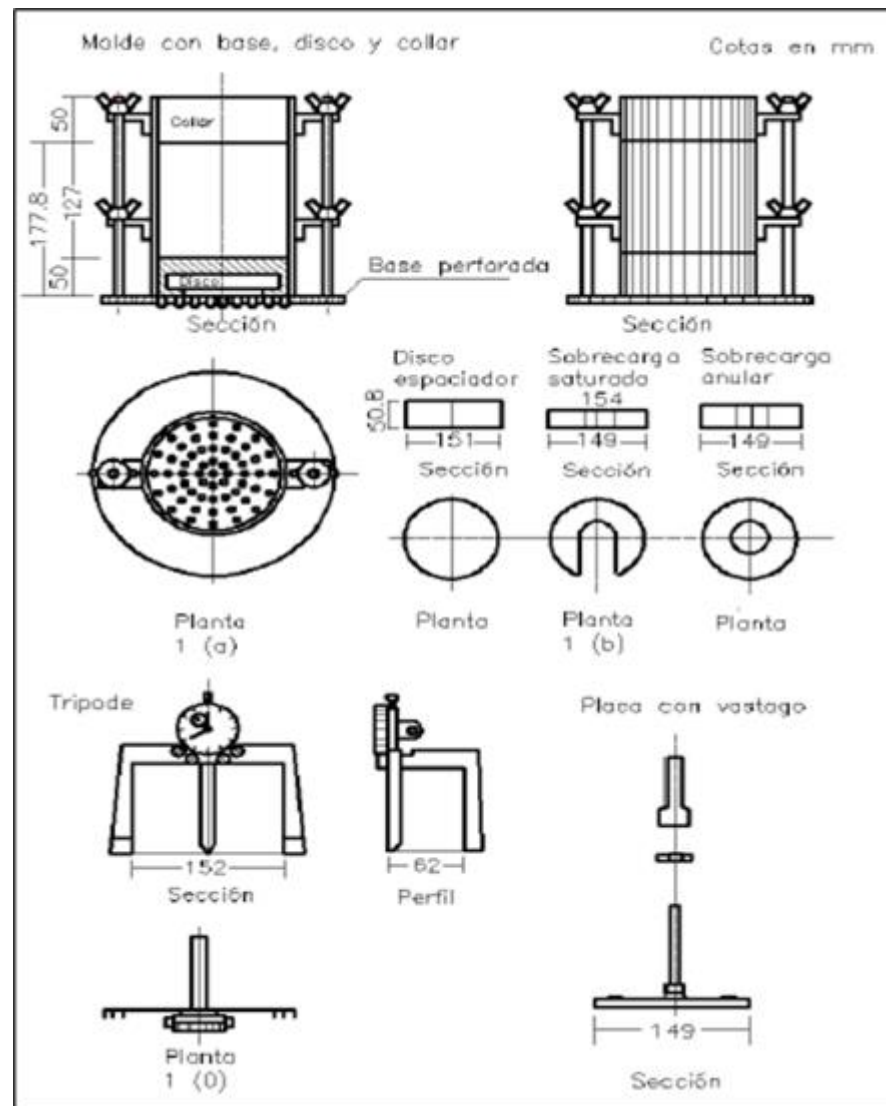


Figura 12. Características del instrumento para realizar el ensayo de CBR. Fuente: Villar y Oblitas (2020).

- Procedimiento del ensayo de CBR

El MTC (2014), en el manual de ensayo de materiales establece como procedimientos los siguientes puntos:

- Se debe de alistar los moldes para la creación de especímenes.
- Se debe considerar la muestra útil para el desarrollo del ensayo, es decir, solo se utilizará el material que pasen el tamiz 3/4"
- Se debe considerar una muestra seca al que se le añadirá agua en porcentajes iguales al óptimo contenido de humedad determinada en el ensayo de Proctor.
- Se procede a llenar los moldes con el material seleccionado suministrándoles golpes con la finalidad de obtener diferentes grados de compactación.
- Una vez culminada la compactación, se procede a desmoldar los collarines y enrasar la muestra de suelo.
- Se procede con el pesado, para posteriormente adicionar cargas mediante pesas.
- Se sumergen las muestras y se controla la expansión de la misma por un periodo de 4 días.
- Se retira los moldes de agua, para finalmente pesarlas y someterlas a la penetración en la máquina de CBR.



Figura 13. Ensayo de CBR.  
Fuente: Villar y Oblitas (2020).

### **Equivalente de arena**

Según lo establece el MTC (2016), el equivalente de arena es una propiedad que se encarga de medir la proporción relativa de material fino en el suelo o agregado. Para su determinación es necesario considerar lo establecido en la norma MTC E.114, donde se establece la descripción de los materiales e instrumentos necesarios.

Según al MTC (2016), el ensayo para la determinación del equivalente de arena, es comparable al de los ensayos para determinar la consistencia del suelo, pero tiene la ventaja que es más rápido, pero eso sí, es menos eficaz. Según lo mencionado por la

norma, el equivalente de arena (EA), es un índice que da de manera somera la plasticidad del suelo, por lo que este puede clasificarse de la siguiente manera:

Tabla 6. Clasificación del equivalente de arena.

Equivalente de arena	Características
EA > 40	El suelo no es plástico, es arena
40 > EA > 20	Suelo poco plástico
EA < 20	suelo plástico y arcilloso

Fuente: MTC (2016).

### 2.2.3. Estabilización de suelos

La estabilización de los suelos es un proceso por el cual las propiedades tanto físicas como mecánicas de estos, pueden incrementarse. Para tal fin, es preciso mencionar que es necesario de la aplicación de diferentes elementos tanto químicos como naturales, de los cuales se destacan materiales como el cementos, la cal y hasta el asfalto (Fiallos, 2016).

Según Fiallos (2016), cuando se ejecutan proyecto de ingeniería y se encuentra suelos con deficientes propiedades físicas y mecánicas, se debe considerar los siguientes aspectos:

- Se debe controlar solo los materiales que cumplan las especificaciones de las normas vigentes.
- Si el suelo que se utilizará no cumple con los requisitos de las normas, este deberá ser eliminado.
- Si existe la posibilidad de mejorar las propiedades, de deberá priorizar este método, después de un análisis de costo y beneficio.

## **Tipos de estabilización de suelos**

Existen diferentes métodos para poder mejorar o estabilizar los suelos, sin embargo, la normativa menciona que los más importantes son:

**Estabilización por medios mecánicos:** Es un proceso mediante el cual se hace uso de medios mecánicos como rodillos o compactadores, con los cuales se puede comprimir el suelo, por lo que es factible combinar materiales o en el peor de los casos, sustituirlos (Singh y Singh, 2021).

La principal ventaja de este método está ligado a que con su aplicación no se modifica la composición química del suelo y solo se logra reducir la cantidad de vacíos del suelo (Singh y Singh, 2021).

**Estabilización por electroósmosis:** Es el método mediante el cual se utiliza técnicas eléctricas para la estabilización del suelo, para ello es aplicable la construcción de pilotes metálicos que se compartan como conductores eléctricos (Singh y Singh, 2021).

**Estabilización química:** Este método de estabilización tiene como finalidad mejorar las características del suelo mediante el uso de agentes químicos, siendo los elementos más conocidos la cal, el cementos, agentes de origen vegetal, entre otros (Singh y Singh, 2021).

#### **2.2.4. Sulfato de calcio**

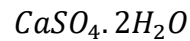
El sulfato de calcio o yeso es un elemento que a través de los años a mantenido su aplicabilidad en la construcción, debido a que posee características como el aislamiento acústico y el control térmico, los cuales hoy por hoy es difícil de encontrar en otros materiales de la construcción (Mamani, 2018).

Debido a que es un material de mucha antigüedad, su aplicación en distintas ramas de la ingeniería han hecho que su aplicabilidad sea mayor en diferentes aplicaciones (Mamani, 2018).

Es bajo estos nuevas aplicaciones del sulfato de calcio, que en la actualidad has surgido dos etapas para la aplicación de estos materiales, la primera basa en la necesidad de suplir las necesidades de la construcción; y la segunda en el desarrollo de nuevos materiales prefabricados (Mamani, 2018).

Es bajo este criterio que estudios recientes, mencionan que, el yeso o sulfato de calcio pueden ser utilizados como materiales de reforzamiento, espesantes que modifican la fragua del cemento, retenedores de humedad y hasta fluidificantes (Mamani, 2018). A esto, se suma que investigaciones realizadas a nivel internacional demuestran que este material puede mejorar la resistencia de otros componentes que contengan fibras en su composición, además pueden alivianar el peso del concreto, controlar la hidrofugación; mientras que su aplicación es como base, este puede controlar el tiempo de fraguado y la retención del agua (Mamani, 2018).

Según Mamani (2018), la composición del yeso o sulfato de calcio tiene calcio, agua y sulfatos, la cual puede ser expresada mediante la siguiente fórmula química.



### **Efecto del sulfato de calcio en el suelo**

Un aspecto relevante de este material es el comportamiento que ofrece como estabilizante químico en el suelo, pues tiene como principal propiedad, mejorar de manera significativa la resistencia del suelo de manera acelerada, pues su tiempo de fragua, a diferencia del concreto es mucho menor. Además a lo descrito, otra ventaja del sulfato de calcio es que, si se mezcla con otros materiales como el cemento este puede maximizar las propiedades de endurecimiento del suelo (Mamani, 2018).

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Arcilla**

Las arcillas son suelos cuya principal característica es poseer partículas en su composición menores a 0.002 mm. El origen de estos materiales se debe a la descomposición de materiales con alto contenido de silicatos de aluminio o la desintegración por causas de agentes químicos y físicos de rocas y minerales. La presencia de los materiales descritos en la arcilla, hace que su principal característica sea volverse plástica al estar en contacto con el agua y a resecarse si esta deja de estar en su composición (Fiallos, 2016).



### **2.3.2. Estabilización**

Este consiste en un proceso de mejoramiento de las propiedades del suelo, especialmente las de resistencia. Para mejorar las características de los suelos es muy común la aplicación de métodos de compactación, químicos y de combinación de los métodos (Villar y Oblitas, 2020).

### **2.3.3. Estabilización química**

Es el proceso mediante el cual se busca mejorar las características de los suelos mediante el uso de aditivos químicos conocido como estabilizador, para después compactarlo mediante medios mecánicos (Singh y Singh, 2021).

### **2.3.4. Subrasante**

Con el nombre de subrasante es conocida la capa superficial del suelo o terreno natural donde se construirá las demás capas de un pavimento; por ello es necesario, que este sea compactado y mejorado, pues será el transmisor final de las cargas vehiculares de una carretera (Ramos y Lozano, 2019).

### **2.3.5. Variación volumétrica**

Esta propiedad se puede comprender como el cambio del volumen de un material; es por ello que es una de las principales características de los suelos tipo arcillosos. El defecto de esta propiedad es que al momento de retener el agua en su composición,

estos generan fuerzas internas que quiebran la superficie de los asfaltos, generando fallas, baches y huecos.(Ramos y Lozano, 2019).

### **2.3.6. Sulfato de calcio**

Es un mineral que en su composición tiene grandes cantidades de sulfato de calcio di hidratado. El nombre común es yeso y su fórmula química es  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Su obtención por lo general es mediante operaciones mineras (López y Alarcón, 2011).

### **2.3.7. Propiedades físicas**

Son las características inherentes a los suelos, tales como la densidad, contenido de agua, límites de consistencia, entre otras; las cuales son reguladas por las normativas como el Manual de especificaciones técnicas del Ministerio de transportes y comunicaciones (Guerrero, 2019).

### **2.3.8. Equivalente de arena**

Mediante la determinación de esta propiedad se puede calcular la cantidad de polvo o material fino en los suelos o los agregados. Para la determinación de esta propiedad en laboratorio se debe considerar las recomendaciones de la norma MTC E.114" (MTC, 2016).

### **2.3.9. Consistencia**

Es la capacidad de ablandamiento del suelo, el cual está regulado por la concentración de material arcilloso y la humedad en su composición. Si la humedad se incrementa, el suelo pasa a un

estado líquido, pero si se pierde, este pasa a un estado sólido (Fiallos, 2016).

#### **2.3.10. Compactación**

La compactación es un método mediante la cual se puede mejorar las características de los suelos. Este consiste en la aplicación de medios mecánico para la reducción de los poros del suelo, para lo cual es necesario la definición de la máxima densidad y el óptimo contenido de humedad del suelo (Machco, 2019).

#### **2.3.11. Capacidad de soporte**

Es la propiedad del suelo que indica de manera indirecta la resistencia del suelo. Este también es más conocido como CBR, por sus siglas en inglés, y es un valor semi empírico, mediante la cual se puede establecer el diseño de los espesores de los pavimentos (Velásquez, 2018).

#### **2.3.12. Propiedades mecánicas**

Son características intrínsecas al suelo, pero para su determinación es necesario la aplicación de fuerzas externas tales como la resistencia a la compresión, el índice de CBR o la elasticidad (Guerrero, 2019).

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

El sulfato de calcio mejora los valores de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

1. Al incorporar sulfato de calcio se incrementa la consistencia del suelo de subrasante.
2. La adición de sulfato de calcio incrementa el equivalente de arena del suelo de subrasante.
3. Al adicionar sulfato de calcio se mejora la compacidad del suelo de subrasante.
4. Al añadir sulfato de calcio se incrementa los valores de la capacidad de soporte del suelo de subrasante.

## 2.5. Variables

### 2.5.1. Definición conceptual de las variables

**Variable independiente (X): sulfato de calcio.** – “Corresponde un mineral compuesto de sulfato de calcio dihidratado, cuya simbología química es  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , siendo obtenido de diversas operaciones mineras” (López y Alarcón, 2011).

**Variable dependiente 1 ( $Y_1$ ): propiedades físicas del suelo.** – “Son características mínimas a cumplir para que el suelo puede

actuar como subrasante, siendo estos el equivalente de arena y la consistencia” (Guerrero, 2019).

**Variable dependiente 2 (Y<sub>2</sub>): propiedades mecánicas del suelo.** – “Son características mínimas a cumplir para que el suelo puede actuar como subrasante, siendo estos la compacidad y la capacidad de soporte” (Guerrero, 2019).

### **2.5.2. Definición operacional de las variables**

**Variable independiente (X): sulfato de calcio.** – Se empleará sulfato de calcio en relación al peso seco del suelo, siendo estos en 8 %, 10 % y 12 %.

**Variable dependiente 1 (Y<sub>1</sub>): propiedades físicas del suelo.**  
– Se medirá las propiedades físicas del suelo por medio de ensayos con un mínimo de tres repeticiones, tales como el equivalente de arena, el límite líquido y límite plástico, donde el índice de plasticidad resultará de la diferencia del límite líquido y límite plástico.

**Variable dependiente 2 (Y<sub>2</sub>): propiedades mecánicas del suelo.** –. Serán obtenidas por medio de los ensayos de Proctor modificado y CBR, donde también se requerirá por lo menos tres repeticiones.

### 2.5.3. Operacionalización de las variables

Tabla 7. Operacionalización de las variables.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades
<b>Variable independiente (X):</b> Sulfato de calcio	Sulfato de calcio	Cantidad de sulfato de calcio	Porcentaje (8%, 10% y 12%)
<b>Variable dependiente 1 (Y<sub>1</sub>):</b> Propiedades físicas del suelo	Equivalente de arena	Lectura de arena	Milímetros (mm)
	Consistencia	Lectura de arcilla	Milímetros (mm)
		Límite líquido	Porcentaje (%)
		Límite plástico	Porcentaje (%)
		Índice de plasticidad	Porcentaje (%)
<b>Variable dependiente 2 (Y<sub>2</sub>):</b> Propiedades mecánicas del suelo	Compactación	Máxima densidad seca	Gramos por centímetro cúbico (g/cm <sup>3</sup> )
		Óptimo contenido de humedad	Porcentaje (%)
	Capacidad de soporte	CBR 95 %MDS	Porcentaje (%)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de investigación**

El método de investigación en el cual se fundamentó este estudio fue el método científico, pues “corresponde al método por excelencia que busca alcanzar la verdad por medio de pasos estructurados y sistematizados” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014); es decir, que para el desarrollo de esta investigación consideró una metodología basada en la observación, planteamiento del problema, formulación de hipótesis, experimentación y las conclusiones.

#### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación correspondió a la aplicada, pues según Bernal (2006) “En este tipo de investigación se pretende solucionar un problema real, considerando la información disponible o desarrollada en las investigaciones básicas.”

En tal contexto, el desarrollo de esta investigación ha pretendido buscar una solución a las deficientes propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso de subrasante, para lo cual se hizo uso del conocimiento existente relacionado a estabilización de suelos y la normativa que la rige establecida por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

### **3.3. Nivel de investigación**

El nivel de investigación fue el explicativo, pues según establece Palella y Martins ( 2012) “En este nivel, se busca establecer las causas y los efectos de una variable sobre otra, por lo que su desarrollo contemplará mantener otras variables de manera constante.”

En ese sentido, con el desarrollo de la tesis se buscó establecer las causas dado por el sulfato de calcio y los efectos que trae consigo en las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante.

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

El diseño de la investigación correspondió al experimental, del tipo cuasi experimental, pues en este diseño Ccanto (2010), “menciona que es factible realizar la manipulación deliberada de las variables;” es decir, que para el desarrollo de esta investigación se modificó el contenido de sulfato de calcio (variable independiente) para observar los efectos en las propiedades físicas y mecánicas del suelo (variables dependientes), además de comparar tales variaciones con el suelo patrón y así poder denotar sus diferencias.



### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

La población fue el suelo de subrasante de la Avenida 9 de Diciembre entre el Jirón Túpac Amaru y el Jr. Los Incas en la provincia de Huancayo del departamento de Junín.

#### 3.5.2. Muestra

La muestra fue obtenida por medio del tipo de muestreo no probabilístico o intencional, correspondiendo a un total de 60 especímenes, el cual fue los ensayos detallados en la Tabla 8.

Tabla 8. Número de repeticiones de los ensayos para la investigación.

Ensayos	Suelo existente	Suelo con 8 % de sulfato de calcio	Suelo con 10 % de sulfato de calcio	Suelo con 12 % de sulfato de calcio
Equivalente de arena	3	3	3	3
Límite líquido	3	3	3	3
Límite plástico	3	3	3	3
Próctor modificado	3	3	3	3
CBR	3	3	3	3
Total			60	

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.6.1. Técnicas

En primer lugar, se utilizó la técnica del análisis documental, para la recopilación de información referente a estabilización de suelos; también normativas para la ejecución de cada uno de los ensayos planteados y las consideraciones mínimas que debe cumplir el suelo.

Posteriormente, se hizo uso de la técnica de la observación experimental durante la ejecución de los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo sin y con adición de sulfato de calcio.

### **3.6.2. Instrumentos**

Los instrumentos para la recolección de datos fueron las fichas de observación, para el registro de los siguientes ensayos que se encuentran normalizados por el Manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

- Equivalente de arena.
- Límite plástico.
- Límite líquido.
- Proctor modificado.
- CBR.

### **3.7. Procedimiento de recolección de datos**

El procedimiento para la recolección de datos se dio de la siguiente manera:

#### **MUESTREO DE SUELOS**

“Es el muestreo e investigación de suelos con base en procedimientos normales, mediante los cuales deben determinarse las condiciones de los suelos.” (MTC E.101)

- MTC E.101

- ASTM D 420 - ASTM D4220
- Extracción de la muestra de suelo por medio de una calicata de profundidad mínima de 1.50 m de la Avenida 9 de Diciembre entre el Jirón Túpac Amaru y el Jr. Los Incas.



Figura 14. Práctica estándar para conservar y transportar muestras de suelo al Laboratorio según la norma ASTM D4220/D4220M-14.

#### OBTENCION DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS (CUARTEO)

“Establecer los procedimientos para obtener en laboratorio la muestra necesaria para realizar los ensayos, de forma que sea representativa de la muestra total recibida.” (MTC E.105)

- MTC E.105
- ASTM C702/C702M-18
- NTP 339.089: SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo).

- METODO A. CUARTEO MECANICO, "La muestra de campo se vierte en la tolva, y se distribuye uniformemente de extremo a extremo, de manera que, aproximadamente, igual cantidad fluya libremente a través de cada cajuela a los recipientes colocados debajo. La muestra depositada en uno de los recipientes se reintroduce al aparato las veces que sea necesario para reducir su tamaño a la cantidad especificada en el ensayo. La porción de muestra acumulada en el otro recipiente se debe reservar para otros ensayos." (MTC E.105)

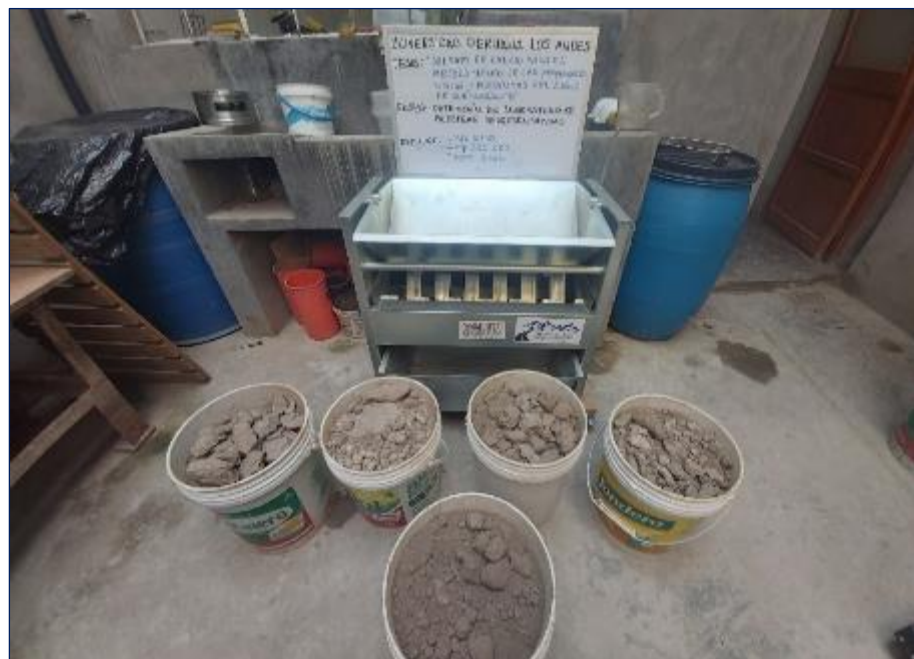


Figura 15. Práctica estándar para reducir muestras de agregado a tamaño para pruebas de Laboratorio en la norma ASTM C702/C702M-18.

## CONTENIDO DE HUMEDAD

“Establecer el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. La humedad o contenido de humedad de un suelo

es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.” (MTC E.108)

### **Referencias normativas**

- ASTM D 2216: Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock
- Norma Técnica Peruana, NTP 339.127
- MTC E.108

### **Equipos y materiales**

#### Equipos

- “Horno de secado. - Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.”
- “Balanzas. - De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones:  
  
De 0,01 g para muestras de menos de 200 g  
  
De 0,1 g para muestras de más de 200 g.”

#### Materiales

- “Recipientes. - Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.”

- “Utensilios para manipulación de recipientes. - Se requiere el uso de guantes, tenazas, o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.”
- “Otros utensilios. - Se requieren el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.” (MTC E.108)

### **Muestra**

- “Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D 4220-89, Grupos de suelos B, C ó D. Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.”
- “La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles: (tales como: tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) ó bolsas plásticas.” (MTC E.108).

## Procedimiento

- “Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).”
- “Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (véase 4.1.2 de este ensayo) seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.”
- “Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a  $110 \pm 5$  °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para mantener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente.”
- “Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado

al horno usando la misma balanza usada en este ensayo.  
Registrar este valor.” (MTC E.108)

### **Cálculos**

“Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{PESO DE AGUA}}{\text{PESO DE SUELO SECADO EN HORNO}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde:

- w: es el contenido de humedad, en porcentaje
- Mcws: es el peso del contenedor más en suelo húmedo, en gramos
- Mcs: es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos
- Mc: es el peso del contenedor, en gramos
- Mw: es el peso del agua, en gramos
- Ms: es el peso de las partículas sólidas, en gramos.” (MTC E.108).



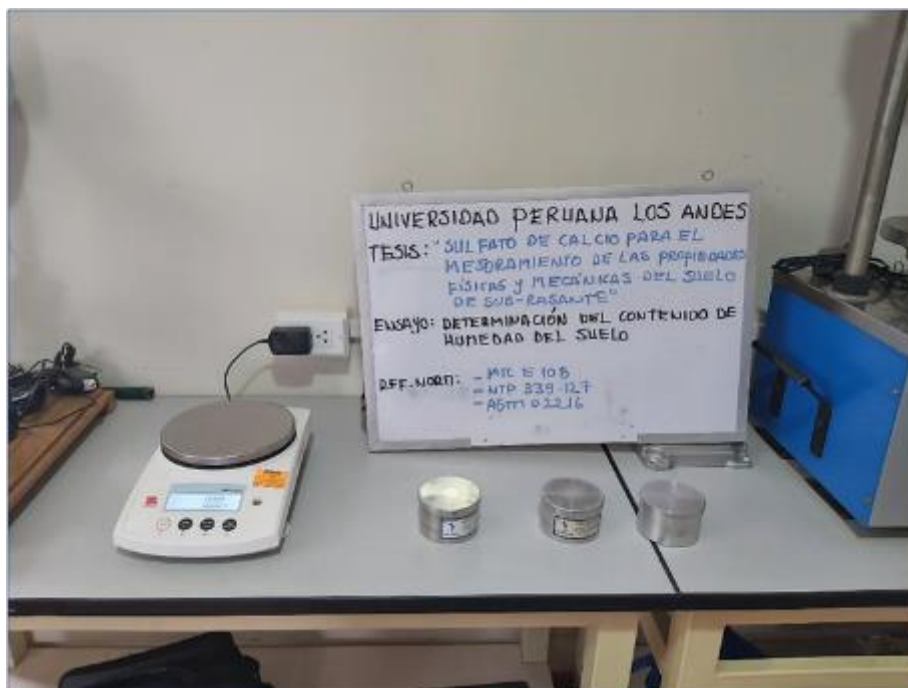


Figura 16. Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa ASTM D2216-19 - NTP 339.127.

## ANALISIS GRANULOMETRICO

“El objetivo de la Norma Técnica Peruana es de establecer el método para el análisis granulométrico por tamizado y por sedimentación de los suelos, pudiendo efectuarse en forma en forma combinada con uno de los métodos indicados.” (NTP 339.128)

### Referencias normativas

- NTP 339.128, Método de ensayo para el análisis granulométrico.

### Equipos y accesorios

- “Balanzas: De sensibilidad de 0.01 gr. para pesar el material que pasa la malla N° 10 (2.0 mm), y una balanza sensible a 0.1% de la masa de la muestra para pesar el material retenido en la malla N° 10.”

- “Agitador: Un dispositivo de agitación operado mecánicamente en el cual un motor eléctrico adecuadamente montado hace girar un eje vertical a una velocidad no menor de 10,000 rpm sin cargas.”
- “Tamices: Una serie de tamices de malla cuadrada que cumplan con la ASTM E 11. Un juego completo de tamices incluye los siguientes en la tabla 9.”
- “Bandeja, cepillos y brochas.” (NTP 339.128)

Tabla 9: Dimensiones de tamices.

Tamices	Designación ASTM
75.0 mm	(3 pulg)
50.0 mm	(2 pulg)
37.5 mm	(1 1/2 pulg)
25.0 mm	(1 pulg)
19.0 mm	(3/4 pulg)
9.50 mm	(3/8 pulg)
4.75 mm	(N° 4)
2.00 mm	(N° 10)
850 um	(N° 20)
425 um	(N° 40)
250 um	(N° 60)
106 um	(N° 140)
75 um	(N° 200)

Fuente: NTP 339.128.

### **Muestra**

- “El suelo tiene que secar al aire libre. Cuartear el suelo secado al aire libre hasta obtener una muestra representativa. Se prepara la muestra de ensayo para el análisis mecánico de acuerdo con la NTP 339.090. Durante el procedimiento de preparación se divide la muestra en dos proporciones. Una Porción contiene solo partículas que retiene el tamiz 2.00 mm (N° 10), mientras que la otra porción contiene solo partículas que pasan el tamiz 2.00 mm (N° 10). La masa de suelo seca al aire libre, separada con el

propósito de hacer el análisis mecánico, dependerá del tamaño máximo de las partículas y de la masa de la porción retenida sobre el tamiz 2.00 mm (N° 10). De la porción de suelo que pasa el tamiz 2.00 (N° 10) según se establece en la NTP 339.090, se toman aproximadamente 115 gr. si se trata de suelos arenosos y 65 gr. cuando son suelos limosos o arcillosos.” (NTP 339.128)

**Procedimiento (Análisis por tamizado de la porción retenida en el tamiz 2.00 mm (N° 10))**

- “Se prepara la porción retenida en el tamiz 2.00 mm (N° 10) en una serie de fracciones usando los tamices 75 mm (3 pulg), 50 mm (2 pulg), 37.5 mm (1 ½ pulg), 25 mm (1 pulg), 19 mm (¾ pulg), 9.5 mm (3/8 pulg), 4.75 mm (N° 4), y 2.0 mm (N° 10), o las que necesiten dependiendo de la muestra, o de las especificaciones para el material ensayado.”
- “El tamizado se efectúa con un movimiento lateral y vertical del tamiz acompañando con un golpeteo para mantener la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie. En ningún caso se ayudará con la mano a pasar el tamiz.”
- “Se determina la masa de cada fracción con las balanzas indicadas. Al término de las pesadas, la suma de las masas retenidas sobre la totalidad de los tamices usados y de la porción que pasa el último tamiz debe ser aproximadamente igual a la masa original.” (NTP 339.128).

## Cálculos

“Según el inciso 13.3 de la NTP 339.128, menciona que para determinar el porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz se divide la masa total que pasa el tamiz respectivo, por la masa total de la muestra y el resultado se multiplica por 100.” (NTP 339.128)

Se calcula el porcentaje que pasa en cada tamiz, se aplica la siguiente ecuación:

$$\%PASA = \frac{PESO\ QUE\ PASA\ EN\ EL\ TAMIZ}{PESO\ TOTAL\ DE\ LA\ MUESTRA}$$



Figura 17. Método de prueba estándar para la distribución del tamaño de partículas (gradación) de suelos usando análisis de tamiz de acuerdo con la norma NTP 339.128.

## DETERMINACIÓN DE 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. 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 (SUCS - AASHTO).” (NTP 339.129)

### **Referencias normativas**

- NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- MTC E.110

### **Equipos y Materiales**

#### Equipos

- “Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm (4 ½”) de diámetro aproximadamente.”
- “Aparato del límite líquido (o de Casagrande).”
- “Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas indicadas.”
- “Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.”

#### Materiales

- “Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3”– 4”) de longitud y 20 mm (¾”) de ancho aproximadamente.” (NTP 339.129).

## **Muestra**

- “Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz 425  $\mu\text{m}$  (Nº 40).” (NTP 339.129)

## **Procedimiento**

- “Colocar el suelo pasante malla No. 40 en una vasija de evaporación y añadir una pequeña cantidad de agua, dejar que la muestra se humedezca. Mezclar con ayuda de la espátula hasta que el color sea uniforme y conseguir una mezcla homogénea.”
- “Se coloca una pequeña cantidad de masa húmeda en la parte central de la copa y se nivela la superficie, luego se pasa el acanalador por el centro de la copa para cortar en dos la pasta de suelo.”
- “Poner en movimiento la cazuela con ayuda de la manivela y suministrar los golpes a una velocidad de dos golpes por segundo que sean necesarios para cerrar la ranura en 12.7 mm., Cuando se cierre la ranura, registrar la cantidad de golpes y tomar una muestra de la parte central para la determinación del contenido de humedad. Este proceso se repite nuevamente con tres muestras más para lograr cuatro puntos a diferentes contenidos de humedad.” (NTP 339.129)



Figura 18. Método de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos de acuerdo con la norma NTP 339.129 - ASTM D4318-17e1.

## DETERMINACION DE LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE PLÁSTICO

“Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo. 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.” (NTP 339.129)

### Referencias normativas

- NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- MTC E.111

## **Equipos y Materiales**

### **Equipos**

- “Espátula de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.”
- “Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar, de 115 mm (4 ½") de diámetro.”
- “Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.”
- “Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.” (NTP 339.129)

### **Muestra**

- “Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.” (NTP 339.129)

### **Procedimiento**

- “Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.”



- “Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8”) no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.”
- “Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.”
- “Se repite, con la otra mitad de la masa.” (NTP 339.129)

### **Cálculos**

“Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico”. (NTP 339.129)

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

Donde:

- L.L.: límite líquido
- L.P.: límite plástico
- L.L. y L.P.: son números enteros



Figura 19. Método de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos de acuerdo con la norma NTP 339.129 - ASTM D4318-17e1.

## ENSAYO ESTANDAR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS

“Este método de ensayo se propone servir como una prueba de correlación rápida de campo. El propósito de este método es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75mm). El término “equivalente de arena”, expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables.” (MTC E.114)

### Referencias normativas

- NTP 339.146:2000: Suelos. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.
- ASTM D 2419-14

- MTC E.114

### **Equipos y Materiales**

#### Equipos

- “Un cilindro graduado, transparente de plástico acrílico, tapón de jebe, tubo irrigador, dispositivo de pesado de pie y ensamblaje del sifón.”
- “Horno, de suficiente tamaño, y capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .”
- “Agitador mecánico para equivalente de arena.”

#### Materiales

- “Lata de medición: Una lata cilíndrica de aproximadamente 57mm ( $2\frac{1}{4}$  pulg) de diámetro, con una capacidad de  $85 \pm 5\text{mL}$ .”
- “Tamiz N°4 (4,75mm) conforme con los requerimientos de la Especificación ASTM E 11.”
- “Embudo, de boca ancha, para transferir los especímenes de ensayo dentro del cilindro graduado.”
- “Botellas, dos de 3,8 L (1,0 gal) para almacenar el stock de la solución y la solución de trabajo.”
- “Reloj, con lecturas en minutos y segundos.”
- “Papel filtro, Watman N°2V o equivalente.” (MTC E.114)

## **Muestra**

- “Muestrear el material a ser ensayado en concordancia con ASTM D 75.”
- “Mezclar completamente la muestra y reducirla si es necesario, usando los procedimientos aplicables en NTP 339.089.”
- “Obtener como mínimo 1500 g de material pasante el tamiz N°4 (4,75mm) de la muestra.” (MTC E.114)

## **Procedimiento**

### **Preparación de la muestra de ensayo (B):**

- “Manteniendo una condición de flujo libre, vaciar la cantidad suficiente de material para prevenir la segregación o pérdida de finos.”
- “Cuartear de 1 000 a 5 000 g del material. Mezclar completamente con un cucharón de mano en un recipiente circular hacia el medio del recipiente, rotando a este horizontalmente. El mezclado deberá ser continuado por lo menos 1min para alcanzar uniformidad. Verificar que el material tenga la condición de humedad necesaria, apretando una pequeña porción de la muestra completamente mezclada en la palma de la mano. Si se forma un molde que permite su manipuleo cuidadoso sin romperse, entonces se ha obtenido el correcto rango de humedad. Si el material está muy seco, el molde se desmenuzará y será necesario añadirle agua, remover y reensayar hasta que el material forme un molde.”

- “Después del tiempo mínimo de curado, remezclar por 1 min sin agua. Cuando esté enteramente mezclado, formar el material en un cono con una trulla.”
- “Tomar la lata de medida en una mano y presionarla directamente en la base de la pila mientras mantiene la mano libre firmemente contra el lado opuesto de la pila.”
- “Cuando la lata atraviesa la pila y emerge, hacer suficiente presión con la mano para que el material llene la lata. Presione firmemente con la palma de la mano compactando el material hasta que consolide en la lata. El material en exceso deberá ser nivelado en la parte superior de la mano, moviendo el filo de la llana en un movimiento de aserrado a lo largo del borde.” (MTC E.114)

**Procedimiento operatorio:**

- “Sifonear  $102 \pm 3\text{mm}$  ( $4 \pm 0,1\text{pulg}$ ) (indicado en el cilindro graduado) de la solución de trabajo de cloruro cálcico en el cilindro de plástico.”
- “Verter uno de los especímenes de ensayo en el cilindro de plástico usando el embudo para evitar derramarlo.”
- “Golpear ligeramente el fondo del cilindro sobre la palma de la mano varias veces para liberar las burbujas de aire y para conseguir el humedecimiento total del espécimen.”
- “Mantener al espécimen humedecido y al cilindro in disturbado por  $10 \pm 1\text{ min}$ .”

- “Al final de los 10 min del periodo de humedecimiento, parar el cilindro, y aflojar luego al material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.”
- “Después de aflojar el material del fondo del cilindro, agitar el cilindro y su contenido por uno de los siguientes tres métodos:
  - Método del agitador Mecánico: Colocar el cilindro en el agitador mecánico del equivalente de arena, registrar el tiempo, y permitir que la maquina agite el cilindro y su contenido por  $45 \pm 1$  s.”
  - Método manual:
    - a. “Sostenga el cilindro en una posición horizontal y agítelo vigorosamente en un movimiento horizontal de extremo a extremo.”
    - b. “Agite el cilindro 90 ciclos en aproximadamente 30s usando un recorrido de  $23 \pm 3$ cm ( $9 \pm 1$  pulg). Un ciclo se define como un movimiento completo de ida y vuelta. Para agitar apropiadamente el cilindro a esta velocidad, será necesario que el operador agite con el antebrazo solamente, relajando el cuerpo y hombros.”
- “Siguiendo con la operación de agitación, colocar el cilindro sobre la parte superior de la mesa de trabajo y remover el tapón de jebe.”  
(MTC E.114).

### **Procedimiento de irrigación:**

- “Durante el procedimiento de irrigación, mantenga el cilindro vertical y la base en contacto con la superficie de trabajo. Insertar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro, remover los sujetadores de la manguera, y enjuague el material de las paredes del cilindro cuando el irrigador está siendo bajado. Forzar el irrigador a través del material en el fondo del cilindro, aplicando una acción de punzonamiento y giro mientras la solución de trabajo fluye del irrigador. Esto hace que el material fino entre en suspensión sobre las partículas de arena más gruesa.”
- “Continué aplicando la acción de punzonamiento y giro mientras los finos continúan fluyendo hacia arriba hasta que el cilindro es rellenado en la gradación de 38,0 cm (15 pulg). Luego enjuague lentamente el tubo irrigador, sin derramar el líquido, de tal manera que el nivel de líquido sea mantenido a alrededor de la gradación de 38,0 cm (15 pulg) mientras el tubo irrigador está siendo retirado. Regular el flujo justo antes de que el tubo irrigador sea completamente retirado y ajuste el nivel final a la gradación de 38,0cm (15pulg).”
- “Mantenga el cilindro y su contenido in disturbado por 20 min  $\pm$  15s. Comience a tomar el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.”
- “Al final de los 20 min. el periodo de sedimentación, leer y registrar el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla. Esto se

refiere a la sedimentación de 20 min, deje que la muestra permanezca indisturbada hasta que se pueda obtener una lectura de arcilla; luego lea inmediatamente y registre el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla y el tiempo total de sedimentación. Si el tiempo total de sedimentación excede de 30 min. vuelva a correr el ensayo usando tres especímenes individuales del mismo material. Registre la altura de la columna de arcilla para la muestra que requiera el más corto periodo de sedimentación como la lectura de arcilla.”

- Determinación de la lectura de arcilla.
  - “Después que se ha tomado la lectura de arcilla, coloque el dispositivo de pesado de pie sobre el cilindro y baje lentamente el dispositivo, hasta que descansa sobre la arena. No permita que el indicador toque el interior del cilindro. Reste 25,4 cm (10 pulg) del nivel indicado por el borde superior extremo del indicador y registre este valor como la "lectura de arena".”
  - “Cuando esté tomando la lectura de arena, tenga cuidado de no presionar hacia abajo sobre el dispositivo de pesaje de pie, ya que podría tener un error de lectura.”
- “Si las lecturas de arcilla o arena caen entre gradaciones de 2,5 mm (0,1 pulg), registrar el nivel de la gradación más alta.” (MTC E.114).



## Cálculos

“Calcular el equivalente de arena al más cercano 0,1 % como sigue:

$$SE = \left( \frac{LECTURA DE ARENA}{LECTURA DE ARCILLA} \right) \times 100$$

Donde:

- S.E: Arena equivalente

“Si el equivalente de arena calculado no es un número entero, reportarlo como el siguiente número entero más alto. Por ejemplo, si el nivel de arcilla fue 8.0 y el nivel de arena fue 3.3; el equivalente de arena calculado será:

$$(3,3/8,0) \times 100 = 41,2$$

Como este equivalente de arena calculado no es un número entero, deberá reportarse como el siguiente entero que es 42.

Si se desea promediar una serie de valores de equivalente de arena, promediar los valores de números enteros, determinados.

Si el promedio de esos valores no es un número entero, elevarlo al siguiente número entero más alto.” (MTC E.114).

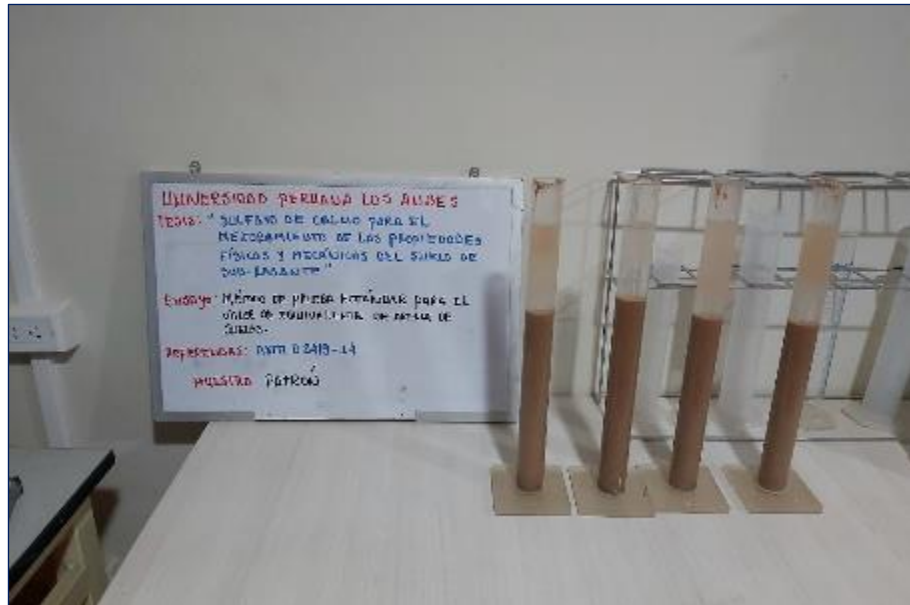


Figura 20. Método de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y áridos finos de acuerdo con la norma ASTM D 2419-14.

## ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

“Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada ( $2\,700\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56\,000\text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$ )). Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de  $101,6$  ó  $152,4$  mm ( $4$  ó  $6$  pulg) de diámetro con un pisón de  $44,5$  N ( $10$  lbf) que cae de una altura de  $457$  mm ( $18$  pulg), produciendo una Energía de Compactación de ( $2700\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56000\text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$ ))” (NTP 339.141).

Según la gradación de las partículas se aplica uno de los métodos que se detallan en la tabla 10.

Tabla 10: Métodos de Compactación (Proctor modificado)

	Método "A"	Método "B"	Método "C"
Molde	101,6 mm de diámetro (4 pulg)	101,6 mm (4 pulg) de diámetro.	152,4 mm (6 pulg) de diámetro.
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4)	Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ pulg)	Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$ pulg)
Capas	5	5	5
Golpes por capa	25	25	56
Usos	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ pulg).	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ pulg).	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$ pulg)
Otros usos	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.	Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.	El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

Fuente: Elaboración propia

### Referencias normativas

- NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).
- ASTM D.1557
- MTC E .115

### Equipos y Materiales

Equipos

- “Ensamblaje del Molde. - Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas.”
- “Molde de 4 o 6 pulgadas. - Un molde con una altura de  $116,4 \pm 0,5$  mm ( $4,584 \pm 0,018$  pulg) y un volumen de  $944 \pm 14$  cm<sup>3</sup> ( $0,0333 \pm 0,0005$  pie<sup>3</sup>).”
- “Pisón ó Martillo.”
- “Balanza. - Una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo.”
- “Horno de Secado. - Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C a través de la cámara de secado.”

#### Materiales

- “Regla metálica, rígida de una longitud no menor que 10 pulgadas.”
- “Tamices - De 19,0 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg), 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) y 4,75mm (Nº 4).”
- “Herramientas de Mezcla. - Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.” (NTP 339.141)

## **Muestra**

- “La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.”
- “Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (N.º 4), 9,5mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) o 19.0mm ( $\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el Método A, B o C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (NTP 339.128 o ASTM C 136). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz o tamices de las cuales la información que se desea.” (NTP 339.141).

## **Procedimiento**

### **Método de preparación en seco**

- “Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (N.º 4), 9,5mm ( $\frac{3}{8}$  pulg) o 19.0mm ( $\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el Método A, B o C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (NTP 339.128 ó ASTM C

136). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información que se desea.”

- “Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes.”
- “Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B ó 5,9 kg (13 libras) cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos en 6.2.2.2 de este ensayo. Seguir la preparación del espécimen por el procedimiento especificado en 6.2.2.3 de este ensayo para los suelos secos ó adicionar agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.”
- “Compactación. - Después del curado, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:”
- “Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 91 kg (200 lbm). Asegurar el plato base a un cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.”
- “Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto

dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 5 mm (2 pulg) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactado o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo ú otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.”

- “Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).”
- “Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5º de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de

tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.”

- “Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde, excepto como se especifica en 6.2.4.7 de este ensayo. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.”
- “Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o secos, se perderá suelo o agua si el plato base se remueve. Para estas situaciones, dejar el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde deberá calibrarse con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio.”



- “Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.”
- “Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 g del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad de acuerdo con el Método ensayo NTP 339.127.” (NTP 339.141)

### **Cálculos**

“Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado.”

“Contenido de Agua, w.- Calcular de acuerdo con Método de Ensayo NTP 339.127.”

“Peso Unitario Seco. - Calcular la densidad húmeda (ecuación 1), la densidad seca (ecuación 2) y luego el Peso Unitario Seco (ecuación 3) como sigue:”

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (1)$$

Donde:

- P<sub>m</sub>: Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)

- Mt: Masa del espécimen húmedo y molde (kg)
- Mmd: Masa del molde de compactación (kg)
- V: Volumen del molde de compactación (m<sup>3</sup>)

$$\rho d = \frac{Pm}{1 + \frac{W}{100}} \quad (2)$$

Donde:

- Pd: Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)
- W: Contenido de agua (%)

$$\gamma d = 62,43 \rho d \text{ en } \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \quad (3)$$

$$\gamma d = 9,807 \rho d \text{ en kN/m}^3$$

Donde:

- $\gamma d$ : Peso unitario seco del espécimen compactado.

“En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:”

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma d}{(\gamma d)(G_s)} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

- W<sub>sat</sub>: Peso unitario seco del espécimen compactado.
- $\gamma_w$ : Peso unitario del agua 9,807kN/m<sup>3</sup> ó (62,43 lb/ pie<sup>3</sup>).
- $\gamma d$ : Peso Unitario Seca del suelo.

- Gs: Gravedad específica del suelo.” (NTP 339.141).



Figura 21. Método de prueba estándar para las características de compactación del suelo en el laboratorio utilizando un esfuerzo modificado según la norma NTP 339.141- ASTM D1557-12e1.

## ENSAYO CBR

“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 E.132)

### **Referencias normativas**

- ASTM D.1883: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.
- MTC E.132

### **Equipos y Materiales**

#### Equipos

- “Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga debe ser de 44,5 kN (10000 lbf) o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44 N (10 lbf) o menos.”
- “Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4mm  $\pm$  0,66 mm (6  $\pm$  0,026”) de diámetro interior y de 177,8  $\pm$  0,46 mm (7  $\pm$  0,018”) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50,8 mm (2,0”) de altura y una placa de base perforada de 9,53 mm (3/8”) de espesor.”
- “Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150,8 mm (5 15/16”) de diámetro exterior y de 61,37  $\pm$  0,127 mm (2,416  $\pm$  0,005”) de espesor (Figura 1b), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.”

- “Pisón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).”
- “Aparato medidor de expansión compuesto por: Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm de diámetro, estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tomillo que permita regular su altura. Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001”).”
- “Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de  $4,54 \pm 0,02$ kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de  $2,27 \pm 0,02$  kg. Las pesas anular y ranurada deberán tener 5 7/8” a 5 15/16” (149,23 mm a 150,81 mm) en diámetro; además de tener la pesa, anular un agujero central de 2 1/8” aproximado (53,98 mm) de diámetro.”
- “Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de  $49,63 \pm 0,13$  mm ( $1,954 \pm 0,005$ ”) de diámetro, área de 19,35 cm<sup>2</sup> (3 pulg<sup>2</sup>).”
- “Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1”) y divisiones lecturas en 0,025 mm (0,001”).”
- “Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.”

- “Estufa, termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.”
- “Misceláneos, Tamices, papel filtro, espátulas, enrasador, pipeta.” (MTC E.132).

### **Muestra**

- “La muestra deberá ser preparada y los especímenes para la compactación deberán prepararse de acuerdo con los procedimientos dados en los métodos de prueba NTP 339.141 o NTP 339.142 para la compactación de un molde de 152,4mm (6”). Se prepara la muestra necesaria.” (MTC. E.132)

### **Procedimiento**

#### **Preparación de la muestra**

- “Se procede como se indica en las normas mencionadas (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo estándar o modificado). De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.”
- “Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación.”

- “Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la norma MTC E.108.”

### **Elaboración de especímenes**

- “Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.”
- “Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados, ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas.”
- “La prueba se efectúa dando 56, 25 y 10 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 56, 25 y 10 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.”
- “Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del Suelo de acuerdo con la Norma MTC E.108. Si la muestra no va a ser sumergida, la porción de material para

determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.”

- “Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base.”

### **Inmersión**

- “Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2,27 kg correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4,54 kg.”
- “Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se



mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) "con el nivel de agua aproximadamente constante."

- “Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento.”
- “Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración.”

### **Penetración**

- “Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con  $\pm 2,27$  kg de aproximación) pero no menor de 4,54 kg.”
- “Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N (5 kg) para que el pistón asiente. Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración.”
- “Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma

automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:”

Tabla 11. Penetración

Milímetros	Pulgada
0,63	0,025
1,27	0,050
1,90	0,075
2,54	0,100
3,17	0,125
3,81	0,150
5,08	0,200
7,62	0,300
10,16	0,400
12,70	0,500

Fuente: MTC E 132

“Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables. Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.” (MTC. E.132).

### **Cálculos**

“Humedad de compactación. El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:”

$$\% \text{ DE AGUA A AÑADIR} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

- H: Humedad prefijada.
- h: Humedad natural.

“Densidad o peso unitario. La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.”

“Agua absorbida. El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta; la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.”

“Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.”

“Presión de penetración. Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva.”

“Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 6.3. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5”).”

Es decir:

$$\%EXPANSIÓN = \frac{L2-L1}{127} \times 100$$

Donde:

- L1: Lectura inicial en mm.
- L2: Lectura final en mm.

“Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:”

Tabla 12. Presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón.

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	Mn/m2	Kgf/cm2	Lb/plg2
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Fuente: MTC E 132

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- “Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.”

- “De la curva corregida tómense los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000lb/plg<sup>2</sup>) y 10,3 MPa (1500 lb/plg<sup>2</sup>) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.” (MTC E.132)



Figura 22. Método de prueba estándar para California Bearing Ratio (CBR) de suelos compactados en laboratorio con normativa ASTM D 1883.

- Combinación del suelo de subrasante con sulfato de calcio con relación al 8 %, 10 % y 12 % con relación a su peso seco.



Figura 23. Mezcla del sulfato de calcio con el suelo patrón.

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

Como resultado de los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo sin y con adición de sulfato de calcio, se obtuvo datos numéricos, por lo tanto, se hizo uso de la técnica cuantitativa, específicamente la estadística descriptiva por el promedio aritmético que fue representado en tablas y figuras.

Asimismo, se utilizó la estadística inferencial para la prueba estadística de las hipótesis, para lo cual se realizó la prueba de normalidad, el cual como dato principal determinó que el análisis estadístico aplicable en esta investigación fue el ANOVA de un factor.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Descripción del trabajo

El desarrollo de esta investigación consistió en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo al adicionar sulfato de calcio. Para ello se consideró el uso del suelo obtenido de la Av. 9 de Diciembre, específicamente entre el jr. Túpac Amaru y el jr. Los Incas, tal como se observa en la siguiente figura, donde se está extrayendo el material a estudiar.

Figura 24. Vista de la extracción de muestras de la zona de estudio.



Los datos obtenidos del suelo patrón, se resume en la siguiente tabla.

Tabla 13. Resumen de las propiedades del suelo patrón

Propiedad	Descripción
Tipo	Suelo patrón
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASTHO	A-5 (6)
Grava	7.17
Arena	16.87
Finos	75.93
Contenido de humedad (%)	9.70
Límite líquido	29.93
Límite plástico	19.90
Índice de plasticidad	10.03
MDS (g/cm <sup>3</sup> )	1.79
OCH (%)	16.59
CBR 0.1" 95%	2.12
CBR 0.1" 100%	3.06
EA (%)	12.20

## 4.2. Propiedades físicas del suelo

### 4.2.1. Límite líquido

El límite líquido, se ha mencionado, que es la cantidad de agua en el suelo para que cambie de un estado plástico a uno semilíquido. En este sentido se ha observado que el valor inicial de esta propiedad fue de 29.933 %, el cual empieza a incrementarse a medida que se adiciona el sulfato de calcio, tal como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Variación del límite líquido en función del sulfato de calcio.

Adición de CaSO <sub>4</sub> (%)	Límite líquido promedio (%)	Desv. Estándar	Variación (%)
0	29.933	0.751	
6	30.700	0.819	2.561
8	32.600	1.179	8.909
10	33.933	0.569	13.363
12	35.833	0.451	19.710

Se obtuvo un pico máximo de 35.833 %, es decir un incremento del 19.71 % respecto al suelo patrón.



La esquematización de estas variaciones se muestra en la Figura.

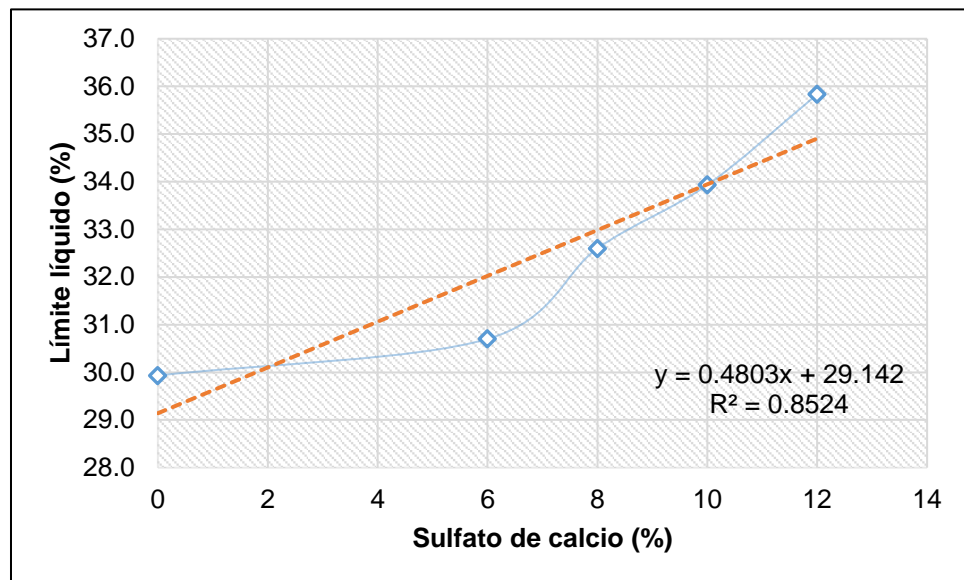


Figura 25. Comportamiento del límite líquido del suelo con adición de sulfato de calcio.

Se puede observar la relación directamente proporcional entre las variables consideradas. Además, la relación encontrada, muestra que la relación entre las variables consideradas tiene un valor de R de 0.92, lo cual indica una correlación muy fuerte.

#### 4.2.2. Límite plástico

El límite plástico indica la cantidad de agua necesaria para poder cambiar al suelo de un estado plástico a uno semisólido, en este sentido se han mostrado variaciones de su valor a medida que se adiciona sulfato de calcio, tal como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Variación del límite plástico en función del sulfato de calcio.

Adición de CaSO <sub>4</sub> (%)	Límite plástico promedio (%)	Desv. Estándar	Variación (%)
0	19.900	0.361	
6	21.767	0.306	9.380
8	24.233	0.473	21.776
10	27.500	0.954	38.191
12	30.900	0.361	55.276

El valor se incrementa desde 19.90 % hasta 30.90 %, lo cual implica incrementos de hasta 55.276 % respecto al suelo patrón.

Lo expresado en la tabla anterior, se puede explicar de mejor manera en la Figura 26, en la cual se puede observar una tendencia positiva a medida que se incrementa el sulfato de calcio en el suelo.

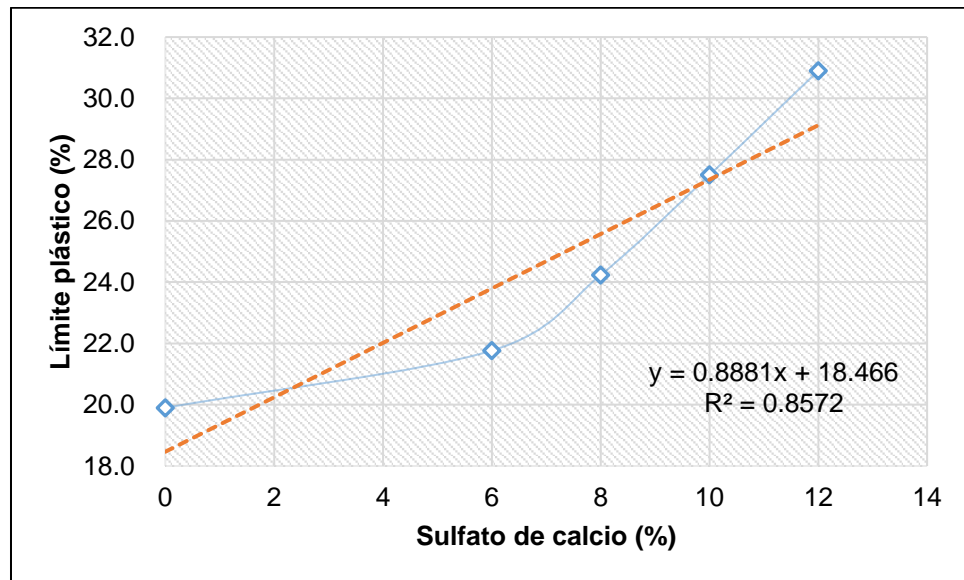


Figura 26. Comportamiento del límite plástico del suelo con adición de sulfato de calcio.

El valor de correlación R es superior a 0.80 y es ajustable a la siguiente ecuación:  $y=0.881x+18.466$ . Esto demuestra que, a mayor cantidad de sulfato de calcio, el límite líquido es mayor.

### 4.2.3. Índice de plasticidad

El último aspecto importante de la plasticidad del suelo fue la determinación del índice de plasticidad, el cual se ha obtenido de la diferencia entre el límite líquido y el plástico; en este sentido, se ha observado que la concentración del sulfato de calcio modifica las cantidades del índice de plasticidad.

Tabla 16. Comportamiento del índice de plasticidad del suelo con adición de sulfato de calcio.

Adición de CaSO <sub>4</sub> (%)	Índice de plasticidad promedio (%)	Desv. Estándar	Variación (%)
0	10.033	0.416	
6	8.933	0.551	-10.963
8	8.367	1.501	-16.611
10	6.467	1.531	-35.548
12	4.933	0.757	-50.831

Como se observa pasa de un valor promedio de 10.033 % a 4.933%, es decir disminuye en cerca del 50.831 %. El manual de carreteras MTC (2014), caracteriza al valor inicial como un suelo arcilloso de media plasticidad ( $IP \leq 20$ ,  $IP > 7$ ), y al valor con la adición al 12% como un suelo poco arcilloso de baja plasticidad ( $IP < 7$ ).

En este sentido se ha podido denotar una disminución de los valores del índice de plasticidad, el cual puede ajustarse a una ecuación obtenida por regresión lineal, pues su factor de correlación es mayor a 0.80, tal como se observa en la Figura 27.

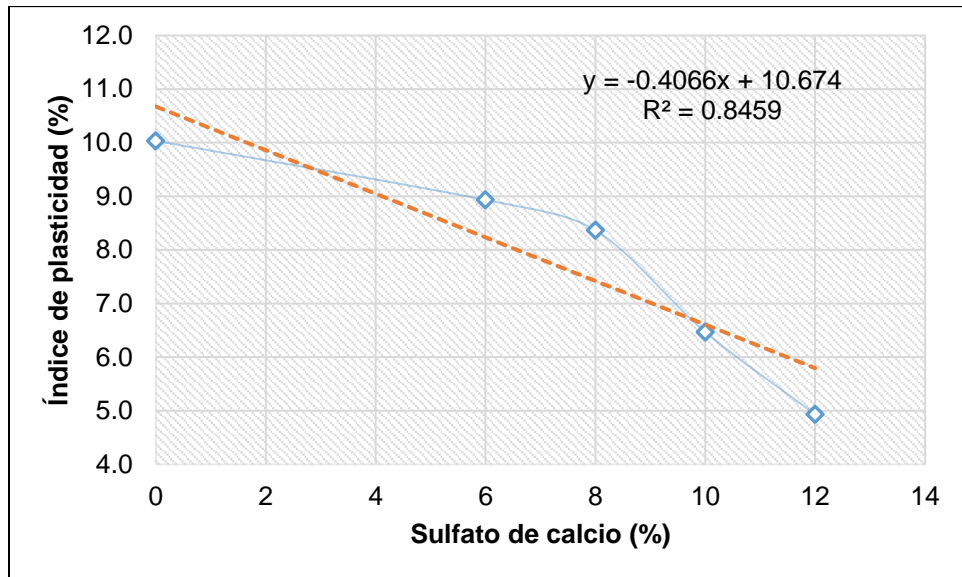


Figura 27. Comportamiento del índice de plasticidad del suelo con adición de sulfato de calcio.

La disminución del índice de plasticidad se puede interpretar como una mejora de las propiedades, pues según el Manual de Carreteras del MTC (2014), valores menores a 20 son ideales para su aplicación como subrasantes de carreteras; pues con un valor inferior a 7 se puede asumir que el suelo se comporta como uno poco arcilloso.

#### 4.2.4. Variación del equivalente de arena

Esta propiedad indica la cantidad de polvo nocivo o la cantidad de material arcilloso que se encuentra en el suelo o también en los agregados finos. Es por ello su importancia para poder estimar su valor, las cuales se describe con mayor claridad en la tabla 17.

Tabla 17. Variación del equivalente de arena del suelo con adición de sulfato de calcio.

Adición de CaSO <sub>4</sub> (%)	Equivalente de arena (%)	Desv. Estándar	Variación (%)
0	12.200	0.265	
6	13.733	0.451	12.568
8	14.133	0.289	15.847
10	14.900	1.058	22.131
12	15.033	0.493	23.224

Los resultados se pueden interpretar que a mayor cantidad de sulfato de calcio su valor se incrementa, con una adición del 12% se obtuvo el valor de 15.033, el manual de carreteras del MTC (2014) clasifica, si (EA < 20), indica que el suelo es plástico y arcilloso.

La interpretación esquemática de esta propiedad del suelo se muestra en la siguiente Figura 28, donde se representa la tendencia del comportamiento que presenta el equivalente de arena a medida que se incrementa la cantidad de sulfato calcio en el suelo.

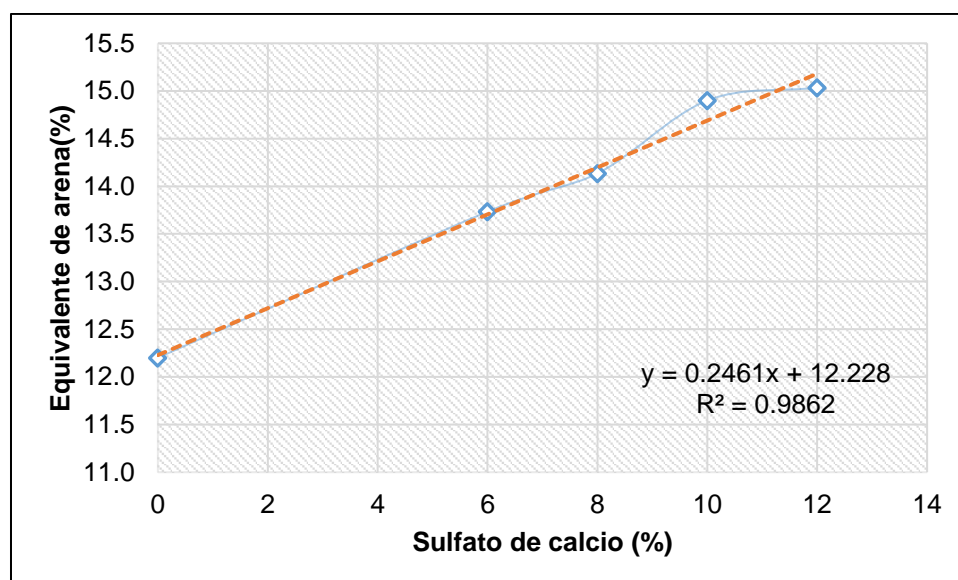


Figura 28. Variación del equivalente de arena del suelo con adición de sulfato de calcio.

Otro aspecto importante es mencionar que la relación entre las variables analizadas puede representarse mediante una ecuación, en

el que el valor de R, es mayor a 0.9, indicando la alta correlación de los valores obtenidos en laboratorio.

### 4.3. Propiedades mecánicas del suelo

#### 4.3.1. Variación de la compactación del suelo

La compactación del suelo es una propiedad que depende de dos aspectos muy importantes que son determinados mediante los ensayos de Proctor; estos son: el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca. Sus valores se describen a continuación.

##### Óptimo contenido de humedad

En general se puede describir que el comportamiento del óptimo contenido de humedad es ascendente, pues se ha denotado que a medida que la concentración de sulfato de calcio se incrementa en el suelo, este valor aumenta, es decir, que se requiere la demanda de agua para poder incrementar la compactación del suelo.

Tabla 18. Variación del óptimo contenido de humedad del suelo con adición de sulfato de calcio.

Adición de CaSO <sub>4</sub> (%)	Óptimo contenido de humedad (%)	Desv. Estándar	Variación (%)
0	16.593	0.684	
6	18.213	1.046	9.763
8	21.373	0.852	28.807
10	23.423	0.876	41.161
12	25.277	0.949	52.330

El valor se incrementa desde 16.59 % hasta 25.27 % con una adición del 12% de sulfato de calcio, lo cual implica incrementos de hasta 55.276 % respecto al suelo patrón.

La representación gráfica del comportamiento del suelo se muestra en la figura 29.

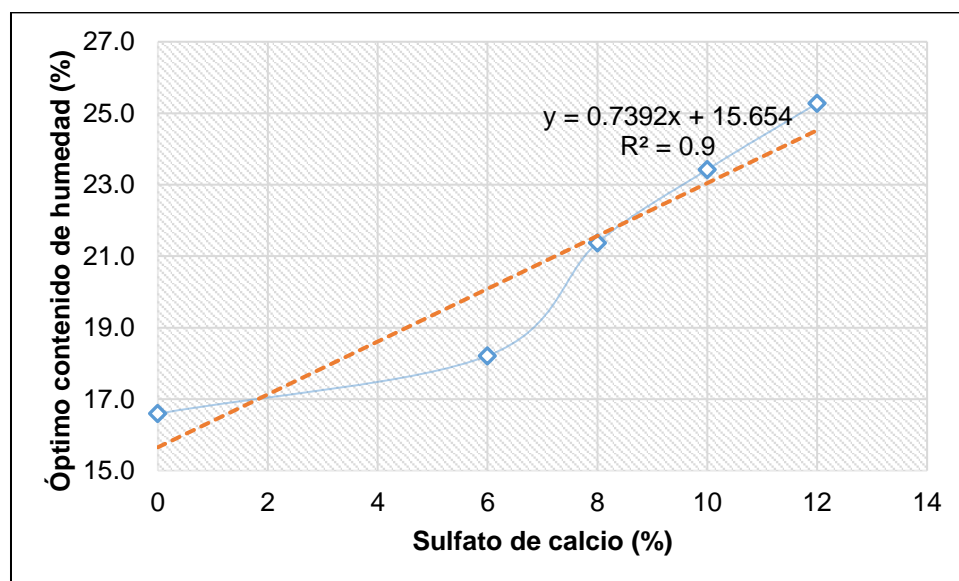


Figura 29. Variación del óptimo contenido de humedad del suelo con adición de sulfato de calcio.

Se puede denotar una tendencia positiva a medida que se incrementa la cantidad de sulfato de calcio en el suelo; la cual también es posible ajustar a una función lineal como se muestra en el gráfico.

### Máxima densidad seca

El segundo parámetro indicador de la compactación es la máxima densidad seca que el suelo puede alcanzar a medida que la cantidad de sulfato de calcio aumenta.

Tabla 19. Variación de la máxima densidad seca con la adición de sulfato de calcio.

Adición de CaSO <sub>4</sub> (%)	Máxima densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Desv. Estándar	Variación (%)
0	1.786	0.025	
6	1.795	0.023	0.523
8	1.810	0.017	1.325
10	1.844	0.011	3.229
12	1.807	0.013	1.157

Los resultados de laboratorio mostraron que, si bien existe una tendencia positiva, lo cierto es que esta tendencia solo se da hasta un

porcentaje de 10 %, después de ello su valor disminuye de manera drástica de 1.844 g/cm<sup>3</sup> a 1.807 g/cm<sup>3</sup>; además que se puede denotar un incremento respecto del suelo patrón en 3.229 %.

La tendencia ascendente y posteriormente descendente se muestra en la figura 30.

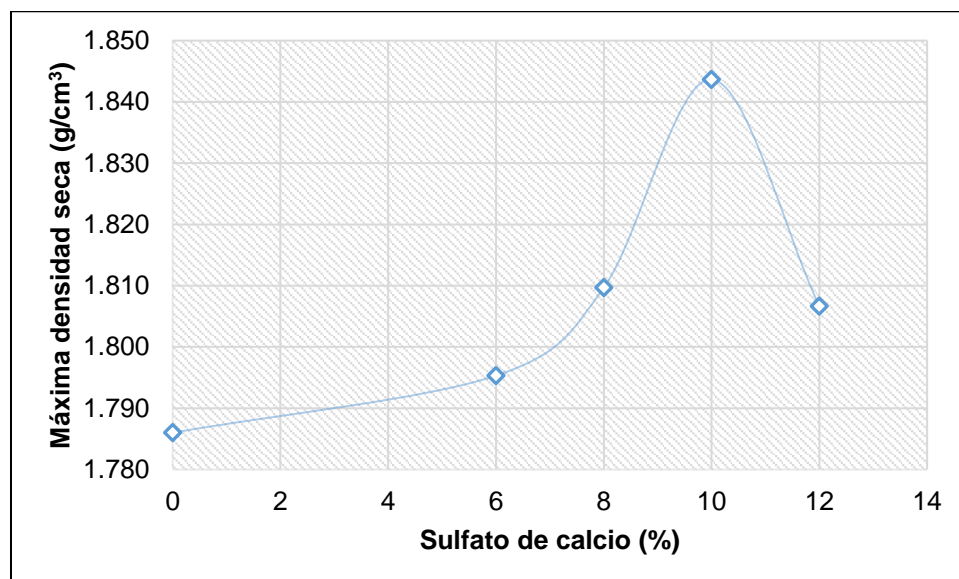


Figura 30. Variación de la máxima densidad seca del suelo con adición de sulfato de calcio.

El mayor valor alcanzado fue de 1.844 g/cm<sup>3</sup> cuando la dosificación de sulfato de calcio fue de 10%, después de ello su valor disminuye. Otro punto relevante fue que, debido al comportamiento de esta propiedad, no se puede ajustar su valor a una ecuación lineal como se ha realizado en las demás propiedades.

#### 4.3.2. Variación de la capacidad de soporte del suelo

De las propiedades del suelo que son representativas, la capacidad de soporte es uno de los principales, pues es un indicador de la resistencia que el suelo posee. Es por esto que se tuvo cuidado



al momento de su medición, obteniendo así los resultados que se muestran en la Tabla 20.

En general se puede observar que el comportamiento de la resistencia no es lineal, por lo que se destaca un pico, después del cual su valor tiende a disminuir.

Tabla 20. Variación de la capacidad de soporte del suelo al 95 %MDS con la adición de sulfato de calcio.

Adición de CaSO <sub>4</sub> (%)	CBR al 95% (%)	Desv. Estándar	Variación (%)
0	2.123	0.163	
6	3.127	0.155	47.253
8	4.117	0.168	93.878
10	4.913	0.127	131.397
12	4.570	0.115	115.228

Un aspecto relevante, que es necesario destacar, fue que la concentración máxima de sulfato de calcio que alcanzó el mayor valor de CBR del suelo fue de 10 %, lo cual implicó un incremento en 131.397 % respecto al suelo patrón. Así mismo el manual de carreteras del MTC (2014), al valor inicial de 2.123 categoriza como una subrasante inadecuada (CBR<3%) y al valor máximo alcanzado de 4.913 como una subrasante insuficiente (CBR $\geq$  3% A CBR<6%). Siendo el valor mínimo de CBR 6% por el manual del MTC, en ese sentido el suelo no es apto para capa de subrasante.

En la Figura 31. se observa con mayor claridad el comportamiento del suelo cuando se le adiciona sulfato de calcio, destacándose que el valor del CBR al 95 % de MDS, se incrementa de 2.123 % a 4.913 %, después de ello, disminuye a 4.57%.

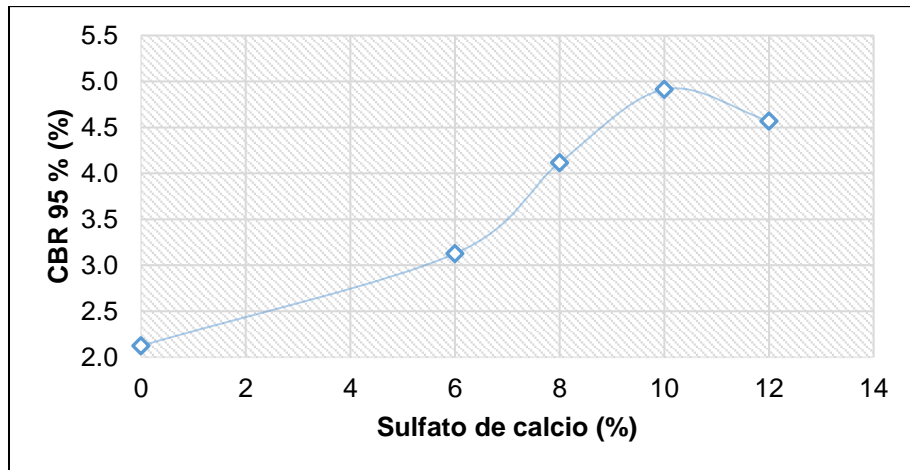


Figura 31. Variación de la capacidad de soporte del suelo al 95 %MDS con la adición de sulfato de calcio.

Lo descrito anteriormente demuestra que la capacidad del sulfato de calcio no es suficiente para poder alcanzar valores de CBR recomendados por la normativa vigente, sin embargo, esto podría ser porque el suelo utilizado es un material muy plástico con un valor de CBR inferior al 3 %.

Otro aspecto de control, fue la determinación del CBR del suelo al 100 % de la máxima densidad seca (MDS), aunque dicho análisis es representativo pues la norma recomienda realizar el control de esta propiedad con un CBR al 95 % de la MDS.

Los resultados obtenidos en laboratorio, se han representado en la Tabla 21 y Figura 32 en la que se puede denotar un comportamiento similar a lo descrito para el CBR al 95 % de la MDS.

Tabla 21. Variación de la capacidad de soporte del suelo al 100 %MDS con la adición de sulfato de calcio.

Adición de CaSo <sub>4</sub> (%)	CBR al 100% (%)	Desv. Estándar	Variación (%)
0	3.063	0.076	
6	4.193	0.396	36.888
8	5.320	0.411	73.667
10	7.087	0.191	131.338
12	5.377	0.517	75.517

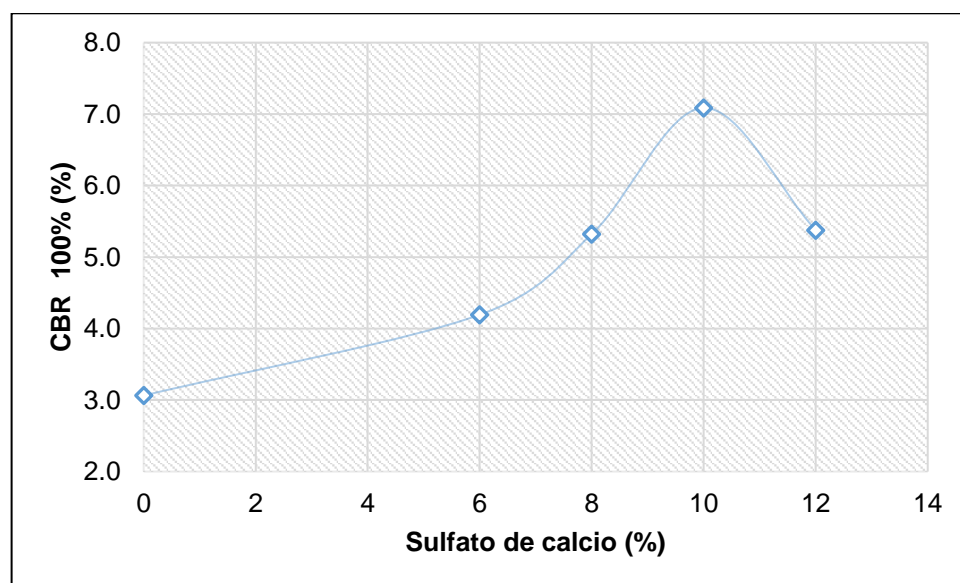


Figura 32. Variación de la capacidad de soporte del suelo al 100 %MDS con la adición de sulfato de calcio.

#### 4.4. Prueba de hipótesis

##### 4.4.1. Prueba de normalidad

Para la determinación de los métodos estadísticos para demostrar la hipótesis fue necesario realizar la evaluación de la normalidad de los datos obtenidos en laboratorio. En este sentido, se ha podido denotar que el método para este aspecto fue el establecido por Shapiro – Wilk, pues la cantidad de las muestras analizadas por cada grupo de análisis es menor a 50.

En la Tabla 22, se puede observar que, del análisis de normalidad, los resultados obtenidos después del análisis de

laboratorio de las variables límites de consistencia, equivalente de arena, compactación y capacidad de soporte del suelo, poseen una significancia mayor a 0.05; esto indica que los datos obtenidos presentan una distribución normal.

Tabla 22. Prueba de normalidad de los datos de laboratorio.

Grupos		Pruebas de normalidad		
		Shapiro-Wilk	gl	Sig.
		Estadístico		
<b>Límite líquido (%)</b>	Suelo patrón	1,00	3,00	0,93
	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	0,96	3,00	0,59
	Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	0,95	3,00	0,58
	Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	0,94	3,00	0,51
	Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	1,00	3,00	0,88
<b>Límite plástico (%)</b>	Suelo patrón	0,94	3,00	0,54
	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	0,96	3,00	0,64
	Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	0,91	3,00	0,41
	Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	0,79	3,00	0,10
	Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	0,94	3,00	0,54
<b>Índice de plasticidad (%)</b>	Suelo patrón	0,92	3,00	0,46
	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	0,82	3,00	0,17
	Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	1,00	3,00	0,93
	Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	0,78	3,00	0,06
	Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	0,85	3,00	0,25
<b>Equivalente de arena</b>	Suelo patrón	0,89	3,00	0,36
	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	1,00	3,00	0,88
	Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	0,75	3,00	0,00
	Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	0,89	3,00	0,36
	Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	0,83	3,00	0,19
<b>Óptimo contenido de humedad (%)</b>	Suelo patrón	0,94	3,00	0,54
	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	0,95	3,00	0,59
	Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	0,97	3,00	0,68
	Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	1,00	3,00	0,90
	Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	1,00	3,00	0,96
<b>Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	Suelo patrón	0,82	3,00	0,17
	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	1,00	3,00	0,90
	Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	0,85	3,00	0,24
	Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	1,00	3,00	0,92
	Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	0,99	3,00	0,82
<b>CBR al 100 % de la MDS</b>	Suelo patrón	0,96	3,00	0,64
	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	0,80	3,00	0,12
	Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	0,92	3,00	0,47
	Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	0,93	3,00	0,50
	Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	0,93	3,00	0,50

En tal contexto, la normalidad de los datos da la facultad de poder establecer el método necesario para probar las hipótesis; siendo que el método utilizado fue el análisis ANOVA de un factor.

#### **4.4.2. Hipótesis específicas**

Para demostrar la hipótesis específica de la presente investigación, se ha establecido dos enunciados; siendo el primero la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la segunda la hipótesis alterna ( $H_1$ ); el cual será reiterativo en todas las demás pruebas de hipótesis.

##### **Hipótesis específica a**

$H_{a0}$ : Al incorporar sulfato de calcio no se incrementa la consistencia del suelo de subrasante.

$H_{a1}$ : Al incorporar sulfato de calcio se incrementa la consistencia del suelo de subrasante.

Para demostrar cuál de las hipótesis es la correcta, se ha aplicado el método ANOVA con el fin de comparar los grupos considerados en la presente investigación. Los resultados

Los valores de significancia obtenido mediante el análisis ANOVA, demuestran que su valor en todos los parámetros que compone esta variable es 0.00; lo cual se puede interpretar, estableciéndose que existe una variación significativa entre los grupos analizados ( $p < 0.05$ ).

Tabla 23. Análisis ANOVA de la consistencia del suelo.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Límite líquido (%)</b>	Entre grupos	68.86	4.00	17.22	27.33	0.00
	Dentro de grupos	6.30	10.00	0.63		
	Total	75.16	14.00			
<b>Límite plástico (%)</b>	Entre grupos	234.04	4.00	58.51	196.78	0.00
	Dentro de grupos	2.97	10.00	0.30		
	Total	237.02	14.00			
<b>Índice de plasticidad (%)</b>	Entre grupos	49.72	4.00	12.43	11.01	0.00
	Dentro de grupos	11.29	10.00	1.13		
	Total	61.02	14.00			

Tabla 24. Comparación de grupos de la consistencia del suelo.

Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza de confianza		
					Límite inferior	Límite superior	
<b>Límite líquido (%)</b>	Suelo patrón	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	-0.77	0.65	0.76	-2.90	1.37
		Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	-2,66667*	0.65	0.01	-4.80	-0.53
		Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	-4,00000*	0.65	0.00	-6.13	-1.87
		Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	-5,90000*	0.65	0.00	-8.03	-3.77
<b>Límite plástico (%)</b>	Suelo patrón	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	-1,86667*	0.45	0.01	-3.33	-0.40
		Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	-4,33333*	0.45	0.00	-5.80	-2.87
		Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	-7,60000*	0.45	0.00	-9.07	-6.13
		Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	-11,00000*	0.45	0.00	-12.47	-9.53
<b>Índice de plasticidad (%)</b>	Suelo patrón	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	1.10	0.87	0.72	-1.76	3.96
		Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	1.67	0.87	0.37	-1.19	4.52

Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	3,56667*	0.87	0.01	0.71	6.42
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	5,10000*	0.87	0.00	2.24	7.96

En la Tabla 24, se muestra la comparación de los grupos considerados en la investigación. En este contexto se puede establecer que al analizar el límite líquido del suelo patrón, difieren de manera significativa con los porcentajes de sulfato de calcio de 8 %, 10 % y 12 %. En el límite plástico, se observa que las diferencias significativas se dan entre todos los porcentajes; mientras que, en el índice de plasticidad, solo se da con los porcentajes del 10 y 12 % de sulfato de calcio. Para la mejor comprensión del comportamiento del suelo con adición de sulfato de calcio, se ha procedido a agrupar aquellos grupos que poseen similares valores de significancia, tal como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 25. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del límite líquido.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
<b>Suelo patrón</b>	3.00	29.93			
<b>Suelo más 6 % de CaSO<sub>4</sub></b>	3.00	30.70	30.70		
<b>Suelo más 8 % de CaSO<sub>4</sub></b>	3.00		32.60	32.60	
<b>Suelo más 10 % de CaSO<sub>4</sub></b>	3.00			33.93	33.93
<b>Suelo más 12 % de CaSO<sub>4</sub></b>	3.00				35.83
<b>Sig.</b>		0.76	0.09	0.31	0.09

Tabla 26. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del límite plástico.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Suelo patrón	3.00	19.90				
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00		21.77			
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00			24.23		
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00				27.50	
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00					30.90
<b>Sig.</b>		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 27. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del índice de plasticidad.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00	4.93		
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00	6.47	6.47	
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00		8.37	8.37
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00		8.93	8.93
Suelo patrón	3.00			10.03
<b>Sig.</b>		0.44	0.10	0.37

– Conclusión de la hipótesis específica a

Con base a lo descrito en el análisis de la hipótesis, se puede llegar a establecer que, si existe un incremento significativo de la consistencia del suelo al adicionar sulfato de calcio en proporciones del 6 %, 8 %, 10 % y 12 %; pues la significancia obtenida fue mayor a 0.05 y los valores del límite líquido y plástico disminuye el valor del índice de plasticidad. Aceptándose así, la hipótesis alterna.

### Hipótesis específica b

H<sub>b0</sub>: La adición de sulfato de calcio no incrementa los valores del equivalente de arena del suelo de subrasante.

H<sub>b1</sub>: La adición de sulfato de calcio incrementa los valores del equivalente de arena del suelo de subrasante.

Para demostrar cuál de las hipótesis es la correcta, se ha aplicado el método ANOVA con el fin de comparar los grupos



considerados en la presente investigación, cuyos valores se muestran en la Tabla 28.

El valor de la significancia obtenida demuestra que existe una variación significativa, pues su valor fue menor a 0.05.

Tabla 28. Análisis ANOVA de la consistencia del equivalente de arena.

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre grupos	15.62	4.00	3.91	11.35	0.00
Dentro de grupos	3.44	10.00	0.34		
Total	19.06	14.00			

Para la determinación de los grupos que poseen mayor variación significativa, se ha realizado la comparación de grupos mediante el método de Tukey, obtenido así que el suelo patrón diere con mayor significancia con el suelo más 10 y 12 % de sulfato de calcio, pues el valor de  $p=0.00$ . También es necesario resaltar que con las proporciones de 6 % y 8 % existe una variación significativa pues los valores obtenidos fueron de 0.06 y 0.02; los cuales son valores inferiores a lo recomendado ( $p<0.05$ ).

Tabla 29. Comparación de grupos del equivalente de arena.

(I) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
				Límite inferior	Límite superior
<b>Suelo patrón</b>	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	-1.53	0.48	0.06	-3.11 0.04
	Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	-1,93333*	0.48	0.02	-3.51 -0.36
	Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	-2,70000*	0.48	0.00	-4.28 -1.12
	Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	-2,83333*	0.48	0.00	-4.41 -1.26

Complementariamente, también se ha establecido los grupos con similares significancias, determinándose así dos grupos, el primero que lo componen el suelo patrón y el suelo con 6% de sulfato de calcio; mientras

que el segundo lo componen el resto de grupos, tal como se puede observar en la Tabla 30.

Tabla 30. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del equivalente de arena.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Suelo patrón	3.00	12.20	
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00	13.73	13.73
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00		14.13
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00		14.90
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00		15.03
<b>Sig.</b>		0.06	0.12

– Conclusión de la hipótesis específica b

Con base a lo descrito en el análisis de la hipótesis, se ha llegado a establecerse que, si existe un incremento significativo del equivalente de arena, pues la significancia es menor a 0.05 y los valores del EA aumenta a medida que se incrementa la cantidad de sulfato de calcio.

### Hipótesis específica c

H<sub>co</sub>: Al adicionar sulfato de calcio no se mejora la compacidad del suelo de subrasante.

H<sub>c1</sub>: Al adicionar sulfato de calcio se mejora la compacidad del suelo de subrasante.

Para demostrar cuál de las hipótesis es la correcta, se ha aplicado el método ANOVA con el fin de comparar los grupos considerados en la presente investigación.

El valor de la significancia obtenida demuestra que existe una variación significativa, pues su valor para los parámetros que

componen la compactación fue menor a 0.05, tal como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 31. Análisis ANOVA de la consistencia de la compactación

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Óptimo contenido de humedad (%)</b>	Entre grupos	0.01	4.00	0.00	4.13	0.03
	Dentro de grupos	0.00	10.00	0.00		
	Total	0.01	14.00			
<b>Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	Entre grupos	154.45	4.00	38.61	48.79	0.00
	Dentro de grupos	7.91	10.00	0.79		
	Total	162.36	14.00			

Para la determinación de los grupos que poseen mayor variación significativa, se ha realizado la comparación de estos, mediante el método de Tukey, obtenido así que, al analizar el comportamiento del óptimo contenido de humedad del suelo patrón, este difiere de manera significativamente con el suelo más la adición de 10 %; mientras que con los demás grupos no existe diferencia significativa, pues el valor de la significancia fue mayor a 0.05.

Respecto a la máxima densidad seca, se ha podido establecer que los grupos de suelo con 8 %, 10 % y 12 % diferente de manera significativa con el valor obtenido con el suelo patrón, pues el valor “p” es igual a 0.00; mientras que el porcentaje del 6 % no difieren de este, debido a que la significancia obtenido mediante el método de Tukey es de 0.24.

Todo lo descrito anteriormente se puede observar en la Tabla 32, en la que además de la significancia, también se muestra la diferencia entre las medias de cada grupo analizado.

Tabla 32. Comparación de grupos de los parámetros de la compactación.

Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza		
					Límite inferior	Límite superior	
<b>Óptimo contenido de humedad (%)</b>	Suelo patrón	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	-0.01	0.02	0.97	-0.06	0.04
		Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	-0.02	0.02	0.56	-0.07	0.03
		Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	-,05767*	0.02	0.02	-0.11	-0.01
		Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	-0.02	0.02	0.67	-0.07	0.03
<b>Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	Suelo patrón	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	-1.62	0.73	0.24	-4.01	0.77
		Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	-4,78000*	0.73	0.00	-7.17	-2.39
		Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	-6,83000*	0.73	0.00	-9.22	-4.44
		Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	-8,68333*	0.73	0.00	-11.07	-6.29

Se ha desarrollado el agrupamiento de los grupos con similar significancia para los parámetros de la compactación del suelo (óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca). Es en este sentido que, para el óptimo contenido de humedad fueron necesarios la agrupación en dos subconjuntos; mientras que, para la máxima densidad seca, fue necesario la consideración de tres subconjuntos tal como se puede observar en la Tabla 33 y Tabla 34.

Tabla 33. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento del óptimo contenido de humedad.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Suelo patrón	3.00	1.79	
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00	1.80	1.80
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00	1.81	1.81
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00	1.81	1.81
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00		1.84
<b>Sig.</b>		0.56	0.06

Tabla 34. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento de la máxima densidad seca.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Suelo patrón	3.00	16.59		
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00	18.21		
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00		21.37	
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00		23.42	23.42
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	3.00			25.28
<b>Sig.</b>		0.24	0.10	0.15

- Conclusión de la hipótesis específica c

Con base a lo descrito en el análisis de la hipótesis, se ha llegado a la conclusión de que, si existe un incremento significativo de la compactación del suelo, pues la significancia es menor a 0.05 y los valores del óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca se incrementan, por lo que se aceptó la hipótesis alterna.

#### Hipótesis específica d

H<sub>d0</sub>: Al añadir sulfato de calcio se incrementa los valores de la capacidad de soporte del suelo de subrasante.

H<sub>d1</sub>: Al añadir sulfato de calcio no se incrementa los valores de la capacidad de soporte del suelo de subrasante.

Para demostrar cuál de las hipótesis es la correcta, se ha aplicado el método ANOVA con el fin de comparar los grupos considerados en la presente investigación.

En la mencionada tabla, se observa que de acuerdo al análisis estadístico-realizados a los datos de CBR posee un valor de significación de 0.00; esto demuestra que la adición del sulfato de calcio influye de manera significativa en la capacidad de soporte del suelo (CBR).

Tabla 35. Análisis ANOVA de la capacidad de soporte del suelo.

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre grupos	27.00	4.00	6.75	53.08	0.00
Dentro de grupos	1.27	10.00	0.13		
Total	28.27	14.00			

Con el fin de establecer la diferencia con mayor significancia entre los grupos considerados en el estudio, se ha realizado una comparación de grupos, obteniéndose como resultado lo mostrado en la Tabla 36, donde se puede destacar que el suelo patrón presenta variaciones significativas con todas las proporciones de sulfato de calcio consideradas en la investigación; sin embargo se destaca el 10 % de sulfato de calcio, pues la diferencia de medias entre los grupos analizados fue de -4.023.

Tabla 36. Comparación de grupos de la capacidad de soporte del suelo.

(I) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza		
				Límite inferior	Límite superior	
Suelo patrón	Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	-1,13000*	0.29	0.02	-2.09	-0.17
	Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	-2,25667*	0.29	0.00	-3.21	-1.30
	Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	-4,02333*	0.29	0.00	-4.98	-3.07
	Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	-2,31333*	0.29	0.00	-3.27	-1.36

Como parte complementaria a lo descrito, mediante el análisis ANOVA, se puede realizar la agrupación de subconjuntos con iguales significancia, para así establecer que grupos de los considerados en el presente estudio tienen similares comportamientos. Es por ello que según la Tabla 37, se pudo determinar cuatro grupos; de los cuales se destaca el subconjunto 3, en el que se observa que suelo con acción de sulfato con 8 % y 12 %, poseen valores medios de CBR similares.

Tabla 37. Agrupamiento de subconjuntos con similar comportamiento de la capacidad de soporte del suelo.

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
<b>Suelo patrón</b>	3.00	3.06			
<b>Suelo más 6 % de CaSO<sub>4</sub></b>	3.00		4.19		
<b>Suelo más 8 % de CaSO<sub>4</sub></b>	3.00			5.32	
<b>Suelo más 12 % de CaSO<sub>4</sub></b>	3.00			5.38	
<b>Suelo más 10 % de CaSO<sub>4</sub></b>	3.00				7.09
<b>Sig.</b>		1.00	1.00	1.00	1.00

– Conclusión de la hipótesis específica d

Con base a lo descrito en el análisis de la hipótesis, se ha llegado a la conclusión de que, sí existe un incremento significativo de la capacidad de soporte del suelo, pues la significancia es menor a 0.05 y los valores en cada ensayo incrementaron el CBR, pero solo hasta un porcentaje del 10 % de sulfato de calcio, después de ello, su valor disminuyó.



## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Variación de la consistencia del suelo**

La consistencia del suelo según Crespo (2014) “Es aquel contenido del agua mediante el cual el suelo varía entre sus diferentes estados (líquido, plástico, semi plástica, etc.). Es por ello que la importancia de la estimación de su comportamiento al adicionar sulfato de calcio es fundamental, ya que al ser un componente químico puede modificar su valor, sin la necesidad de agregar elementos granulares.”

Es ante lo descrito que el primer parámetro analizado en la presente investigación fue el límite de plasticidad, el cual como se ha descrito, separa las consistencias líquidas y plásticas del suelo; siendo que, según los resultados obtenidos, su valor se incrementa cuando se adiciona mayor cantidad de sulfato de calcio en el suelo, esto debido a que según Guerrero (2019) “Este material demanda mayor cantidad de agua para su activación.” Los resultados obtenidos respecto a este parámetro no son muy abordados

en las investigaciones, pues en trabajos como los presentado por Machco (2019) “se enfocan en la resistencia o capacidad de soporte del suelo.”

El segundo punto evaluado en el presente trabajo fue el límite plástico, denotándose así un comportamiento similar al obtenido para el límite líquido, pues a mayor concentración de sulfato de calcio su valor se incrementa. Esto puede ser contraproducente hasta cierto punto, sin embargo como se verá líneas adelante, este comportamiento afectará el índice de plasticidad que es uno del parámetros que la norma MTC (2014), recomienda controlar.

Finalmente, la consistencia del suelo se puede reflejar también en el índice de plasticidad, el cual según López y Alarcón (2011) “Es un indicador de la plasticidad del suelo; por lo que es bajo este criterio que el Manual de Suelos, Geología y Pavimentos, establece una clasificación, destacando que valores de IP mayores a 20 son considerados como suelos muy arcillosos.” En este sentido, se ha denotado que al adicionar diferentes proporciones de sulfato de calcio en el suelo su valor disminuye hasta alcanzar un valor de 4.933 %, destacándose así que dicho valor es aceptable por la mencionada norma.

Otro punto interesante, derivado de la determinación de los límites de consistencia fue la clasificación de los suelos que, de acuerdo al método AASTHO, fue A-5 (6). Este valor no se modifica a pesar de la inclusión del sulfato de calcio; concordando así con lo obtenido por Machco (2019), quien a pesar de estudiar un tipo de suelo A-1, tampoco determinó variación de la clasificación, al adicionar un aditivo químico en el suelo.

## **5.2. Variación del equivalente de arena**

El equivalente de arena es un indicador indirecto de la plasticidad de un suelo, pues da como resultado la cantidad de material fino que puede encontrarse en dicho material. Desde un punto de vista de control, la norma menciona que su valor debería ser mayor a 40, para que se considere como un suelo no plástico, o que por lo menos se comporte como uno.

Es cierto que los antecedentes consultados hasta la actualidad no mencionan ninguna referencia sobre esta propiedad, y solo se basan en las principales características mecánicas del suelo como la compactación y la capacidad de soporte; sin embargo, según lo obtenido en los resultados para la determinación de esta propiedad; obtener valores positivos en las propiedades física, asegura de una u otra forma el buen comportamiento mecánico del suelo.

En este sentido según los resultados de laboratorio que se pueden observar en la Tabla 17 se denota que, a mayor cantidad de sulfato de calcio en el suelo, el equivalente se incrementa, logrando alcanzar valores de hasta 15.033 %, lo cual representa un incremento de 23.224 % respecto al suelo patrón. En este sentido es preciso mencionar que en ningún momento se ha podido superar el valor de 20, por lo que el suelo estudiado seguiría siendo considerado como un suelo plástico y arcilloso.

## **5.3. Variación de la compactación del suelo**

Para comprender mejor este aspecto de la compactación, se debe tener en claro que, en laboratorio la mejor forma de obtener un indicio de

su valor es mediante el ensayo Proctor, mediante el cual se obtiene la máxima densidad y el óptimo contenido de humedad de un suelo para poder ser compactado.

Los resultados obtenidos muestran que, la humedad necesaria para la compactación del suelo se incrementa a medida que se adiciona el sulfato de calcio, además y de acuerdo a la mejor dosificación del óptimo contenido de humedad se determinó que la humedad óptima fue de 23.423 %; esto difiere con lo estimado por Fiallos (2016), que pudo establecer un valor de 22.5 % para un suelo arcilloso, sin embargo, es dable reconocer que la diferencia entre ambas investigaciones es de solo casi 1 %.

A diferencia de las demás propiedades analizadas hasta este momento, la máxima densidad seca ha mostrado un comportamiento no lineal, pues como se observa en Figura 30, este parámetro alcanza un valor pico cuando el sulfato de calcio es de 10 %, después de ello su valor tiende a disminuir. El valor máximo de la densidad fue de 1.844 g/cm<sup>3</sup>; lo cual es un tanto diferente a lo obtenido por Fiallos (2016), quien estima un valor óptimo de 1.386 g/cm<sup>3</sup>; sin embargo, tal como se mencionó en el óptimo contenido de humedad, la diferencia entre ambas investigaciones es mínima.

#### 5.4. Variación de capacidad de soporte del suelo

Este parámetro es uno de los más importante dentro de las propiedades mecánicas, así como lo es el índice de plasticidad en las propiedades físicas, es por ello que su estudio e interpretación es abarcado en muchas investigaciones pues, por ejemplo Guerrero (2019) “menciona que la acción de sulfato de calcio en el suelo puede incrementar la capacidad del CBR en más de un 5 %, alcanzando se un pico máximo de 7.90 % cuando la adición de sulfato de calcio fue del 10 %.” Esto concuerda con lo obtenido en la presente investigación, pues según se muestra en la tabla 32 el porcentaje óptimo de sulfato de calcio en el suelo es del 10 %, sin embargo, los valores de su incremento, no lograron superar el valor mínimo que el MTC (2014), exige (6%); esto puede ser a causa de que el valor del CBR del suelo patrón era muy bajo pues su valor fue de 2.123 %.

Valores diferentes se obtuvieron al comparar los resultados con los determinados por Ramos y Lozano (2019), “en la que el menciona que el mejor porcentaje de sulfato de calcio en el suelo es de 15%, pues la capacidad admisible que estimó tuvo valores de hasta 10.5 kg/cm<sup>2</sup>, pero el cual fue determinado después de 21 días.” Esta variación del porcentaje óptimo se debe a que el ensayo realizado en esta investigación es muy diferente al que realizó Ramos y Lozano (2019), además que el CBR calculado se realizó después de 4 días de estar sumergido la muestra en agua.

## CONCLUSIONES

1. La evaluación del sulfato de calcio nos da por resultado que existe una mejora de las propiedades físicas y mecánicas de suelos finos de subrasante, pues disminuye el valor del índice de plasticidad, aumenta el valor del equivalente de arena del suelo, mejora la compactación e incrementa el CBR al 95 % de la máxima densidad del suelo.
2. Del análisis realizado se ha observado que, existe una mejora de la consistencia del suelo en general, pues el índice de plasticidad del suelo patrón disminuyó de 10.033 % a 4.933 % para una dosificación del 12 % de sulfato de calcio, por lo que el suelo patrón pasa de ser un suelo de plasticidad media a uno con plasticidad baja; demostrándose así, que este material es un excelente reductor de la plasticidad de los suelos.
3. Los resultados de laboratorio determinaron que el valor de equivalente de arena se incrementa a medida que se adiciona sulfato de calcio en el suelo, sin embargo, a pesar de ello, sigue teniendo valores inferiores a 20, lo cual lo clasifica como un suelo plástico y arcilloso.
4. La compactación del suelo está representada en la determinación del óptimo contenido de humedad (OCH) y la máxima densidad seca (MDS); es por ello que los resultados obtenidos indican que el OCH, se incrementan a medida que se adiciona sulfato de calcio en el suelo; mientras que la MDS presenta un valor pico, el cual se da cuando el porcentaje de sulfato de calcio es de 10 %.
5. Según la evaluación, se ha comprobado que, el valor de CBR del suelo al 95 % de MDS, presenta un comportamiento ascendente hasta que la

concentración de sulfato de calcio es de 10 %, después de ello, su valor disminuye; sin embargo, a pesar de dicho comportamiento, el valor máximo de CBR que alcanza es de 4.913 %, el cual está muy por debajo de lo requerido por la normativa vigente.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los ingenieros proyectistas de obras de pavimentación, el uso del sulfato de calcio ya que mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso de baja plasticidad, para lo cual se recomienda una concentración máxima de sulfato de calcio de 10 %.
2. A los ingenieros proyectistas de obras de pavimentación se les recomienda, el uso de sulfato de calcio ya que es un material que disminuye la plasticidad del suelo, por lo que es recomendable su uso hasta en 12 %, especialmente en suelos arcillosos de baja plasticidad.
3. A la comunidad científica de las universidades se recomienda, realizar futuras investigaciones evaluando otras propiedades mecánicas como la resistencia al corte en diferentes periodos (7, 14 y 28 días), pues según lo observado en campo, el comportamiento es similar al del cemento, es decir, que a mayor tiempo se puede obtener mayor resistencia.
4. Se recomienda a los bachilleres de ingeniería civil, el estudio del sulfato de calcio con la combinación de otros materiales como la escoria siderúrgica o cemento, pues según los resultados por sí solo no mejora de manera adecuada el valor del CBR.
5. Es recomendable a los proyectistas el estudio del sulfato de calcio en materiales para base o afirmado, los cuales en ciertas ocasiones no cumplen las especificaciones recomendado por la normativa, específicamente cuando se evalúa el índice de plasticidad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNAL, C., 2006. Metodología de la investigación. Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Segunda. México: Pearson Educación. ISBN 9702606454.
- BRAJA, M., 2015. Fundamentos de ingeniería geotécnica. 4ta edició. Mexico D.F.: Cegace Learning. ISBN 9781111576752.
- CCANTO, G., 2010. Metodología de la investigación científica en ingeniería civil. Lima - Perú: Gerccantom.
- CRESPO, C., 2014. Mecánica de suelos y cimentaciones. Quinta. México: Editorial Limusa. ISBN 968-18-6489-1.
- CUADROS, C., 2017. Mejoramiento de las propiedades físico - mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio - 2016. S.I.: Universidad Peruana Los Andes.
- FIALLOS, J., 2016. Análisis comparativo de la estabilización de un suelo cohesivo (arcilloso) por tres métodos químicos cal, cloruro de calcio y sulfato de calcio (yeso) [en línea]. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24784>.
- GUERRERO, R., 2019. Capacidad portante de suelo cohesivo estabilizado con cal y sulfato de calcio en 10 %, 15 % y 25 % [en línea]. Perú: Universidad Privada del Norte. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22300?show=full>.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P., 2014. Metodología de la

investigación. 5°. México D.F.: s.n. ISBN 9786071502919.

LÓPEZ, J. y ALARCÓN, M., 2011. Sulfato de calcio: propiedades y aplicaciones clínicas. Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral, vol. 4, no. 3, pp. 138-143. DOI 10.4067/s0719-01072011000300012.

MACHCO, E., 2019. Aplicación de cal para mejorar la estabilidad de subrasante en la Calle Luna Pizarro A.H. Cueva de los Tallos, Ventanilla, 2019 [en línea]. Lima: Universidad César Vallejo. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45918>.

MAMANI, E., 2018. Estudio técnico económico para la producción de placas de yeso laminado en la empresa «Yesera Palacios» [en línea]. Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/21080/TES-1068.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MTC, 2014. Manual de carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos (Sección suelos y pavimentos). 2014. Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

MTC, 2016. Manual de ensayos de materiales. Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

PALELLA, S. y MARTINS, F., 2012. Metodología de la investigación cuantitativa. 2012. Caracas: FEDUPEL.

RAMOS, J. y LOZANO, J., 2019. Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos [en línea]. Colombia: Universidad de Católica de Colombia. Disponible en:

[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24277/1/ESTABILIZACION DE SUELO MEDIANTE ADITIVOS ALTERNATIVOS CORREGIDO FINAL 2.0.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24277/1/ESTABILIZACION_DE_SUELO_MEDIANTE_ADITIVOS_ALTERNATIVOS_CORREGIDO_FINAL_2.0.pdf).

SINGH, S. y SINGH, G., 2021. Estabilización de suelos arcillosos con residuos de yeso de París y cenizas de cáscara de maní. *International Journal of Engineering Research and Applications* [en línea], vol. 11, no. 1, pp. 17-24. DOI 10.9790/9622-1101041724. Disponible en: [https://www.academia.edu/44996306/Stabilization\\_of\\_Clayey\\_Soil\\_Using\\_Waste\\_Plaster\\_of\\_Paris\\_and\\_Groundnut\\_Shell\\_Ash](https://www.academia.edu/44996306/Stabilization_of_Clayey_Soil_Using_Waste_Plaster_of_Paris_and_Groundnut_Shell_Ash).

VELÁSQUEZ, C., 2018. Influencia del cemento Portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina. S.I.: Universidad Nacional De Cajamarca.

VILLAR, E. y OBLITAS, J., 2020. Mejoramiento de la superficie de rodadura afirmada con la aplicación de cloruro de calcio en la avenida Pradera, Urbanización La Pradera - Pimentel - Chiclayo - Lambayeque [en línea]. Lima: Universidad San Martín de Porres. Disponible en: [http://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6652/cabrera\\_sl-dios\\_md.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/6652/cabrera_sl-dios_md.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

## **ANEXOS**

**Anexo N° 01: Matriz de consistencia**

### Matriz de consistencia

#### Tesis: “Sulfato de calcio para el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuál es el resultado de la adición del sulfato de calcio en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante?</p> <p><b>Problemas específicos:</b> 1. ¿Qué resultado produce la adición de sulfato de calcio en la consistencia del suelo de subrasante? 2. ¿De qué manera el sulfato de calcio actúa en el equivalente de arena del suelo de subrasante? 3. ¿Cuáles son los resultados de la adición de sulfato de calcio en la compactación del suelo de subrasante? 4. ¿Qué resultado se obtiene con la adición del sulfato de calcio en la capacidad de soporte del suelo de subrasante?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Evaluar el resultado de la adición del sulfato de calcio en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> 1. Analizar qué resultado produce la adición de sulfato de calcio en la consistencia del suelo de subrasante. 2. Determinar de qué manera el sulfato de calcio actúa en el equivalente de arena del suelo de subrasante. 3. Indicar cuales son los resultados de la adición de sulfato de calcio en la compactación del suelo de subrasante. 4. Evaluar qué resultado se obtiene con la adición del sulfato de calcio en la capacidad de soporte del suelo de subrasante.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> El sulfato de calcio mejora los valores de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b> 1. Al incorporar sulfato de calcio se incrementa la consistencia del suelo de subrasante. 2. La adición de sulfato de calcio incrementa los valores del equivalente de arena del suelo de subrasante. 3. Al adicionar sulfato de calcio se mejora la compacidad del suelo de subrasante. 4. Al añadir sulfato de calcio se incrementa los valores de la capacidad de soporte del suelo de subrasante.</p>	<p><b>Variable independiente (X):</b> Sulfato de calcio</p> <p><b>Variable dependiente 1 (Y1):</b> Propiedades físicas del suelo.</p> <p><b>Variable dependiente 2 (Y2):</b> Propiedades mecánicas del suelo.</p>	<p>- Sulfato de calcio.</p> <p>- Equivalente de arena.</p> <p>- Consistencia.</p> <p>- Compactación</p> <p>- Capacidad de soporte.</p>	<p>- Cantidad de sulfato de calcio.</p> <p>- Cantidad de arena.</p> <p>- Cantidad de arcilla.</p> <p>- Límite líquido.</p> <p>- Límite plástico.</p> <p>-Índice de plasticidad.</p> <p>-Máxima densidad seca.</p> <p>-Óptimo contenido de humedad.</p> <p>-CBR 95 % MDS</p>	<p><b>Método de investigación:</b> Científico.</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Explicativo.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Experimental.</p> <p><b>Población:</b> Fue el suelo de subrasante de la Avenida 9 de diciembre entre el Jirón Túpac Amaru y el Jr. Los Incas en la provincia de Huancayo del departamento de Junín</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra fue obtenida por medio del tipo de muestreo no probabilístico o intencional, correspondiendo a un total de 60 especímenes.</p>

**Matriz de operacionalización de variables**

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades
<b>Variable independiente (X):</b> sulfato de calcio	Sulfato de calcio	Cantidad de sulfato de calcio	Porcentaje (8%, 10% y 12%)
<b>Variable dependiente 1 (Y<sub>1</sub>):</b> Propiedades físicas del suelo	Equivalente de arena	Lectura de arena	Milímetros (mm)
		Lectura de arcilla	Milímetros (mm)
	Consistencia	Límite líquido	Porcentaje (%)
		Límite plástico	Porcentaje (%)
		Índice de plasticidad	Porcentaje (%)
<b>Variable dependiente 2 (Y<sub>2</sub>):</b> Propiedades mecánicas del suelo	Compactación	Máxima densidad seca	Gramos por centímetro cúbico (g/cm <sup>3</sup> )
		Óptimo contenido de humedad	Porcentaje (%)
	Capacidad de soporte	CBR 95 %MDS	Porcentaje (%)

## **Anexo N° 02: Resumen de los datos de laboratorio**



Tabla 38. Resumen de los datos de laboratorio.

Tipo de suelo	Granulometría			Contenido de humedad (%)	AASTHO	Clasificación Denominación
	Grava	Arena	Finos			
Suelo patrón	6.70	16.40	76.80	10.50	A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo patrón	6.80	17.00	76.20	9.30	A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo patrón	8.00	17.20	74.80	9.30	A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>					A-5 (6)	Arcilla de baja plasticidad

Continuación de la Tabla 38.

Tipo de suelo	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad	EA (%)	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)	CBR	
							CBR 0.1"	100%
Suelo patrón	29.90	20.00	9.90	12.00	1.758	17.38	3.13	
Suelo patrón	29.20	19.50	9.70	12.10	1.793	16.14	3.08	
Suelo patrón	30.70	20.20	10.50	12.50	1.807	16.26	2.98	
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	30.90	21.70	9.20	13.70	1.770	19.29	3.94	
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	31.40	22.10	9.30	13.30	1.801	18.15	3.99	
Suelo más 6 % de CaSO <sub>4</sub>	29.80	21.50	8.30	14.20	1.815	17.20	4.65	
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	32.90	24.60	8.30	14.30	1.791	20.99	4.86	
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	33.60	23.70	9.90	13.80	1.825	20.78	5.45	
Suelo más 8 % de CaSO <sub>4</sub>	31.30	24.40	6.90	14.30	1.813	22.35	5.65	
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	34.40	27.00	7.40	16.10	1.833	23.38	6.93	
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	34.10	26.90	7.30	14.50	1.843	24.32	7.30	
Suelo más 10 % de CaSO <sub>4</sub>	33.30	28.60	4.70	14.10	1.855	22.57	7.03	
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	36.30	30.50	5.80	14.80	1.807	26.17	5.80	
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	35.80	31.20	4.60	14.70	1.819	25.38	5.53	
Suelo más 12 % de CaSO <sub>4</sub>	35.40	31.00	4.40	15.60	1.794	24.28	4.80	

**Anexo N° 03: Informe de laboratorio**

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	17-07-21	M-01	Patón

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECS S.A.C. ANALISIS GRANULOMETRICO SEGUN NORMA ASTM D6913/D6913M-17  
 DISTRITO : CHILCA CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19  
 PROVINCIA : HUANAYO CLASIFICACION: SUCS (ASTM D2487-17) / AASHTO (ASTM D3282-15)  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: \_\_\_\_\_

Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa hectica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Patón

**Análisis Granulométrico ASTM D6913/D6913M-17**

Tamices ASTM E11	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/4"	19.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/8"	9.50 mm	56.00 g	3.7%	96.3%
N° 4	4.75 mm	45.00 g	6.7%	93.3%
N° 10	2.00 mm	37.00 g	9.2%	90.8%
N° 20	0.85 mm	37.00 g	11.7%	88.3%
N° 40	0.43 mm	52.00 g	15.1%	84.9%
N° 60	0.25 mm	48.00 g	18.3%	81.7%
N° 100	0.15 mm	32.00 g	20.4%	79.6%
N° 200	0.08 mm	41.00 g	23.2%	76.8%
PASA		1154.00 g	100.0%	0.0%
		1502.00 g	100.0%	100%

**Contenido de Humedad según ASTM D2216-19**

Variables	Var.	Unidad	Muestra
Recipiente N°	---	---	N° 14
(A) Peso de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	43.45
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>cu</sub>	(g)	223.48
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	205.53
(D) Peso de Suelo Seco (D-A)	M <sub>s</sub>	(g)	161.08
(E) Peso de Agua (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	16.95
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	10.50%

Requisitos mínimos de especímenes de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total  
 - Tamaño máximo partícula: 75 que pasa  
 - Masa mínima recomendada - especímenes =

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3282-15) : A-5 (6)  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.

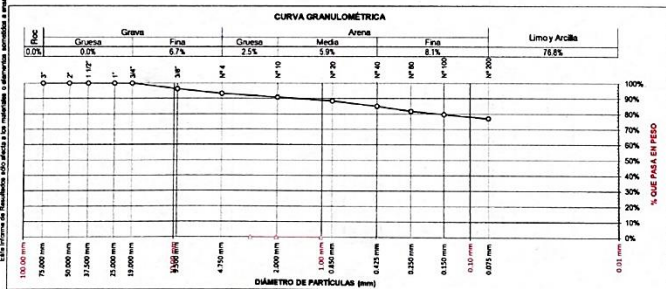
**Coefficientes / Fines < 0.075 mm (ASTM D2487-17)**

D <sub>10</sub>	C <sub>u</sub> = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>50</sub>

C<sub>c</sub> = (D<sub>30</sub>)<sup>2</sup> / (D<sub>10</sub> D<sub>60</sub>)

**Resultados de la Granulometría**

Grava	[N° 4 < φ < 3"]	6.70%
Arena	[N° 200 < φ < N° 4]	16.40%
Fines	[φ < N° 200]	76.60%



Todos los valores observados y calculados se ajustarán a ladecimales para dígitos significativos y redondeo establecidas en la Práctica ASTM D6026

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R.O.

**SILVER GEO SAC**  
 Ingeniería y Construcción S.A.C.  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos

Ing. Cristóbal J. RAMONDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2043352 RUC: 20601685524 [Pag. 01]

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	17-07-21	M-01	Patón

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECS S.A.C. LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4316-17\*  
 DISTRITO : CHILCA CLASIFICACION SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)  
 PROVINCIA : HUANAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

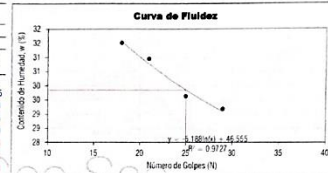
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: \_\_\_\_\_

Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa hectica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Patón

**Limites de Atterberg (ASTM D4316-17)\***

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 14	N° 15	N° 16	N° 17
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	23.65	23.05	22.95	22.76
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>cu</sub>	(g)	30.50	31.40	30.70	31.33
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	29.22	30.05	29.58	29.91
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	6.67	7.00	6.63	7.15
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	1.37	1.35	1.34	1.42
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	20.54	19.29	20.21	19.86



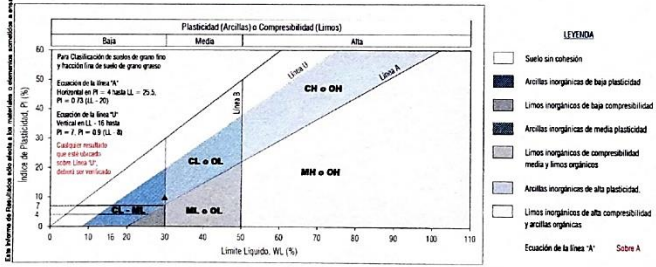
**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 14	N° 15	N° 16	N° 17
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	23.65	23.05	22.95	22.76
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>cu</sub>	(g)	30.50	31.40	30.70	31.33
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	29.22	30.05	29.58	29.91
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	6.67	7.00	6.63	7.15
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	1.37	1.35	1.34	1.42
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	20.54	19.29	20.21	19.86

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4316-17)\***

Liquid Limit (LL<sub>w</sub>) : 29.9% Plastic Limit (PL<sub>w</sub>) : 20.0% Plasticity Index (PI) : 9.9%

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3282-15) : A-5 (6)  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4-21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das (th. Edition)

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R.O.

**SILVER GEO SAC**  
 Ingeniería y Construcción S.A.C.  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos

Ing. Cristóbal J. RAMONDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2043352 RUC: 20601685524 [Pag. 02]



In: Angel Fernandez Queros N° 2809 Int. 184 Urb. Elba Lima  
 Pte. N° 122 132 Chica, Huancayo  
 Telf: 96266488 / 95150154  
 Correo: silvergeo@msn.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	18-07-21	M-01	Patrón

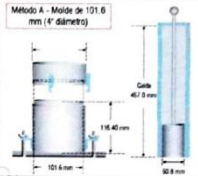
**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**DISTRITO:** CHILCA  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNIN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12a1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-10

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**  
 Modalidad: Muestreo por el cliente  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Identificación muestra: Patrón  
 Símbolo del Suelo: CL  
 Coordenadas UTM: E.O.N.O.  
 Procedimiento Utilizado: Método A  
 Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.

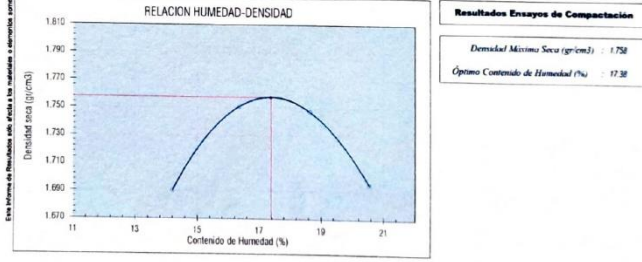
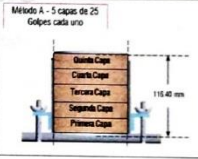
**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12a1)**

Variable	No	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Número de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Número de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelo Humedo & Molde	M <sub>húe</sub>	(g)	5042.00	6042.00	6075.00	6047.00
(B) Peso del Molde	M <sub>m</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Húmedo Compactado	(A - B)	g	900.00	1900.00	1933.00	1905.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup>	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humada	(C/D)	g/cm <sup>3</sup>	1.831	2.038	2.073	2.043



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	No	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 05	N° 06	N° 07	N° 08
(A) Masa de Contenedor Vaco	M <sub>c</sub>	(g)	45.28	46.53	46.64	47.43
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>húe</sub>	(g)	277.42	297.57	297.54	311.22
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sec</sub>	(g)	246.54	262.25	249.50	262.25
(D) Masa de Suelo Seco (B-C)	M <sub>s</sub>	(g)	203.26	215.72	203.05	218.83
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	28.88	35.32	37.85	44.96
(F) Contenido de Humedad (100° E/D)	w	(%)	14.21	16.37	18.64	20.55
(G) Densidad Seca	---	g/cm <sup>3</sup>	1.690	1.751	1.748	1.665



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Geotecnia y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2044352  
 RUC: 20011885524 [Pag. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



In: Angel Fernandez Queros N° 2809 Int. 184 Urb. Elba Lima  
 Pte. N° 122 132 Chica, Huancayo  
 Telf: 96266488 / 95150154  
 Correo: silvergeo@msn.com

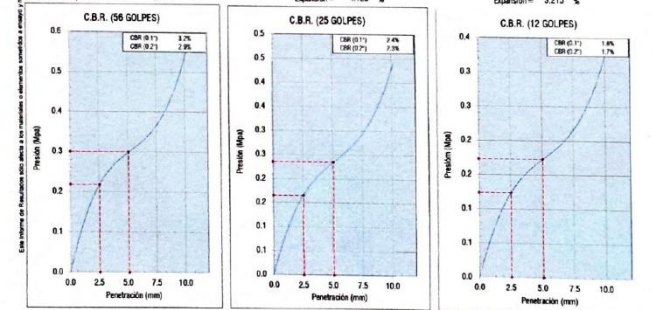
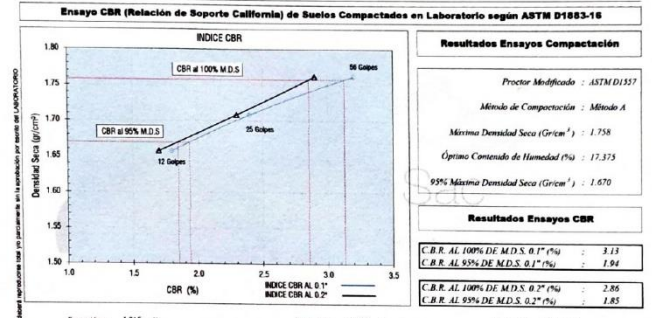
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	19-07-21	M-01	Patrón

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**UBICACIÓN:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**DISTRITO:** CHILCA  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNIN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**  
 Modalidad: Muestreo por el cliente  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Identificación muestra: Patrón  
 Símbolo del Suelo: CL  
 Coordenadas UTM: E.O.N.O.  
 Procedimiento Utilizado: Método A  
 Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Geotecnia y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2044352  
 RUC: 20011885524 [Pag. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD





Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Est. Lima  
 Pte. Nules N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 043426817 79330984  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	17-07-21	M-01	Patrón

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.** ENSAYOS REALIZADOS: **MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGUN NORMA ASTM D2419**

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Elevación manual Napa hástica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Patrón

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGUN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Variables	Nro	Unidad	Ensayos			
				Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	---	---	---	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	---	---	---	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:32 a.m.	09:34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	---	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	---	---	min	12:00 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	---	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Altura Material fino	---	---	pu/g	11.60	12.20	10.70	11.60
(F) Altura arena	---	---	pu/g	1.40	1.50	1.25	1.40
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	---	%	11.9%	12.3%	11.7%	12.1%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	---	(%)	12.0%			

Este Informe de Resultados sólo afecta a las muestras y no debe ser reproducido total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO.

OBSERVACIONES:

Realizado: **Tec. Roy S.R.**  
 Revisado: **Ing. Johnny R. O.**



**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. YANALDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Est. Lima  
 Pte. Nules N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 043426817 79330984  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	17-07-21	M-02	Patrón

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.** ENSAYOS REALIZADOS: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGUN NORMA ASTM D6913/D6913M-17 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19 CLASIFICACIÓN: SUCS (ASTM D2487-17) / AASHTO (ASTM D3282-15)**

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Elevación manual Napa hástica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Patrón

**Análisis Granulométrico ASTM D6913/D6913M-17**

Tamices ASTM E11	Abertura (mm)	Peso Retenido	Peso Acumulado	% Que Pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	0.00 g	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.00 g	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	0.00 g	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	0.00 g	100.0%
3/4"	18.00 mm	0.00 g	0.00 g	100.0%
3/8"	9.50 mm	61.00 g	4.00 g	96.0%
N° 4	4.75 mm	43.00 g	6.8%	93.2%
N° 10	2.00 mm	42.00 g	9.5%	90.5%
N° 20	0.85 mm	42.00 g	12.2%	87.8%
N° 40	0.43 mm	45.00 g	15.4%	84.6%
N° 60	0.25 mm	45.00 g	18.4%	81.6%
N° 100	0.15 mm	52.00 g	20.5%	79.5%
N° 200	0.08 mm	51.00 g	23.6%	76.2%
PASA		1192.00 g	100.0%	0.0%
		1523.00 g	100.0%	100%

**Contenido de Humedad según ASTM D2216-19**

Variables	No	Unidad	Muestra
Recipiente N°	---	---	N° 05
(A) Peso de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	46.36
(B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>uc</sub>	(g)	214.52
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sc</sub>	(g)	205.15
(D) Peso de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	153.79
(E) Peso de Agua (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	14.37
(F) Contenido de Humedad (100°/5/0)	w	(%)	9.30%

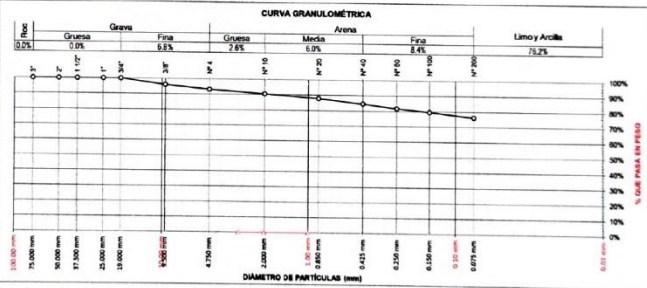
Requisitos mínimos de especimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total - Tamaño máximo partícula "s" que pasa Malla mínima recomendada - especimen -

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : **CL** AASHTO (ASTM D3282-15) : **A-3 (6)**  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.

**Coefficientes / Fines ≤ 12% (ASTM D2487-17)**  
 $D_{10} =$   $C_u = D_{60}/D_{10}$   $D_{30} =$   $D_{60}$   
 $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$

**Resultados de la Granulometría**

Grava [N° 4 < φ < 3"]	6.80%
Arena [N° 200 < φ < N° 4]	17.60%
Finas [φ < N° 200]	76.20%



Todos los valores observados y calculados se ajustarán a adretrices para dígitos significativos y redondeo establecidas en la Práctica ASTM D6913.

OBSERVACIONES:

Realizado: **Tec. Roy S.R.**  
 Revisado: **Ing. Johnny R. O.**



**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. YANALDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 01]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elba Lima  
 Pje. Nulesa N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 04414689 / 93335154  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	17-07-21	M-02	Patrón

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE**

**UBICACION DEL PROYECTO:**

LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO: CHILCA  
 PROVINCIA: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNIN

**ENSAYOS REALIZADOS:**

LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4316-17\*  
 CLASIFICACION SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHITO (ASTM D3282-15)

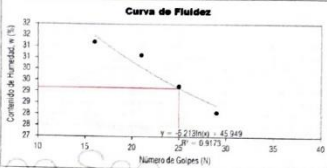
**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**

Modalidad: Muestra por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo: Excavación manual Napa Inesica: N.P. Identificación de muestra: Patrón  
 Coordenadas UTM: E 0 N 0

**Límites de Atterberg (ASTM D4316-17)\***

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	Golpes	16	21	25	29
Recipiente N°	---	---	N° 103	N° 103	N° 104	N° 105
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	22.74	23.14	23.54	23.54
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>hu</sub>	(g)	46.97	48.10	48.11	47.67
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sc</sub>	(g)	41.21	42.25	42.36	42.40
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	18.47	19.11	19.01	19.76
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g)	5.76	5.95	5.56	5.27
(F) Contenido de Humedad (100° E)	w	(%)	31.19	30.61	29.26	29.19

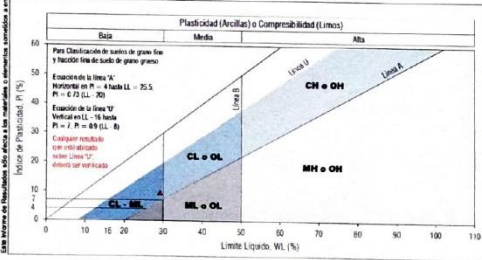


**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 45	N° 46	N° 47	N° 48
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	21.96	22.46	22.36	22.17
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>hu</sub>	(g)	32.56	33.37	32.89	33.30
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sc</sub>	(g)	30.60	31.63	31.16	31.49
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	8.64	9.17	8.80	9.32
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g)	1.76	1.74	1.73	1.81
(F) Contenido de Humedad (100° E)	w	(%)	19.91	19.97	19.66	19.42

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4316-17)\***  
 Líquid Limit (LL, w<sub>L</sub>): 29.2% Plástico Limit (PL, w<sub>p</sub>): 19.5% Plasticity Index (PI): 9.7%

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17): CL AASHITO (ASTM D3282-15): A-5 (6)  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



**LEYENDA**  
 Suelo sin cohesión  
 Arcillas inorgánicas de baja plasticidad  
 Limos inorgánicos de baja compresibilidad  
 Arcillas inorgánicas de media plasticidad  
 Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos  
 Arcillas inorgánicas de alta plasticidad  
 Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas  
 Ecuación de la línea 'A': Sobra A

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4-2 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 8th Edition

Realizado: Tec. Ray S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R.D.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Suelos, Cimentación y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2040352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004586-2018/DSD



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elba Lima  
 Pje. Nulesa N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 04414689 / 93335154  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	18-07-21	M-02	Patrón

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE**

**UBICACION DEL PROYECTO:**

LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO: CHILCA  
 PROVINCIA: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNIN

**ENSAYOS REALIZADOS:**

PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12\*1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19

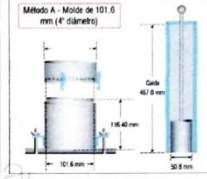
**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**

Modalidad: Muestra por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo: Patrón Simbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM: E 0 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Método A Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.

**Compacción de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)**

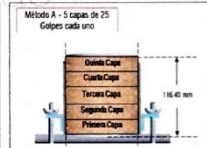
**Compacción según ASTM D1557-12e1**

Variable	Var	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Número de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Número de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelo húmedo & Molde	M <sub>hu</sub>	(g)	5995.30	6072.50	6096.00	6077.50
(B) Masa del Molde	M <sub>m</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Húmedo Compactado (A - B)	M	(g)	1853.00	1930.50	1954.00	1935.50
(D) Volumen del Molde	V	cm³	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humeda	(C/D)	g/cm³	1.987	2.070	2.096	2.075



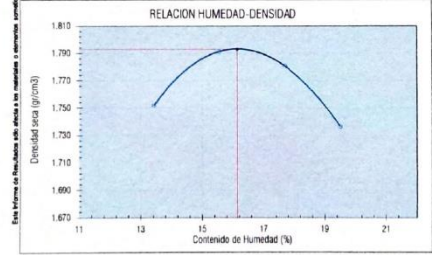
**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 25	N° 26	N° 27	N° 28
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	44.63	45.88	45.99	46.78
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>hu</sub>	(g)	287.45	307.60	297.57	321.25
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sc</sub>	(g)	258.69	272.36	259.74	275.45
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	214.06	226.48	213.75	229.67
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g)	29.76	35.24	37.83	44.80
(F) Contenido de Humedad (100° E)	w	(%)	13.94	15.56	17.70	19.51
(G) Densidad Seca		g/cm³	1.752	1.791	1.781	1.737



**Resultados Ensayos de Compacción**

Densidad Mínima Seca (g/cm³): 1.793  
 Óptimo Contenido de Humedad (%): 16.14



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Ray S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R.O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Suelos, Cimentación y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2040352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004586-2018/DSD

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	19-07-21	M-02	Patrón

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:**

LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECS S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

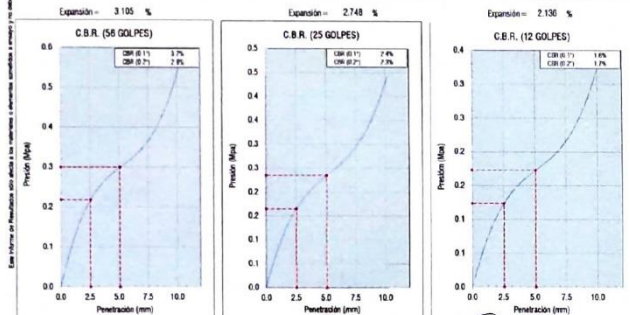
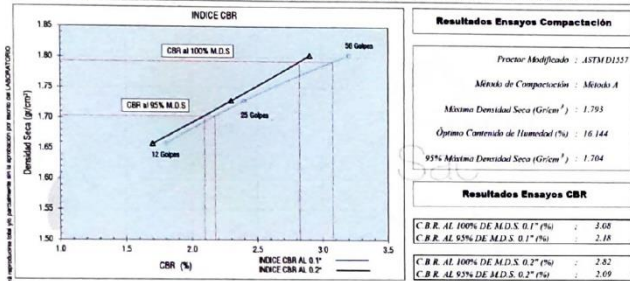
**ENSAYOS REALIZADOS:**

ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**

Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Identificación muestra: Patrón Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM : E 0 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.

**Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16**



OBSERVACIONES:  
 Realizado: Tec. Ray S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Suelos, Cimentación y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352 RUC: 20501885524 [Pág. 04]

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	17-07-21	M-02	Patrón

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:**

LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECS S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

**ENSAYOS REALIZADOS:**

METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGUN NORMA ASTM G2419

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**

Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo: - Napa Plástica: N.P. Coordenadas UTM : E 0 N 0  
 Identificación muestra: Patrón

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM G2419**

Designación	No		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	---	---	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	---	---	12.00 a.m.	09.30 a.m.	09.32 a.m.	09.34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12.00 a.m.	09.40 a.m.	09.42 a.m.	09.44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	---	---	12.00 a.m.	09.41 a.m.	09.43 a.m.	09.45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12.00 a.m.	10.01 a.m.	10.03 a.m.	10.05 a.m.
(E) Altura Material fino	---	pulg	12.20	12.00	11.40	13.40
(F) Altura arena	---	pulg	1.40	1.50	1.25	1.80
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	%	11.5%	12.5%	11.0%	13.4%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)	<b>12.1%</b>			

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Ray S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Suelos, Cimentación y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352 RUC: 20501885524 [Pág. 05]



**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	17-07-21	M-03	Patón

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.** ENSAYOS REALIZADOS: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA ASTM D6913/D6913M-17**

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

Modalidad : Muestreo por el cliente  
 Método de Muestreo : Excavación manual  
 Identificación de muestra : Patón

Profundidad : 1.50 m  
 Napa freática : N.P.  
 Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Coordenadas UTM : E.O.N.0

**Análisis Granulométrico ASTM D6913/D6913M-17**

Tamices ASTM E11 (mm)	Apertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido Acumulado (%)	% Pasa
2"	75.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/4"	18.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/8"	9.50 mm	17.00 g	4.5%	95.4%
Nº 4	4.75 mm	52.00 g	8.0%	92.0%
Nº 10	2.00 mm	36.00 g	10.3%	86.7%
Nº 20	0.85 mm	40.00 g	12.8%	87.2%
Nº 40	0.425 mm	53.00 g	16.2%	83.8%
Nº 60	0.25 mm	55.00 g	19.9%	80.2%
Nº 100	0.15 mm	21.00 g	21.1%	78.9%
Nº 200	0.08 mm	63.00 g	25.2%	74.8%
PASA		157.00 g	100.0%	100%

**Contenido de Humedad según ASTM D2216-19**

Variables	Nro	Unidad	Muestra
Recipiente N°	---	---	N° 25
(A) Peso de Contenedor Vacio	M <sub>c</sub>	(g)	40.35
(B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>1</sub>	(g)	214.52
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>2</sub>	(g)	200.15
(D) Peso de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	153.79
(E) Peso de Agua (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	14.37
(F) Contenido de Humedad (100° E/D)	w	(%)	9.30%

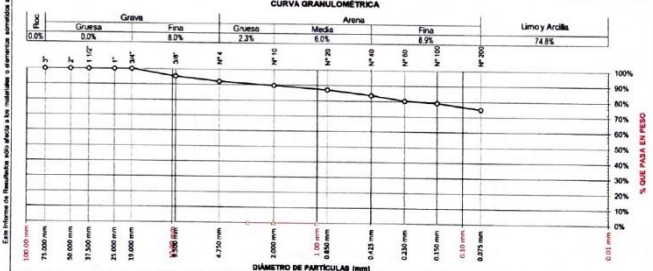
**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : **CL** AASHTO (ASTM D3282-15) : **A-5 (6)**  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.

**Resultados de la Granulometría**

Grava [Nº 20 < Φ < 75"]	8.60%
arena [Nº 200 < Φ < Nº 4]	77.20%
Finos [Φ < Nº 200]	74.80%

**Coefficientes / Finos ≤ 12% (ASTM D2487-17)**

D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>
C <sub>u</sub> = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	C <sub>c</sub> = (D <sub>30</sub> - D <sub>10</sub> ) / (D <sub>60</sub> - D <sub>10</sub> )	



Todos los valores observados y calculados se ajustarán a los directrices para dígitos significativos y redondeo establecidas en la Práctica ASTM E696.  
**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. BAYUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352  
 RUC: 20601685524 [Pag. 01]

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	17-07-21	M-03	Patón

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.** ENSAYOS REALIZADOS: **LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA ASTM D4318-17<sup>1</sup>**

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

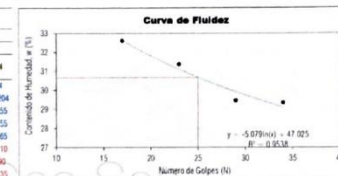
Modalidad : Muestreo por el cliente  
 Método de Muestreo : Excavación manual  
 Identificación de muestra : Patón

Profundidad : 1.50 m  
 Napa freática : N.P.  
 Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Coordenadas UTM : E.O.N.0

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17<sup>1</sup>)**

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 201	N° 202	N° 203	N° 204
Número de Golpes	N	Golpes	17	23	29	34
(A) Masa de Contenedor Vacio	M <sub>c</sub>	(g)	21.65	22.05	22.45	22.35
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>1</sub>	(g)	47.85	48.95	48.95	48.55
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>2</sub>	(g)	41.41	42.35	42.95	42.65
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	19.76	20.30	20.50	20.30
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	6.44	6.63	6.54	5.90
(F) Contenido de Humedad (100° E/D)	w	(%)	32.59	32.37	29.46	29.35



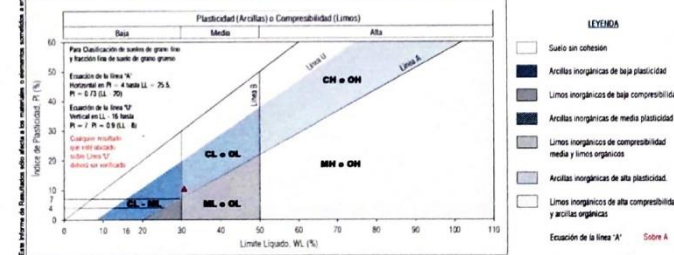
**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 36	N° 37	N° 38	N° 39
(A) Masa de Contenedor Vacio	M <sub>c</sub>	(g)	22.78	23.28	23.18	22.98
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>1</sub>	(g)	31.45	32.25	31.75	32.19
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>2</sub>	(g)	29.96	30.79	30.32	30.65
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	7.18	7.51	7.14	7.67
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	1.49	1.47	1.46	1.54
(F) Contenido de Humedad (100° E/D)	w	(%)	20.75	19.57	20.45	20.10

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17<sup>1</sup>)**

Liquid Limit (LL<sub>w</sub>) : 30.7% Plastic Limit (PL<sub>w</sub>) : 20.2% Plasticity Index (PI) : 10.5%

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : **CL** AASHTO (ASTM D3282-15) : **A-5 (6)**  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4.21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th Edition.  
**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. BAYUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352  
 RUC: 20601685524 [Pag. 02]



J. Angel Fernandez Queiro Nº 2809 Int. 154 Urb. El Bosque  
 Pte. Norte Nº 122-132 Chila, Huancayo  
 Telf: 94646688 / 95550354  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	18-07-21	M-03	Patrón

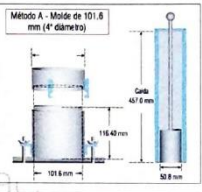
**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12e1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-10

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Identificación muestra: Patrón Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM: E 0 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Método A Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.

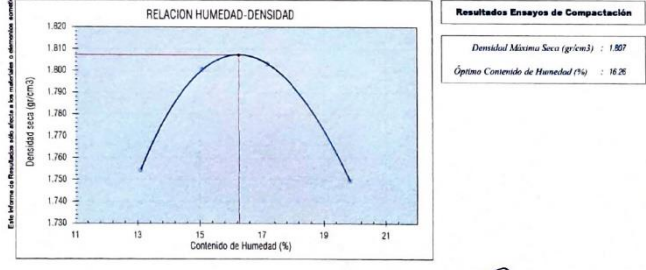
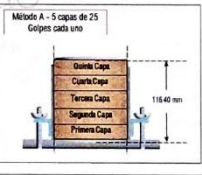
**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)**

Variable	Var	Unidad	Nº 01	Nº 02	Nº 03	Nº 04
Número de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Número de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa de Suelo Humedo & Molde	M <sub>huc</sub>	(g)	5992.00	6074.00	6112.00	6097.00
(B) Peso del Molde	M <sub>mo</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado (A - B)	M <sub>c</sub>	(g)	1850.00	1932.00	1970.00	1955.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup>	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humeda (C/D)	w	g/cm <sup>3</sup>	1.984	2.072	2.113	2.097



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Recipiente NF	---		Nº 64	Nº 64	Nº 65	Nº 66
(A) Masa de Contenedor Vaco	M <sub>c</sub>	(g)	48.96	50.21	50.32	51.11
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>huc</sub>	(g)	297.36	317.51	307.48	331.16
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sc</sub>	(g)	268.59	282.45	269.78	284.78
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	219.63	232.24	219.46	233.67
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	28.77	35.06	37.70	46.39
(F) Contenido de Humedad (100° E/D)	w	(%)	13.10	15.10	17.18	19.85
(G) Densidad Seca	w	g/cm <sup>3</sup>	1.754	1.800	1.803	1.750



**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMONDO OLIVERA  
 C.I.P. Nº 404392 RUC: 20601685524 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



J. Angel Fernandez Queiro Nº 2809 Int. 154 Urb. El Bosque  
 Pte. Norte Nº 122-132 Chila, Huancayo  
 Telf: 94646688 / 95550354  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

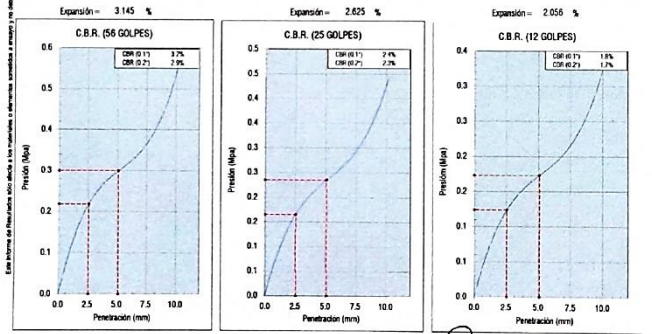
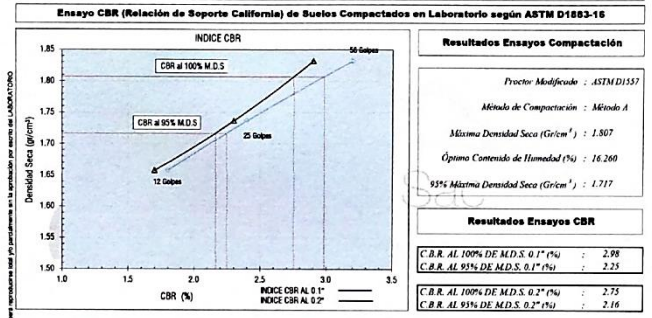
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	19-07-21	M-03	Patrón

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Identificación muestra: Patrón Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM: E 0 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.



**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMONDO OLIVERA  
 C.I.P. Nº 404392 RUC: 20601685524 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD





Ingeniería y Consultoría  
 In: Angel Fernández Queiro Nº 2829 Int. 104 Urb. Elv. Lima  
 Pte. Mañes Nº 122 152 Chica, Huancayo  
 Telef. Tacachaca: 933595544  
 Correo: info@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	17-07-21	M-03	Patón

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **ENSAYOS REALIZADOS:**

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA  
 DISTRITO : CHILCA SEGÚN NORMA ASTM D2419  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo : Escavación manual Napa hectica : N.P. Coordenadas UTM : E.0 N.0  
 Identificación de muestra : Patón

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Hno		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	—	—	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	—	min	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:32 a.m.	09:34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	—	min	12:00 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Aluzas lúmens finos	—	gulg	12.60	12.40	11.80	11.60
(F) Aluzas arena	—	gulg	1.60	1.50	1.50	1.80
(G) Equivalente de arena	[ E - F ] x 100	%	12.7%	12.1%	12.7%	12.3%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)				12.5%

Este informe de resultados solo afecta a las muestras e instrumentos utilizados en el ensayo y no garantiza la exactitud de los resultados.

OBSERVACIONES:

**SILVER GEO SAC.**  
 Gerencia Central  
 Laboratorio de Suelos Geotecnia y Pavimento  
 Ing. Civil **Johney R. RAYMUNDO OLIVERA**  
 C.I.P. N° 204352

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johney R. O.

RUC: 20601685524  
 [Pag. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2016/DSD



Ingeniería y Consultoría  
 In: Angel Fernández Queiro Nº 2829 Int. 104 Urb. Elv. Lima  
 Pte. Mañes Nº 122 152 Chica, Huancayo  
 Telef. Tacachaca: 933595544  
 Correo: info@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	20-07-21	M-01	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **ENSAYOS REALIZADOS:**

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN  
 LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA ASTM D4318-17\*  
 CLASIFICACIÓN SEGÚN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D2922-15)

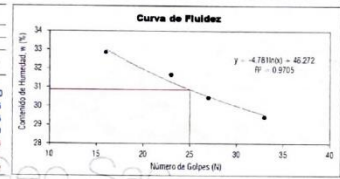
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo : Escavación manual Napa hectica : N.P. Coordenadas UTM : E.0 N.0  
 Identificación de muestra : Adición 6% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Numero de Golpes	N	Golpes	16	23	27	33
Recipiente N°	—	—	N° 01	N° 06	N° 09	N° 100
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	21.06	21.46	21.86	21.96
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>us</sub>	(g)	48.36	49.49	49.50	49.96
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	41.01	42.75	43.05	43.90
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	26.55	21.29	21.19	20.94
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	6.75	6.74	6.45	6.06
(F) Contenido de Humedad (100° E)	w	(%)	32.85	31.66	30.44	29.12

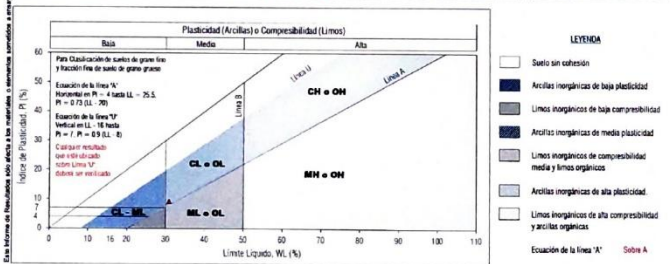


**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	—	—	N° 21	N° 22	N° 23	N° 24
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	23.45	23.95	23.65	23.66
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>us</sub>	(g)	32.56	33.37	32.86	33.30
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	28.90	31.73	31.26	31.59
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	7.45	7.78	7.61	7.93
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	1.66	1.64	1.63	1.71
(F) Contenido de Humedad (100° E)	w	(%)	22.28	21.08	22.02	21.56

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***  
 Líquid Limit (LL<sub>w</sub>) : 30.9% Plástico Limit (PL<sub>w</sub>) : 21.7% Plástico Index (PI) : 9.2%

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3382-15) : A-3 (6)  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4-21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Baja M. Das 9th. Edition

OBSERVACIONES:

**SILVER GEO SAC.**  
 Gerencia Central  
 Laboratorio de Suelos Geotecnia y Pavimento  
 Ing. Civil **Johney R. RAYMUNDO OLIVERA**  
 C.I.P. N° 204352

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johney R. O.

RUC: 20601685524  
 [Pag. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2016/DSD



Ing. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elia  
 Lima  
 Paje. N° 122 132 1244a Huancayo  
 Telf: 86404688, 95330384  
 Correo: info@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	21-07-21	M-01	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.**  
 DISTRITO: **CHILCA**  
 PROVINCIA: **HUANCAYO**  
 DEPARTAMENTO: **JUNIN**  
 TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: **PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12e1**  
**CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-18**

Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Identificación muestra: Adición 6% Sulf. Calcio Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM: E 0 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Método A Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.

**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)**

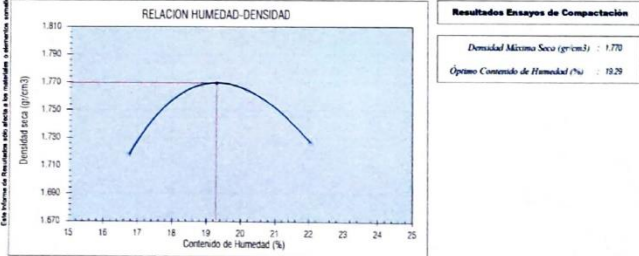
Método A - Molde de 101.6 mm (4" diámetro)

Variable		Método			
		N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
N	Numero de Golpes por Capa	25.00	25.00	25.00	25.00
M <sub>100</sub>	(g)	4013.00	4123.00	4138.00	4122.00
M <sub>200</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
M <sub>1</sub>	(g)	1872.00	1962.00	1977.00	1963.00
V	cm <sup>3</sup>	932.34	932.34	932.34	932.34
(C/D)	g/cm <sup>3</sup>	2.906	2.102	2.100	2.108

**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Método A - 5 capas de 25 Golpes cada una

Variable		Método			
		01	02	03	04
W	%	19.26	19.26	19.27	19.26
M <sub>1</sub>	(g)	44.16	45.41	45.52	46.31
M <sub>100</sub>	(g)	315.14	325.29	325.26	348.94
M <sub>200</sub>	(g)	278.29	289.25	278.29	294.26
M <sub>1</sub>	(g)	232.10	243.84	232.77	247.95
M <sub>2</sub>	(g)	38.89	40.04	48.97	54.68
W	(%)	16.75	18.88	20.18	22.25
(C/D)	g/cm <sup>3</sup>	1.718	1.768	1.784	1.727



OBSERVACIONES:

Realizado: **Tec. Roy S.R.**  
 Revisado: **Ing. Johnny R. O.**

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Suelos (Quality & Precision)

Ing. Civil **Johnny R. PATRICIO OLIVERA**  
 C.I.P. N° 2043352

RUC: 20801685324 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/OSD



Ing. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elia  
 Lima  
 Paje. N° 122 132 1244a Huancayo  
 Telf: 86404688, 95330384  
 Correo: info@silvergeo.com

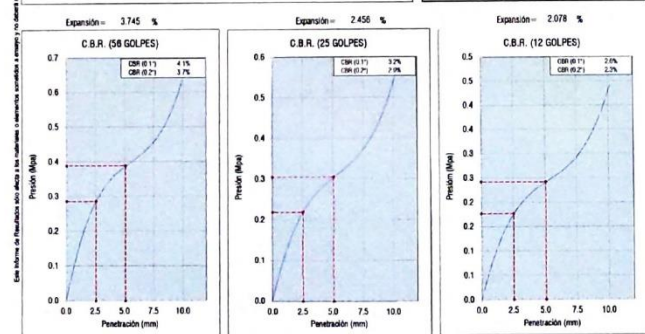
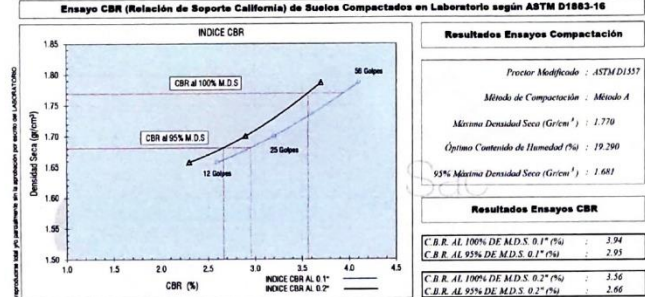
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
19-07-21	24-07-21	M-01	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.**  
 DISTRITO: **CHILCA**  
 PROVINCIA: **HUANCAYO**  
 DEPARTAMENTO: **JUNIN**  
 TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: **ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-18**

Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Identificación muestra: Adición 6% Sulf. Calcio Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM: E 0 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.



OBSERVACIONES:

Realizado: **Tec. Roy S.R.**  
 Revisado: **Ing. Johnny R. O.**

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Suelos (Quality & Precision)

Ing. Civil **Johnny R. PATRICIO OLIVERA**  
 C.I.P. N° 2043352

RUC: 20801685324 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/OSD



Av. Ángel Fernández Quevedo N° 2809 Int. 104 Urb. Elia, Lima  
 Pte. N.º 133 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 01844661933/01844  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	20-07-21	M-01	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C. METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGUN NORMA ASTM D2419  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: \_\_\_\_\_

Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa hídrica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Adición 6% Sulf. Calcio

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGUN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Unidad	Ensayos				
		Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	
Recipiente N°	---	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07	
(A) Hora inicio de saturación	min	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:32 a.m.	09:34 a.m.	
(B) Hora fin de saturación	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.	
(C) Hora inicio de sedimentación	min	12:00 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.	
(D) Hora fin de sedimentación	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.	
(E) Altura Material fino	pulg	11.70	12.30	10.50	11.60	
(F) Altura arena	pulg	1.60	1.80	1.40	1.70	
(G) Equivalente de arena	[E + F] x 100	%	13.7%	13.1%	13.3%	14.7%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)	13.7%			

Este informe de resultados solo aplica a las muestras y ensayos que fueron representados tal y como se especifica en el formulario de solicitud de laboratorio.

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Rocas  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2016/DSD

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.



Av. Ángel Fernández Quevedo N° 2809 Int. 104 Urb. Elia, Lima  
 Pte. N.º 133 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 01844661933/01844  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	20-07-21	M-02	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C. LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17\*  
 DISTRITO : CHILCA CLASIFICACION SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

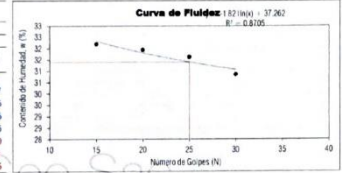
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: \_\_\_\_\_

Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa hídrica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Adición 6% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17\*)**

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Numero de Golpes	N	---	15	20	25	30
Recipiente N°	N	---	N° 14	N° 15	N° 16	N° 17
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	22.43	22.85	23.25	23.35
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>hu</sub>	(g)	47.25	48.38	48.39	47.95
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sc</sub>	(g)	41.21	42.20	42.35	42.15
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	18.78	19.35	19.10	18.80
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	6.04	6.18	5.04	5.80
(F) Contenido de Humedad (100 * E/D)	w	(%)	32.20	31.94	27.62	30.85

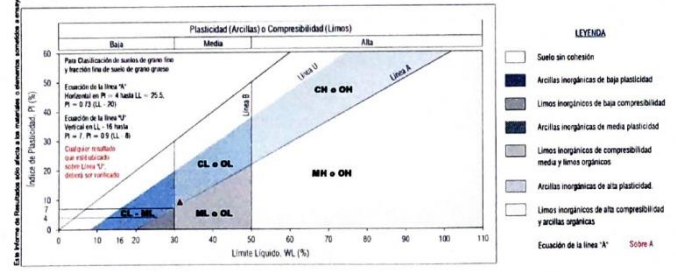


**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	N	---	N° 27	N° 28	N° 29	N° 30
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	22.69	23.19	23.00	22.90
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>hu</sub>	(g)	35.85	36.65	36.18	36.59
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sc</sub>	(g)	33.43	34.25	33.79	34.12
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	10.74	11.07	10.70	11.22
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	2.42	2.40	2.39	2.47
(F) Contenido de Humedad (100 * E/D)	w	(%)	22.53	21.68	22.34	22.01

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17\*)**  
 Límite Líquido (LL<sub>w</sub>) : 31.4% Límite Plástico (PL<sub>w</sub>) : 22.1% Plasticity Index (PI) : 9.3%

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3282-15) : A-5 (6)  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



Carta de Plasticidad elaborada según Figure 4.21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th Edition

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Rocas  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 02]

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2016/DSD





Av. Angel Fernandez Quiroz N° 2839 Int. 104 Urb. Elia, Lima  
 Pje. Nuevos N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 04434688 / 95356184  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
19-07-21	21-07-21	M-02	Adición 6% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TEMA:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12a1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestreo por el cliente. Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Identificación muestra: Adición 6% Sulf. Calcio. Símbolo del Suelo: CL. Coordenadas UTM: E O N O  
 Procedimiento Utilizado: Método A. Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.

**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12a1)**

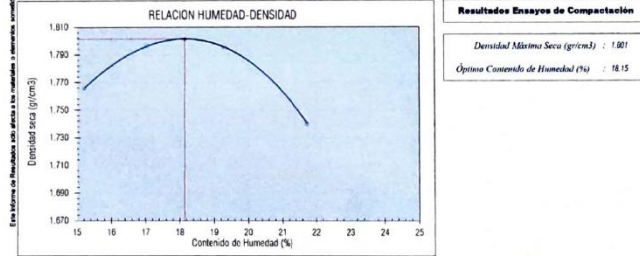
Método A - Molde de 101.6 mm (4" diámetro)

Compactación según ASTM D1557-12a1		N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Variable	Unidad				
Numero de Capas	N	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelo húmedo & Molde	M <sub>mo</sub>	6328.90	6102.00	6139.00	6117.80
(B) Peso del Molde	M <sub>mo</sub>	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Húmedo Compactado (A - B)	(g)	1897.00	1960.00	1997.00	1975.00
(D) Volumen del Molde	V	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Húmeda (C/D)	g/cm <sup>3</sup>	2.035	2.102	2.142	2.118

**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Método A - 5 capas de 25 Golpes cada una

Variable	Unidad	01	02	03	04
Resistente NP	---	N° 35	N° 36	N° 37	N° 38
(A) Masa de Contenedor Vacia	M <sub>c</sub>	43.69	44.94	45.05	45.84
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>mo</sub>	369.25	389.40	379.37	403.05
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	326.26	339.25	325.29	339.26
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	282.57	294.31	280.24	293.42
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	42.99	50.15	54.08	63.79
(F) Contenido de Humedad (100° C/D)	(%)	15.21	17.04	19.30	21.74
(G) Densidad Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.766	1.796	1.795	1.740



**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA RUC: 20601885524  
 C.I.P. N° 20143152 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004586-2010/DSD



Av. Angel Fernandez Quiroz N° 2839 Int. 104 Urb. Elia, Lima  
 Pje. Nuevos N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 04434688 / 95356184  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

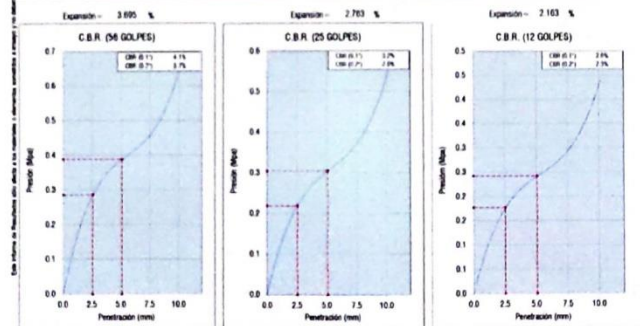
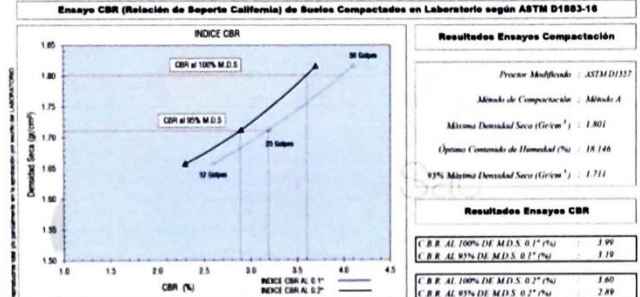
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
19-07-21	24-07-21	M-02	Adición 6% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TEMA:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestreo por el cliente. Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Identificación muestra: Adición 6% Sulf. Calcio. Símbolo del Suelo: CL. Coordenadas UTM: E O N O  
 Procedimiento Utilizado: Método A. Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.



**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEO SAC  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA RUC: 20601885524  
 C.I.P. N° 20143152 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004586-2010/DSD

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	20-07-21	M-02	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS:

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA  
 DISTRITO : CHILCA PROVINCIA : HUANCAYO SEGÚN NORMA ASTM D2419  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa Neutrica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Adición 6% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Nro Variables	Unidad	Ensayos			
			Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	—	—	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	—	min	12:30 a.m.	09:30 a.m.	09:37 a.m.	09:34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	—	min	12:00 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Altura Material fino	—	pulg	12.50	13.40	11.80	12.80
(F) Altura arena	—	pulg	1.70	1.60	1.60	1.80
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	%	13.6%	11.9%	13.6%	14.1%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)	13.3%			

OBSERVACIONES:

**SILVER GEO SAC**  
 Coordinador Geotécnico  
 Laboratorio de Muestreo y Pruebas  
 Ing. Civil **Jehay R. RAMALLO OLIVERA**  
 C.I.P. N° 204332

Realizado: **Tec. Ray S.R.**  
 Revisado: **Ing. Jehay R.O.**

RUC: 20601685524  
 [Pag. 05]

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	20-07-21	M-03	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN** TESIS:

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

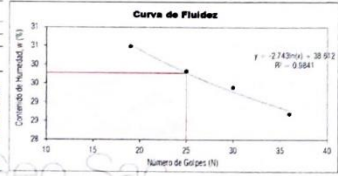
UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. LÍMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA ASTM D4318-17\*  
 DISTRITO : CHILCA PROVINCIA : HUANCAYO CLASIFICACIÓN SEGÚN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa Neutrica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Adición 6% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	N	01	02	03	04
Numero de Golpes	19	25	30	36	—
Recipiente N°	—	N° 00	N° 04	N° 05	N° 06
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>1</sub>	(g) 23.75	24.15	24.50	24.65
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>2</sub>	(g) 51.36	52.49	52.50	52.06
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>3</sub>	(g) 44.91	45.98	45.15	45.95
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>4</sub>	(g) 21.16	21.83	21.00	21.30
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>5</sub>	(g) 6.45	6.51	6.35	6.41
(F) Contenido de Humedad (100° E/0)	w (%)	30.41	29.82	29.40	29.69



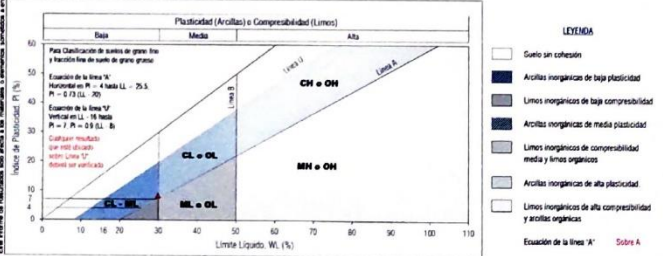
**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable	N	01	02	03	04
Recipiente N°	—	N° 36	N° 37	N° 38	N° 39
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>1</sub>	(g) 23.85	24.35	24.25	24.06
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>2</sub>	(g) 39.56	40.37	39.89	40.30
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>3</sub>	(g) 26.75	27.58	27.11	27.44
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>4</sub>	(g) 13.90	13.23	12.86	13.38
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>5</sub>	(g) 2.81	2.79	2.78	2.86
(F) Contenido de Humedad (100° E/0)	w (%)	21.78	21.09	21.62	21.38

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

Liquid Limit (LL <sub>w</sub> )	: 29.8%	Plastic Limit (PL <sub>w</sub> )	: 21.5%	Plasticity Index (PI)	: 8.3%
---------------------------------	---------	----------------------------------	---------	-----------------------	--------

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : **CL** / AASHTO (ASTM D13282-15) : **A-5 (6)**  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4-21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 8th Edition

OBSERVACIONES:

**SILVER GEO SAC**  
 Coordinador Geotécnico  
 Laboratorio de Muestreo y Pruebas  
 Ing. Civil **Jehay R. RAMALLO OLIVERA**  
 C.I.P. N° 204332

Realizado: **Tec. Ray S.R.**  
 Revisado: **Ing. Jehay R.O.**

RUC: 20601685524  
 [Pag. 02]



Dr. Angel Fernando Queros N° 2869 Int. 102 Urb. Elba Luna  
 Paje N° 101 132 Chibca Huancayo  
 Telf: 96424688 / 93101584  
 Correo: silvergeo@comcel.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	21-07-21	M-03	Adición 6% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:**

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

**TEMA:**

SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-ASFALTE

**UBICACION DEL PROYECTO:**

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

**ENSAYOS REALIZADOS:**

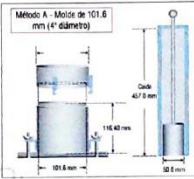
PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12e1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**

Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Identificación muestra: Adición 6% Sulf. Calcio Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM: E 0 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Método A Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.

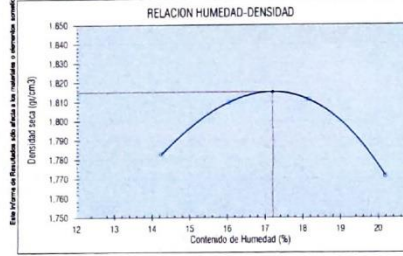
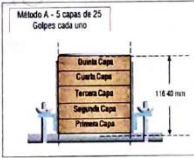
**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)**

Compactación según ASTM D1557-12e1		N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Variable	Unidad				
Nº de Capas	Nº	5.00	3.00	3.00	3.00
Número de Golpes por Capa	Nº	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelo húmedo & Molde	M <sub>100</sub> (g)	6241.00	6100.00	6137.00	6127.00
(B) Pesa del Molde	M <sub>200</sub> (g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Pesa de Suelo Húmedo Compactado (A - B)	M <sub>100-200</sub> (g)	1999.00	1958.00	1995.00	1985.00
(D) Volumen del Molde	V (cm³)	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humida	(C/D)	2.037	2.106	2.142	2.129



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Unidad	01	02	03	04
Temperatura (T)	°C	19.83	19.90	19.91	19.82
(A) Masa de Contenedor Vaco	M <sub>c</sub> (g)	41.85	43.10	43.21	44.00
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>100</sub> (g)	378.23	398.38	388.35	412.03
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>200</sub> (g)	338.26	349.24	335.21	350.22
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub> (g)	296.41	306.14	292.00	306.22
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub> (g)	41.97	49.14	53.04	61.81
(F) Contenido de Humedad (100° E/D)	(%)	14.26	16.05	18.16	20.18
(G) Densidad Seca	(g/cm³)	1.783	1.810	1.811	1.771



**Resultados Ensayos de Compactación**  
 Densidad Mínima Seca (g/cm³) : 1.815  
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 17.20

**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Ray S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos Geotécnicos y Pavimentación  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20001685524  
 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Dr. Angel Fernando Queros N° 2869 Int. 102 Urb. Elba Luna  
 Paje N° 101 132 Chibca Huancayo  
 Telf: 96424688 / 93101584  
 Correo: silvergeo@comcel.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	24-07-21	M-03	Adición 6% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:**

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

**TEMA:**

SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-ASFALTE

**UBICACION DEL PROYECTO:**

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

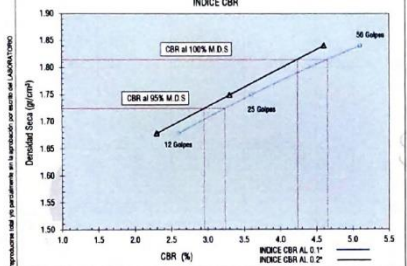
**ENSAYOS REALIZADOS:**

ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**

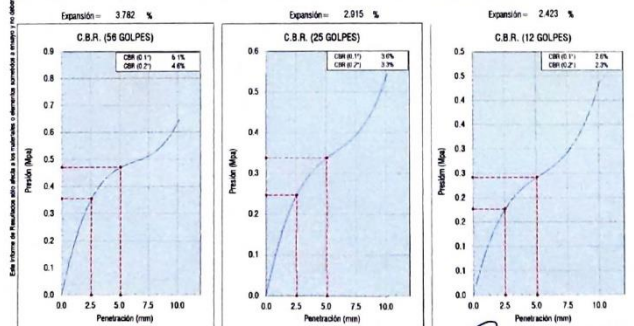
Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Identificación muestra: Adición 6% Sulf. Calcio Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM: E 0 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.

**Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16**



**Resultados Ensayos Compactación**  
 Proctor Modificado : ASTM D1557  
 Método de Compactación : Método A  
 Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.815  
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 17.204  
 95% Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.724

**Resultados Ensayos CBR**  
 C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1" (Pa) : 4.53  
 C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1" (Pa) : 3.24  
 C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2" (Pa) : 4.74  
 C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2" (Pa) : 2.95



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Ray S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos Geotécnicos y Pavimentación  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20001685524  
 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD





Av. Angel Fernandez Queiroz N° 2829 Hs. 104 Urb. Elba, Lima  
 Paje N° 122 132 Chica, Huancayo  
 Telf: 0434881193/333344  
 Correo: info@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	20-07-21	M-03	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGUN NORMA ASTM D2416  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: \_\_\_\_\_

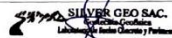
Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa Plástica : N.P. Coordenadas UTM : E 0 N 0  
 Identificación de muestra : Adición 6% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2416**

Descripción	Variables	Unidad	Ensayos			
			Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	—	—	N° 01	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	—	min	12:00 a. m.	09:30 a. m.	09:32 a. m.	09:34 a. m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a. m.	09:40 a. m.	09:42 a. m.	09:44 a. m.
(C) Hora inicio de sedimentación	—	min	12:00 a. m.	09:41 a. m.	09:43 a. m.	09:45 a. m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a. m.	10:01 a. m.	10:03 a. m.	10:05 a. m.
(E) Altura Material fino	—	pu/g	12.40	13.00	11.40	12.60
(F) Altura arena	—	pu/g	1.90	1.70	1.60	1.80
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	%	15.3%	13.1%	14.0%	14.3%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	%	14.2%			

OBSERVACIONES:

Realizado: Tsc. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.



Ing. CNIL Johnny R. RAMÍREZ OLIVERA  
 C.I.P. N° 2043352

RUC: 20601685524 (Pag. 05)

Laboratorio de Ensayos de Materiales. Inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSO



Av. Angel Fernandez Queiroz N° 2829 Hs. 104 Urb. Elba, Lima  
 Paje N° 122 132 Chica, Huancayo  
 Telf: 0434881193/333344  
 Correo: info@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	25-07-21	M-01	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. LÍMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17\*  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN  
 CLASIFICACION SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)

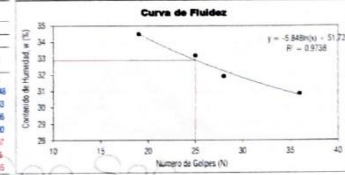
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: \_\_\_\_\_

Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa Plástica : N.P. Coordenadas UTM : E 0 N 0  
 Identificación de muestra : Adición 6% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Numero de Golpes	N	—	19	25	28	36
Recipiente N°	—	—	N° 145	N° 146	N° 147	N° 148
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	22.03	22.43	22.53	22.53
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>h</sub>	(g)	48.36	48.49	49.50	49.05
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>s</sub>	(g)	41.81	42.73	42.32	42.80
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>d</sub>	(g)	19.58	20.32	20.22	19.87
(E) Masa of Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	6.75	6.74	6.45	6.16
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	34.47	28.19	21.98	30.85

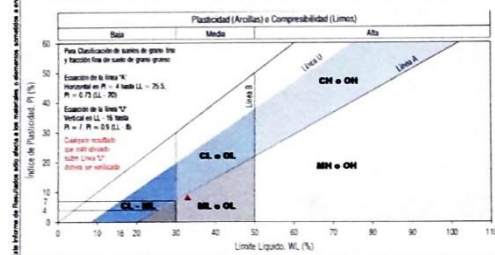


**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	—	—	N° 18	N° 19	N° 20	N° 21
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	22.35	23.25	23.25	23.06
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>h</sub>	(g)	33.75	34.66	34.08	34.43
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>s</sub>	(g)	31.36	32.39	31.90	32.25
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>d</sub>	(g)	6.71	6.64	6.67	6.19
(E) Masa of Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	2.19	2.17	2.18	2.24
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	29.14	24.00	24.93	24.07

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***  
 Líquid Limit (LL<sub>w</sub>) : 32.9% Plastic Limit (PL<sub>w</sub>) : 24.6% Plasticity Index (PI) : 8.3%

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3282-15) : A-5 (6)  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



- LEYENDA**
- Suelo sin cohesión
  - Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
  - Limos inorgánicos de baja plasticidad
  - Arcillas inorgánicas de media plasticidad
  - Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
  - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
  - Limos inorgánicos de alta plasticidad y arcillas orgánicas
- Ecuación de la línea 'A' : Sobra A

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4.21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th Edition

OBSERVACIONES:  
 Realizado: Tsc. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.



Ing. CNIL Johnny R. RAMÍREZ OLIVERA  
 C.I.P. N° 2043352

RUC: 20601685524 (Pag. 02)

Laboratorio de Ensayos de Materiales. Inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSO



Av. Angel Fernandez Quevedo N° 2809 Mt. 104 Urb. Elba  
 Pte. Nallea N° 122-132 Chica - Huancayo  
 Telf: 94046688 / 915301384  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	26-07-21	M-01	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

TEBIS: SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.

DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

ENSAYOS REALIZADOS: PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12a1

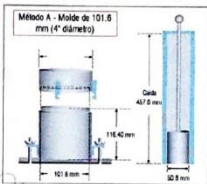
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-10

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Identificación muestra: Adición 6% Sulf. Calcio Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM: E 9 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Método A Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad

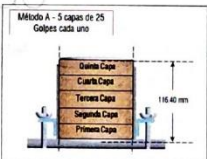
**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12a1)**

Compactación según ASTM D1557-12a1		N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Variable	Unidad				
N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
M <sub>h</sub>	g	6042.00	6132.00	6169.00	6137.00
M <sub>h</sub>	g	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(A - B)	g	1900.00	1990.00	2027.00	1950.00
V	cm <sup>3</sup>	922.34	932.34	932.34	932.34
(C/D)	g/cm <sup>3</sup>	2.038	2.134	2.174	2.140

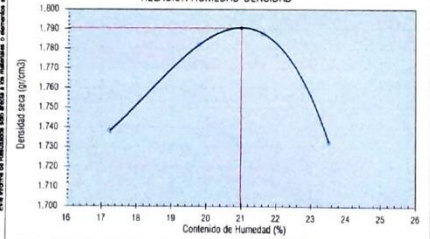


**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	N° 45	N° 46	N° 47	N° 48
M <sub>1</sub>	g	43.85	45.10	45.21	46.00
(B)	g	322.18	342.33	332.30	355.98
(C)	g	281.26	293.25	281.29	286.96
(D)	g	237.41	245.15	250.08	250.95
(E)	g	40.92	49.08	51.01	59.02
(F)	%	17.24	19.78	21.61	23.52
(G)	g/cm <sup>3</sup>	1.738	1.782	1.788	1.732



**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**



**Resultados Ensayos de Compactación**

Densidad Máxima Seca (g/cm³) : 1.791  
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 20.99

OBSERVACIONES:

Realizado: Ing. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 203352 RUC: 2060168524 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/OSD



Av. Angel Fernandez Quevedo N° 2809 Mt. 104 Urb. Elba  
 Pte. Nallea N° 122-132 Chica - Huancayo  
 Telf: 94046688 / 915301384  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	24-07-21	M-01	Adición 6% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

TEBIS: SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.

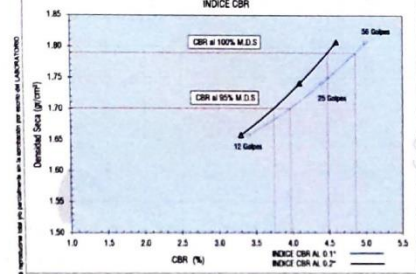
DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

ENSAYOS REALIZADOS: ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Identificación muestra: Adición 6% Sulf. Calcio Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM: E 9 N 0  
 Procedimiento Utilizado: Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad

**Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16**

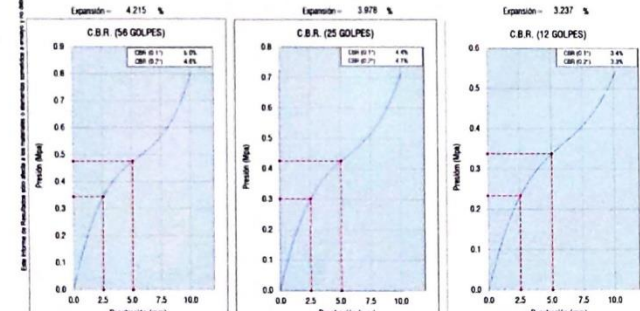


**Resultados Ensayos Compactación**

Proctor Modificado : ASTM D1557  
 Método de Compactación : Método A  
 Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.791  
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 20.99  
 95% Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.791

**Resultados Ensayos CBR**

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1% (w)	: 4.85
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1% (w)	: 3.97
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2% (w)	: 4.48
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2% (w)	: 3.75



OBSERVACIONES:

Realizado: Ing. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 203352 RUC: 2060168524 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/OSD



Dr. Angel Fernandez Queros N° 2809 Int. 104 Urb. Edo. Lima  
 Paje. Nules N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 0434888888 913101584  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	25-07-21	M-01	Adición 8% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN**  
 TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **ENSAYOS REALIZADOS:**  
 UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA  
 DISTRITO : CHILCA SEGUN NORMA ASTM D2419  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Escarificación manual Napa Inesica : N.P. Coordenadas UTM : E 0 N 0  
 Identificación de muestra : Adición 8% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGUN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Nro		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	---	---	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	---	---	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:32 a.m.	09:34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	---	---	12:00 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Altura Matriz fino	---	pu/g	11.60	13.10	11.60	13.50
(F) Altura arena	---	pu/g	1.70	1.80	1.70	1.90
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	%	14.7%	13.7%	14.7%	14.1%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)	<b>14.3%</b>			

Este informe de Resultados de Ensayo a las muestras y a los materiales o materiales suministrados a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del LABORATORIO.

OBSERVACIONES:  
  
**Ing. Cristian R. RIVERA OLIVERA**  
 C.I.P. N° 2043952  
 RUC: 20601685524 [Pag. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004568-2018/OSD



Dr. Angel Fernandez Queros N° 2809 Int. 104 Urb. Edo. Lima  
 Paje. Nules N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 0434888888 913101584  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	25-07-21	M-02	Adición 8% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN**  
 TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **ENSAYOS REALIZADOS:**  
 UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN  
 LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17\*  
 CLASIFICACION SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Escarificación manual Napa Inesica : N.P. Coordenadas UTM : E 0 N 0  
 Identificación de muestra : Adición 8% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

Variable		Unidad	01	02	03	04
Numero de Golpes	N	Unidades	17	24	28	34
Recipiente N°	---	---	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	23.74	24.14	24.54	24.64
(B) Masa de Contenedor + Suelo Humedo	M <sub>h</sub>	(g)	54.63	55.75	55.77	55.33
(C) Masa de Contenedor + Suelo Seco	M <sub>s</sub>	(g)	46.61	47.65	48.05	47.91
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>d</sub>	(g)	22.87	23.51	23.51	23.27
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	4.50	6.11	7.72	7.42
(F) Contenido de Humedad (100° E)	w (%)	(%)	35.07	34.56	33.64	31.89

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

**Límite Plástico (Método Manual)**

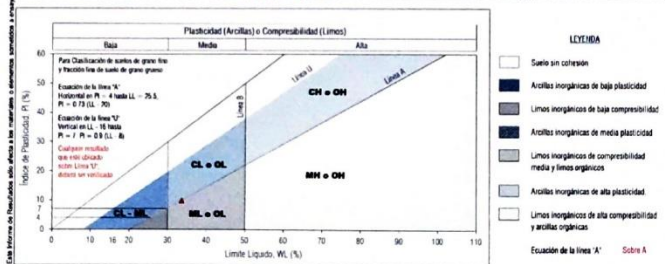
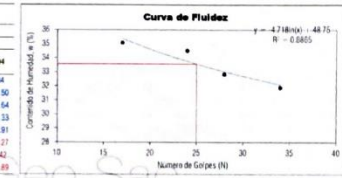
Variable	Unidad	01	02	03	04	
Recipiente N°	---	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	21.78	22.28	22.16	21.99
(B) Masa de Contenedor + Suelo Humedo	M <sub>h</sub>	(g)	36.74	37.55	37.07	37.48
(C) Masa de Contenedor + Suelo Seco	M <sub>s</sub>	(g)	33.84	34.87	34.20	34.53
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>d</sub>	(g)	12.06	12.59	12.07	12.54
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	2.90	2.88	2.87	2.95
(F) Contenido de Humedad (100° E)	w (%)	(%)	24.09	23.24	23.88	23.52

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

Liquid Limit (LL, w<sub>p</sub>) : **35.6%** Plastic Limit (PL, w<sub>p</sub>) : **23.7%** Plasticity Index (PI) : **9.9%**

**Clasificación de Suelos**

SUCS (ASTM D2487-17) : **CL** AASHTO (ASTM D3282-15) : **A-3 (6)**  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



OBSERVACIONES:  
  
**Ing. Cristian R. RIVERA OLIVERA**  
 C.I.P. N° 2043952  
 RUC: 20601685524 [Pag. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004568-2018/OSD





Ing. Angel Fernandez Queros N° 2809 Int. 104 Urb. Elba Lina  
 Paje N° 115-132 Chica Huancayo  
 Telf: 8404648 / 83350364  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

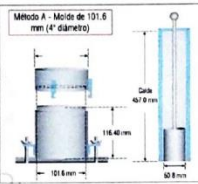
FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	26-07-21	M-02	Adición 8% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach: EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**UBICACION DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**UBICACION:** CHILCA  
**DISTRITO:** CHILCA  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNIN  
**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Muestreo por el cliente  
**Modalidad:** Muestreo por el cliente  
**Identificación muestra:** Adición 8% Sulf. Calcio  
**Procedimiento Utilizado:** Método A  
**Profundidad:** 1.50 m.  
**Simbolo del Suelo:** CL  
**Clasificación del Suelo:** Arcilla arenosa de baja plasticidad.  
**Altitud (Cota):** - m.s.n.m.  
**Coordenadas UTM:** E.O.N.O

**ENSAYOS REALIZADOS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE  
**CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D1557-12e1**  
**CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19**

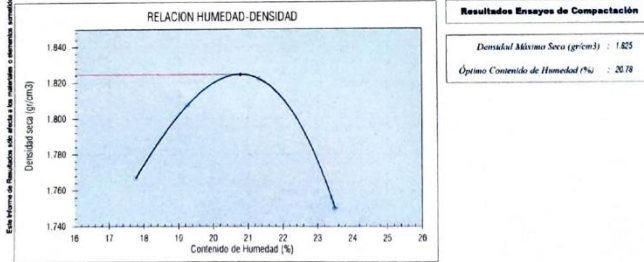
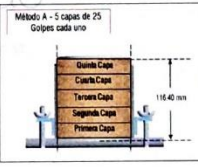
**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)**

Variable	Nº	Unidad	Nº 01	Nº 02	Nº 03	Nº 04
(A) Masa del Suelo húmedo & Molde	M <sub>us</sub>	(g)	6082.00	6157.00	6203.00	6157.00
(B) Peso del Molde	M <sub>mo</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Húmedo Compactado (A - B)	M <sub>cs</sub>	(g)	1940.00	2015.00	2061.00	2015.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup>	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humeda	(C/D)	gr/cm <sup>3</sup>	2.081	2.155	2.211	2.151



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Nº	Unidad	01	02	03	04
Recipiente Nº	Nº		25	26	27	28
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	44.89	46.14	46.25	47.04
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>us</sub>	(g)	306.47	378.62	368.59	390.27
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	309.47	323.25	312.29	324.96
(D) Masa de Suelo Seco (C - A)	M <sub>s</sub>	(g)	264.58	277.11	266.04	277.92
(E) Masa de Agua (B - C)	M <sub>a</sub>	(g)	47.00	55.37	56.30	65.31
(F) Contenido de Humedad (100 * E/D)	w	(%)	17.76	19.26	21.32	23.50
(G) Densidad Seca	g/cm <sup>3</sup>		1.767	1.806	1.822	1.750



**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Ray S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. RAMONDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 14143-03  
 RUC: 20601685524 [Pág. 03]



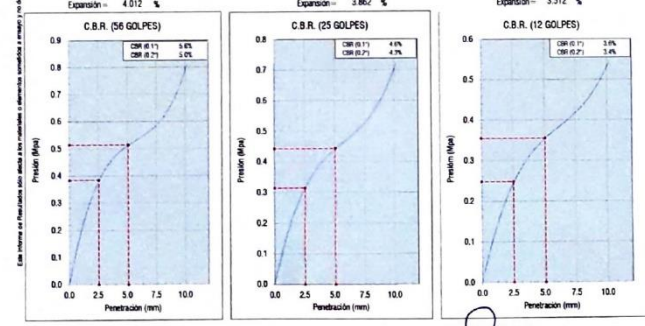
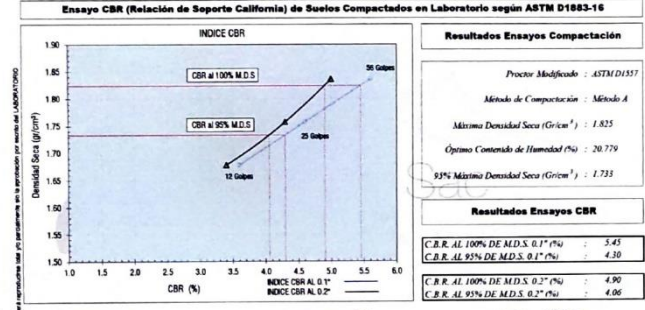
Ing. Angel Fernandez Queros N° 2809 Int. 104 Urb. Elba Lina  
 Paje N° 115-132 Chica Huancayo  
 Telf: 8404648 / 83350364  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	24-07-21	M-02	Adición 8% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach: EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**UBICACION DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**UBICACION:** CHILCA  
**DISTRITO:** CHILCA  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNIN  
**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Muestreo por el cliente  
**Modalidad:** Muestreo por el cliente  
**Identificación muestra:** Adición 8% Sulf. Calcio  
**Procedimiento Utilizado:** Método A  
**Profundidad:** 1.50 m.  
**Simbolo del Suelo:** CL  
**Clasificación del Suelo:** Arcilla arenosa de baja plasticidad.  
**Altitud (Cota):** - m.s.n.m.  
**Coordenadas UTM:** E.O.N.O

**ENSAYOS REALIZADOS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE  
**ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16**



**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Ray S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. RAMONDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2013352  
 RUC: 20601685524 [Pág. 04]



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elia Lima  
 Paje. Nules N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 04344447 / 915391544  
 Correo: info@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	25-07-21	M-02	Adición 8% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach, EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESTIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** ENSAYOS REALIZADOS:  
**UBICACION:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C. **METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGUN NORMA ASTM D2419**  
**DISTRITO:** CHILCA  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNIN  
**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**  
**Modalidad:** Muestreo por el cliente **Profundidad:** 1.50 m. **Altitud (Cota):** - m.s.n.m.  
**Método de Muestreo:** Excavación manual **Napa trestica:** N.P. **Coordenadas UTM:** E: 0 N: 0  
**Identificación de muestra:** Adición 8% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2419**

Descripción	No		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	—	—	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	—	min	12:00 a. m.	09:30 a. m.	09:32 a. m.	09:34 a. m.
(C) Hora inicio de sedimentación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a. m.	09:40 a. m.	09:42 a. m.	09:44 a. m.
(D) Hora fin de sedimentación	—	min	12:00 a. m.	09:41 a. m.	09:43 a. m.	09:45 a. m.
(E) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min + 15s ]	min	12:00 a. m.	10:01 a. m.	10:03 a. m.	10:05 a. m.
(F) Alícuota Material fino	—	gulg	11.40	13.40	12.20	12.60
(F) Alícuota arena	—	gulg	1.50	1.80	1.70	1.90
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	%	13.2%	13.4%	13.9%	14.8%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)			13.8%	

**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica y Perforación  
 Ing. Civil Johnny R. ZAYUANDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20601665524  
 [Pág. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004586-2018/DSD



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elia Lima  
 Paje. Nules N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 04344447 / 915391544  
 Correo: info@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	25-07-21	M-03	Adición 6% Sulf. Calcio

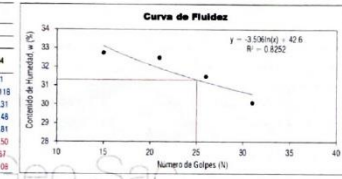
**SOLICITANTE:** Bach, EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESTIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** ENSAYOS REALIZADOS:  
**UBICACION:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C. **LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17\***  
**DISTRITO:** CHILCA **CLASIFICACION SEGUN:** SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNIN  
**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:**  
**Modalidad:** Muestreo por el cliente **Profundidad:** 1.50 m. **Altitud (Cota):** - m.s.n.m.  
**Método de Muestreo:** Excavación manual **Napa trestica:** N.P. **Coordenadas UTM:** E: 0 N: 0  
**Identificación de muestra:** Adición 6% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Unidad	01	02	03	04
Numero de Golpes	N	15	25	25	31
Recipiente N°	—	N° 115	N° 116	N° 117	N° 118
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g) 22.41	22.81	23.21	23.31
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>h</sub>	(g) 55.78	56.91	56.92	56.48
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>s</sub>	(g) 47.55	48.55	48.85	48.81
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>d</sub>	(g) 25.14	25.74	25.64	25.50
(E) Masa of Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g) 8.23	8.36	8.07	7.67
(F) Contenido de Humedad (100° E/G)	w (%)	32.74	32.48	31.47	30.08



**Límite Plástico (Método Manual)**

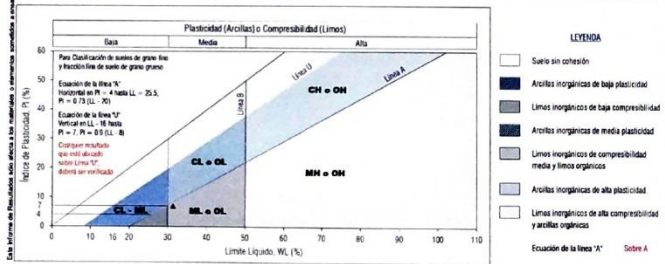
Variable	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	—	N° 125	N° 126	N° 127	N° 128
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g) 22.89	23.29	23.29	23.10
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>h</sub>	(g) 37.65	38.46	37.98	38.39
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>s</sub>	(g) 24.72	25.55	25.38	25.41
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>d</sub>	(g) 11.83	12.16	11.79	12.31
(E) Masa of Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g) 2.93	2.91	2.90	2.98
(F) Contenido de Humedad (100° E/G)	w (%)	24.77	23.83	24.60	24.21

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

Liquid Limit (LL, w<sub>L</sub>): 31.3% Plastic Limit (PL, w<sub>p</sub>): 24.4% Plasticity Index (PI): 6.9%

**Clasificación de Suelos**

SUCS (ASTM D2487-17): AASHTO (ASTM D3282-15): A-5 (6)



Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4-21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th Edition

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica y Perforación  
 Ing. Civil Johnny R. ZAYUANDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20601665524  
 [Pág. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004586-2018/DSD



Ingeniería y Construcción  
 Pte. Nazari N° 122-152 Chila - Huancayo  
 Telf: 0504687355234  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	20-07-21	M-03	Adición 8% Sulf. Calcio

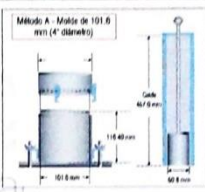
**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.  
**UBICACIÓN:** CHILCA  
**DISTRITO:** CHILCA  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNÍN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** PROYECTO MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1987-12e1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-10

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestras por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 8% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado: Método A  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Simbolo del Suelo:  
 Clasificación del Suelo:  
 Altiud (Cota): m.s.n.m.  
 Coordenadas UTM: E 0 N 0

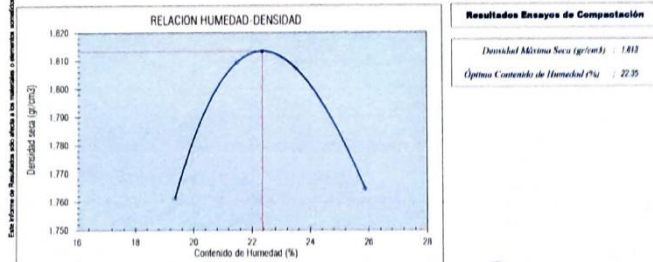
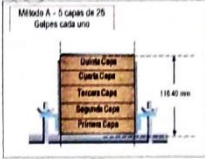
**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1987-12e1)**

Variante	Var	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Número de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Número de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa de Suelo Humedo & Molde	M <sub>h</sub>	(g)	6102.00	6102.00	6233.00	6213.00
(B) Peso del Molde	M <sub>m</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado (A - B)	(g)		1960.00	2000.00	2091.00	2071.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup>	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humeda (C/D)	γ <sub>h</sub>	g/cm <sup>3</sup>	2.102	2.135	2.232	2.221



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variante	Var	Unidad	01	02	03	04
Frecuencia N°	N		17.74	17.75	17.76	17.77
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	40.89	48.14	49.25	49.04
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>h</sub>	(g)	318.52	338.67	328.64	332.32
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>s</sub>	(g)	274.47	287.25	275.29	289.98
(D) Masa de Suelo Seco (C - A)	M <sub>s</sub>	(g)	233.58	239.11	226.04	240.94
(E) Masa de Agua (B - C)	M <sub>a</sub>	(g)	44.05	51.42	53.35	52.36
(F) Contenido de Humedad (100° F/0)	w	(%)	19.26	21.50	23.50	25.88
(G) Densidad Seca	γ <sub>d</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1.781	1.810	1.807	1.705



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Ing. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 SILVER GEO SAC.  
 Ing. Civil Johnny R. RIVERA OLIVERA  
 C.I.P. N° 2064352  
 RUC: 2060168524  
 (Pág. 03)

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Ingeniería y Construcción  
 Pte. Nazari N° 122-152 Chila - Huancayo  
 Telf: 0504687355234  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

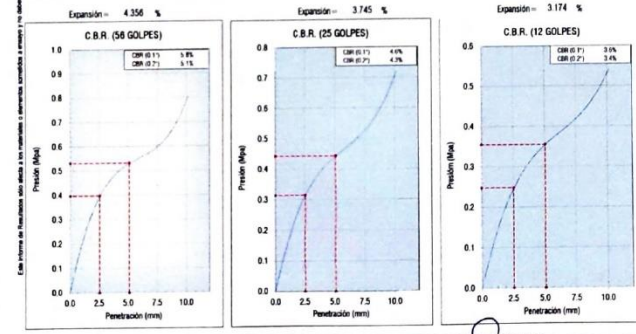
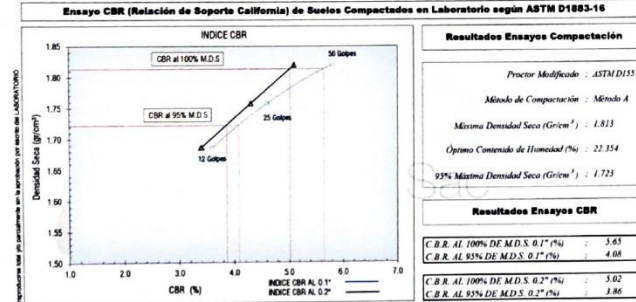
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	24-07-21	M-03	Adición 8% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.  
**UBICACIÓN:** CHILCA  
**DISTRITO:** CHILCA  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNÍN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestras por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 8% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado:  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Simbolo del Suelo:  
 Clasificación del Suelo:  
 Altiud (Cota): m.s.n.m.  
 Coordenadas UTM: E 0 N 0



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Ing. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 SILVER GEO SAC.  
 Ing. Civil Johnny R. RIVERA OLIVERA  
 C.I.P. N° 2064352  
 RUC: 2060168524  
 (Pág. 04)

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD





**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	25-07-21	M-03	Adición 8% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
 TESIS: SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: ENSAYOS REALIZADOS:  
 UBICACIÓN: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA  
 DISTRITO: CHILCA SEGUN NORMA ASTM D2419  
 PROVINCIA: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Método de Muestreo: Napa freática: N.P. Coordenadas UTM: E.O.N.O.  
 Identificación de muestra: Adición 8% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGUN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Nro		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	---	---	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
(A) Hora inicio de saturación	---	min	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:32 a.m.	09:34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	---	min	12:00 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Altura Material fino	---	puñg	11.50	12.60	11.80	12.40
(F) Altura arena	---	puñg	1.50	1.80	1.70	1.90
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	%	13.0%	14.3%	14.4%	15.3%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)	14.3%			

Este Informe de Resultados solo afecta a las variables y/o actividades especificadas en el presente informe y no abarca las actividades y/o actividades no especificadas en el presente informe.

OBSERVACIONES:  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos Geotécnicos y Mecánicos del Suelo de Subrasante  
 Ing. Civil Johnny R. RAMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2043352

RUC: 2060168524  
 [Pág. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	30-07-21	M-01	Adición 10% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
 TESIS: SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUBRASANTE

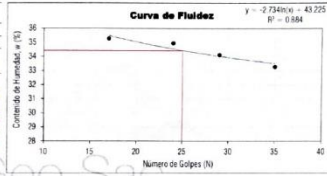
UBICACION DEL PROYECTO: ENSAYOS REALIZADOS:  
 UBICACIÓN: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO: CHILCA  
 PROVINCIA: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNIN  
 TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: LÍMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17\*  
 CLASIFICACIÓN SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)

Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Método de Muestreo: Excavación manual Napa freática: N.P. Coordenadas UTM: E.O.N.O.  
 Identificación de muestra: Adición 10% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17\*)**

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	Golpes	17	34	29	35
Recipiente N°	---	N° 52	N° 53	N° 54	N° 55	---
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	21.78	22.18	22.58	22.88
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>húmedo</sub>	(g)	49.75	50.88	50.89	50.45
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>seco</sub>	(g)	42.46	43.45	43.89	43.52
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	20.68	21.27	21.31	20.64
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	7.29	7.43	7.20	5.83
(F) Contenido de Humedad (100° E/G)	w (%)	(%)	35.25	34.93	34.11	33.25



**Límite Plástico (Método Manual)**

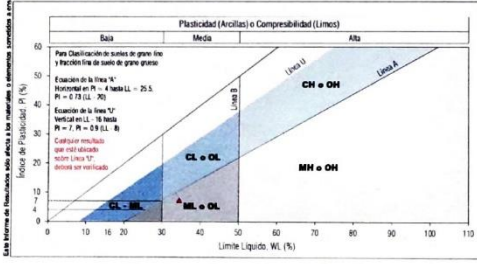
Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	N° 25	N° 26	N° 27	N° 28	---
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	22.85	23.25	23.25	23.06
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>húmedo</sub>	(g)	33.75	34.56	34.68	34.49
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>seco</sub>	(g)	31.39	32.22	31.75	32.08
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	8.54	8.87	8.50	9.02
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	2.36	2.34	2.33	2.41
(F) Contenido de Humedad (100° E/G)	w (%)	(%)	27.63	26.38	27.41	26.72

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17\*)**

Liquid Limit (LL<sub>w</sub>) : 34.4% Plastic Limit (PL<sub>w</sub>) : 27.0% Plasticity Index (PI) : 7.4%

**Clasificación de Suelos**

SUCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3282-15) : A-5 (6)  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



**LEYENDA**

- Suelo sin cohesión
- Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
- Limos inorgánicos de baja compresibilidad
- Arcillas inorgánicas de media plasticidad
- Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
- Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
- Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas

Ecuación de la línea "A" Sobre A

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4-21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Segui M. Das 9th. Edition

OBSERVACIONES:  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos Geotécnicos y Mecánicos del Suelo de Subrasante  
 Ing. Civil Johnny R. RAMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2043352

RUC: 2060168524  
 [Pág. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Ing. Ángel Fernández Quereñú N° 2809 Int. 104 Urb. El Estero  
 P.O. Box N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 04346688 / 955551584  
 Correo: [info@silvergeosac.com](mailto:info@silvergeosac.com)

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	31-07-21	M-01	Adición 10% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN**

TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-FASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.**

UBICACION: CHILCA  
 DISTRITO: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNIN

ENSAYOS REALIZADOS: **PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12M1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19**

Localidad: Muestro por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 10% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado: Método A

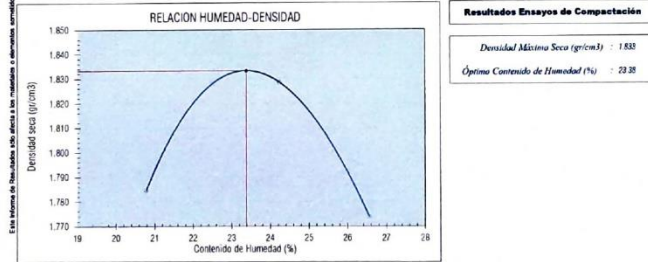
Profundidad: 1.50 m  
 Símbolo del Suelo: CL  
 Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad

Altitud (Cota): m.s.n.m.  
 Coordenadas UTM: E 0 N 0

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)						
Variable	Var.	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelo húmedo & Molde	M <sub>húmedo</sub>	(g)	6132.00	6230.00	6269.00	6235.00
(B) Peso del Molde	M <sub>molde</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Húmedo Compactado (A-B)	M <sub>compactado</sub>	(g)	2010.00	2088.00	2119.00	2093.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup>	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Húmeda	[C/D]	g/cm <sup>3</sup>	2.155	2.240	2.272	2.243

Contenido de Humedad según ASTM D2216-10						
Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	N°		N° 47	N° 48	N° 49	N° 50
(A) Masa de Contenedor Vazio	M <sub>v</sub>	(g)	43.85	45.10	45.21	46.00
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>húmedo</sub>	(g)	456.33	475.50	466.47	490.15
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>seco</sub>	(g)	366.36	397.25	384.29	398.96
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	341.51	352.15	339.08	352.96
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g)	73.90	73.25	82.18	53.19
(F) Contenido de Humedad (100° E/D)	w	(%)	20.79	22.50	24.24	26.55
(G) Densidad Seca		g/cm <sup>3</sup>	1.785	1.928	1.829	1.774



OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R.O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204332 RUC: 20601685524 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Ing. Ángel Fernández Quereñú N° 2809 Int. 104 Urb. El Estero  
 P.O. Box N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 04346688 / 955551584  
 Correo: [info@silvergeosac.com](mailto:info@silvergeosac.com)

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	03-08-21	M-01	Adición 10% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN**

TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-FASANTE**

UBICACION DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.**

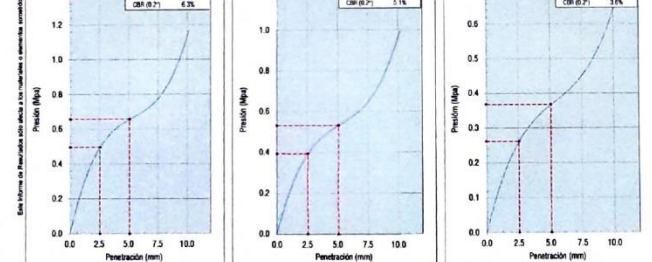
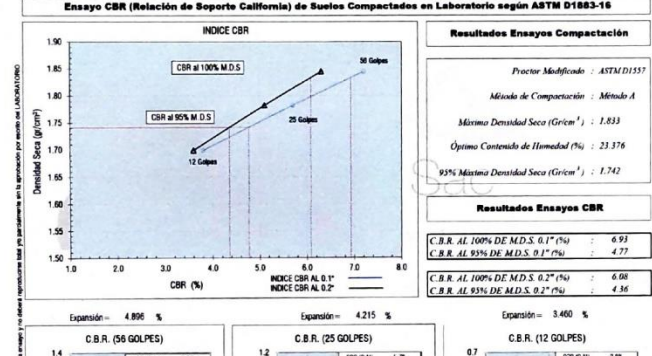
UBICACION: CHILCA  
 DISTRITO: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNIN

ENSAYOS REALIZADOS: **ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16**

Localidad: Muestro por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 10% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado:

Profundidad: 1.50 m  
 Símbolo del Suelo: CL  
 Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad

Altitud (Cota): m.s.n.m.  
 Coordenadas UTM: E 0 N 0



OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R.O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204332 RUC: 20601685524 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD





R. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 154 Urb. Elba Lima  
 Pje. Nules N° 122, 132 Chila, Huancayo  
 Telef. 04348481 933529184  
 Correo: silvergeo@silvergeosac.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	30-07-21	M-01	Adición 10% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
 TESIS: SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 ENSAYOS REALIZADOS: METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGUN NORMA ASTM D2419  
 UBICACION: CHILCA  
 DISTRITO: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNIN  
 TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: Modalidad: Muestreo por el cliente, Profundidad: 1.50 m, Alitud (Cota): - m.s.n.m., Método de Muestreo: Excavación manual, Napa Plástica: N.P., Coordenadas UTM: E 0 N 0, Identificación de muestra: Adición 10% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Variables	Unidad	Ensayos			
			Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	—	—	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	—	min	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:32 a.m.	09:34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[A + 10min + 1min]	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	—	min	12:00 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[C + 20min + 15s]	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Altura Material fino	—	pulg	11.60	13.10	11.60	13.50
(F) Altura arena	—	pulg	1.80	2.20	2.00	2.00
(G) Equivalente de arena	[E + F] x 100	%	15.5%	16.6%	17.2%	14.6%
(H) Promedio equivalente de arena	SA	(%)			16.1%	

OBSERVACIONES:  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMONDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 244352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



R. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 154 Urb. Elba Lima  
 Pje. Nules N° 122, 132 Chila, Huancayo  
 Telef. 04348481 933529184  
 Correo: silvergeo@silvergeosac.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

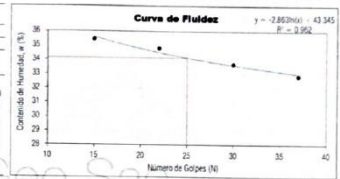
FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	30-07-21	M-02	Adición 10% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
 TESIS: SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 ENSAYOS REALIZADOS: LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17\*, CLASIFICACION SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)  
 TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: Modalidad: Muestreo por el cliente, Profundidad: 1.50 m, Método de Muestreo: Excavación manual, Napa Plástica: N.P., Coordenadas UTM: E 0 N 0, Identificación de muestra: Adición 10% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

Variable		Nro			
Var.	Unidad	01	02	03	04
Numero de Golpes	N	15	22	30	37
Recipiente N°	—	N° 157	N° 158	N° 159	N° 160
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g) 22.58	22.58	23.28	23.48
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>huc</sub>	(g) 51.26	52.39	52.40	51.96
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>usc</sub>	(g) 43.78	44.60	45.09	44.92
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g) 21.18	21.82	21.71	21.44
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g) 7.50	7.59	7.31	7.04
(F) Contenido de Humedad (100° E)Q	w	(%) 35.41	34.74	33.67	32.84



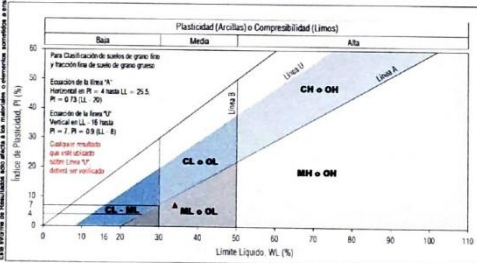
**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable		Nro			
Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	—	N° 75	N° 76	N° 77	N° 78
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g) 23.65	24.15	24.05	23.86
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>huc</sub>	(g) 39.56	40.37	39.89	40.30
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>usc</sub>	(g) 36.15	36.98	36.51	36.64
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g) 12.50	12.83	12.46	12.78
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g) 3.41	3.39	3.38	3.46
(F) Contenido de Humedad (100° E)Q	w	(%) 27.28	26.42	27.13	26.86

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

Liquid Limit (LL <sub>w</sub> )	: 34.1%	Plastic Limit (PL <sub>w</sub> )	: 26.9%	Plasticity Index (PI)	: 7.3%
---------------------------------	---------	----------------------------------	---------	-----------------------	--------

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17): CL AASHTO (ASTM D3282-15): A-5 (6)  
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.



Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4.2: Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Baja M. Des 9th Edition

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAYMONDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 244352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



J. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elv. Lima  
 Paje Nuevas N° 122-132 Chila, Huancayo  
 Tel: 94548681 / 93507034  
 Correo: info@silvergeo.com.pe

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	31-07-21	M-02	Adición 10% Sulf. Calcio

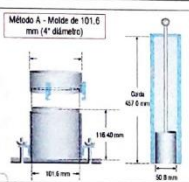
**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TEMA:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12a1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestreo por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 10% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado: Método A  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Simbolo del Suelo: CL  
 Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.  
 Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Coordenadas UTM: E 0 N 0

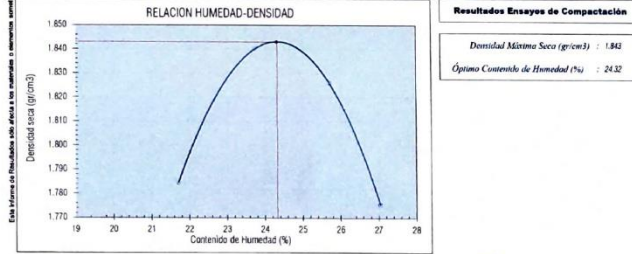
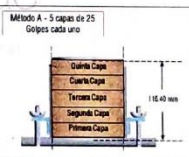
**Compacción de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12a1)**

Variable	Unidad	Método A - Molde de 101.6 mm (4" diámetro)			
		N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelo húmedo & Molde	M <sub>húmedo</sub>	(g) 6167.00	6265.00	6262.00	6245.00
(B) Peso del Molde	M <sub>m</sub>	(g) 4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Húmedo Compactado	(A - B)	(g) 2025.00	2123.00	2140.00	2103.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup> 932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Húmeda	(C/D)	g/cm <sup>3</sup> 2.172	2.277	2.296	2.256



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	N° 63	N° 64	N° 65	N° 66
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g) 53.89	55.14	55.25	56.04
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>húmedo</sub>	(g) 512.78	532.53	522.50	546.58
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>seco</sub>	(g) 450.93	441.25	427.29	442.16
(D) Masa de Suelo Seco (G-A)	M <sub>s</sub>	(g) 377.04	386.11	372.04	386.12
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g) 61.85	91.68	95.61	104.42
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%) 21.71	23.74	25.70	27.04
(G) Densidad Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.785	1.840	1.826	1.775



**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. OLIVERA OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352  
 RUC: 20001685524  
 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004586-2018/DSD



J. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elv. Lima  
 Paje Nuevas N° 122-132 Chila, Huancayo  
 Tel: 94548681 / 93507034  
 Correo: info@silvergeo.com.pe

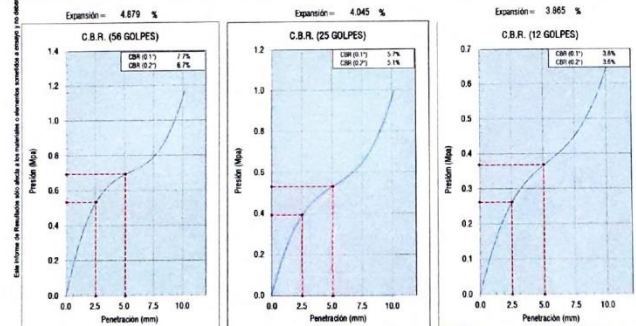
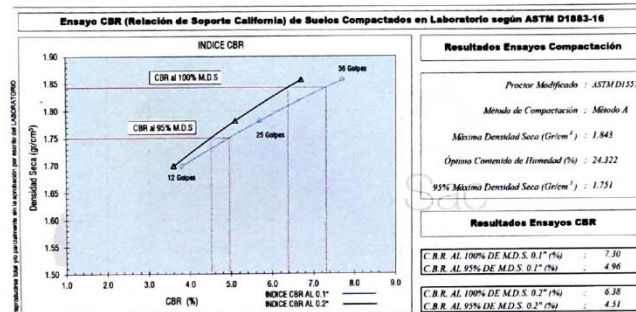
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	03-08-21	M-02	Adición 10% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TEMA:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNÍN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-18

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestreo por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 10% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado: Método A  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Simbolo del Suelo: CL  
 Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad.  
 Altitud (Cota): - m s.n.m.  
 Coordenadas UTM: E 0 N 0



**OBSERVACIONES:**  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.  
 Ing. Civil Johnny R. OLIVERA OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352  
 RUC: 20001685524  
 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004586-2018/DSD



Ing. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 vrb. Edo. Lima  
 Pje. Nules N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 06148689 93351544  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	30-07-21	M-02	Adición 10% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: TEBIS

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGUN NORMA ASTM D2419  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Nape traseca : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Adición 10% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGUN NORMA ASTM D2419**

Descripción	No		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	---	---	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	---	---	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:30 a.m.	09:30 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	---	---	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Altura Menor fino	---	mm	11.50	12.70	13.60	14.00
(F) Altura arena	---	mm	1.80	1.70	2.00	2.00
(G) Equivalente de arena	[ (E + F) x 100 ]	%	15.7%	13.4%	14.7%	14.3%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)	14.5%			

OBSERVACIONES:

SILVER GEO SAC.  
 Laboratorio de Ensayos Geotécnicos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAMÓN OLIVERA  
 C.I.P. N° 204132

RUC: 20601685524 [Pag. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales. Inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Ing. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 vrb. Edo. Lima  
 Pje. Nules N° 122 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 06148689 93351544  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	30-07-21	M-03	Adición 10% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: TEBIS

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: ENSAYOS REALIZADOS:

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN  
 LIMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17\*  
 CLASIFICACION SEGUN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D2282-15)

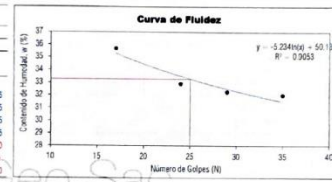
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Nape traseca : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Adición 10% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Numero de Golpes	N	---	17	24	29	35
Recipiente N°	---	---	N° 63	N° 64	N° 65	N° 66
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	23.65	24.05	24.45	24.55
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>cu</sub>	(g)	43.65	44.76	44.76	44.35
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	36.39	39.65	39.83	39.55
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	14.74	15.60	15.38	15.00
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g)	5.25	5.13	4.96	4.80
(F) Contenido de Humedad (100° E/0)	w	(%)	35.69	32.86	32.25	32.00

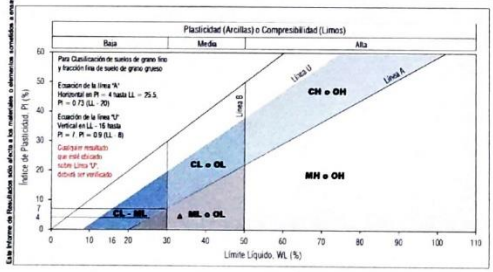


**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 215	N° 216	N° 217	N° 218
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	24.63	25.13	25.09	24.84
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>cu</sub>	(g)	42.85	43.66	43.16	43.50
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	38.76	39.59	39.12	39.45
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	14.13	14.46	14.09	14.61
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g)	4.09	4.07	4.06	4.14
(F) Contenido de Humedad (100° E/0)	w	(%)	28.95	28.15	28.81	28.34

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\***  
 Líquid Limit (LL, w<sub>L</sub>) : 33.3% Plastic Limit (PL, w<sub>p</sub>) : 28.6% Plasticity Index (PI) : 4.7%

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17) : AASHTO (ASTM D2282-15) : A-3 (6)



**LEYENDA**

- Suelo sin cohesión
- Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
- Limos inorgánicas de baja compresibilidad
- Arcillas inorgánicas de media plasticidad
- Limos inorgánicas de compresibilidad media y limos orgánicos
- Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
- Limos inorgánicas de alta compresibilidad y arcillas orgánicas

Ecuación de la línea "A" : Score A

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4.21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th Edition

OBSERVACIONES:

SILVER GEO SAC.  
 Laboratorio de Ensayos Geotécnicos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. RAMÓN OLIVERA  
 C.I.P. N° 204132

RUC: 20601685524 [Pag. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales. Inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD





Av. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 int. 104 Urb. El Lince  
 P.O. Box N° 112 112 Chica Huancayo  
 Telf: 94044482 / 95101544  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	31-07-21	M-03	Adición 10% Sulf. Calcio

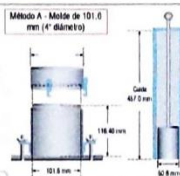
**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TEBIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**ENSAYOS REALIZADOS:** PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12a1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-10

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestra por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 10% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado: Método A

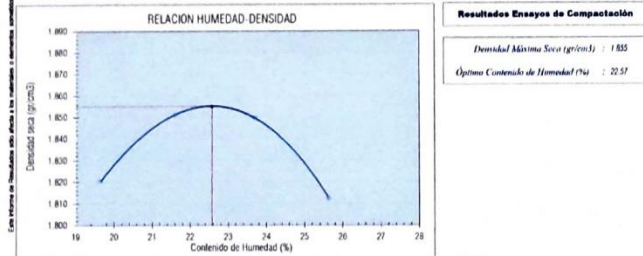
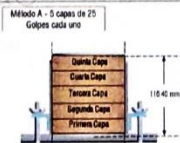
**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12a1)**

Variable	Var	Unidad	H' 01	H' 02	H' 03	H' 04
Número de Capas	N	Capas	3.00	5.00	5.00	5.00
Número de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelo húmedo & Molde	M <sub>sc</sub>	(g)	8179.00	8241.00	8275.00	8265.00
(B) Peso del Molde	M <sub>m</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Húmedo Compactado	(A - B)	(g)	2337.00	2909.00	2133.00	2123.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup>	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humeda	(C/D)	g/cm <sup>3</sup>	2.517	2.251	2.298	2.277



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Recuperación IP	---	---	10.12%	10.12%	10.12%	10.12%
(A) Masa de Contenedor Vacio	M <sub>c</sub>	(g)	51.61	51.69	51.69	51.78
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>sc</sub>	(g)	456.39	476.54	466.51	460.19
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sc</sub>	(g)	389.89	401.25	387.29	401.16
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	338.28	349.57	335.60	349.38
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	66.50	75.29	78.22	89.03
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	19.66	21.61	23.70	25.63
(G) Densidad Seca	---	g/cm <sup>3</sup>	1.820	1.851	1.850	1.813



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Ing. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. BAYUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20601885524 [Pag. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Av. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 int. 104 Urb. El Lince  
 P.O. Box N° 112 112 Chica Huancayo  
 Telf: 94044482 / 95101544  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

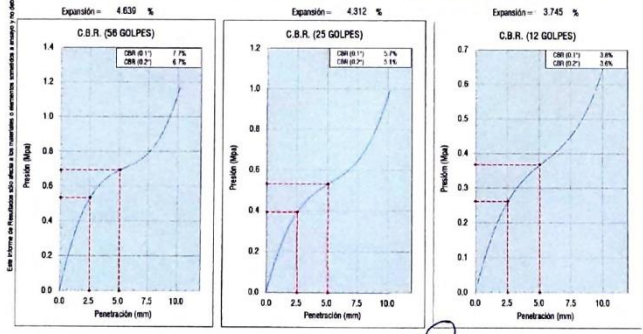
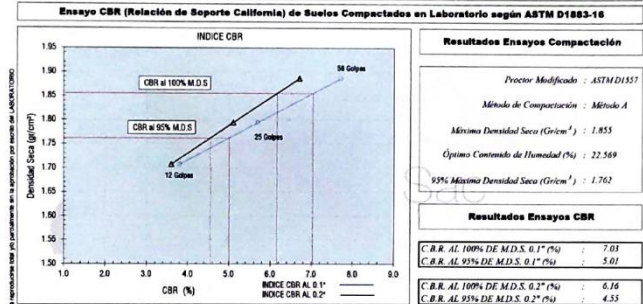
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	03-08-21	M-03	Adición 10% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TEBIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACIÓN DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**ENSAYOS REALIZADOS:** ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestra por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 10% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado: Método A



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Ing. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. BAYUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

RUC: 20601885524 [Pag. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2829 Int. 104 Urb. Elba Lima  
 Pje. Nules N° 122 152 Chica, Huancayo  
 Telf: 04342488 / 91505384  
 Correo: info@silvergeosac.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	30-07-21	M-01	Adición 10% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN**  
 TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.**  
 ENSAYOS REALIZADOS: **MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGÚN NORMA ASTM D2419**  
 DISTRITO: CHILCA  
 PROVINCIA: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m.a.n.m.  
 Método de Muestreo: Excavación manual Napa hráulica: N.P. Coordenadas UTM: E.D.N.O.  
 Identificación de muestra: Adición 10% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2419**

Descripción	No		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	---	---	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	---	min	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:32 a.m.	09:34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	---	min	12:00 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Altura Material fino	---	pulg	11.80	12.40	12.80	13.40
(F) Altura arena	---	pulg	1.70	1.70	1.70	2.00
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] + 100	%	14.4%	12.7%	12.3%	14.9%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)				14.1%

OBSERVACIONES:



Ing. Civil **Jehry R. RAYUNDO OLIVERA**  
 C.I.P. N° 244352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales. Inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/GSD



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2829 Int. 104 Urb. Elba Lima  
 Pje. Nules N° 122 152 Chica, Huancayo  
 Telf: 04342488 / 91505384  
 Correo: info@silvergeosac.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
15-07-21	04-08-21	M-01	Adición 12% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN**  
 TESIS: **SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE**

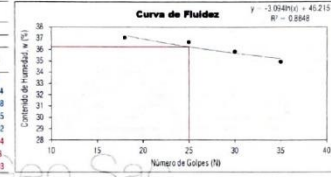
UBICACIÓN DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.**  
 ENSAYOS REALIZADOS: **LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA ASTM D4318-17<sup>1</sup> CLASIFICACIÓN SEGÚN SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)**  
 DISTRITO: CHILCA  
 PROVINCIA: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad: Muestreo por el cliente Profundidad: 1.50 m. Altitud (Cota): - m.a.n.m.  
 Método de Muestreo: Excavación manual Napa hráulica: N.P. Coordenadas UTM: E.D.N.O.  
 Identificación de muestra: Adición 12% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17<sup>1</sup>)**

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	Golpes	18	25	30	35
Recipiente N°	---	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 04
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	22.78	23.18	23.58	23.68
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>ch</sub>	(g)	69.75	52.80	50.80	50.45
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	42.46	43.43	43.69	43.52
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	19.68	20.27	20.11	19.84
(E) Masa of Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	7.23	7.43	7.20	5.84
(F) Contenido de Humedad (100° F/6)	w	(%)	37.34	36.86	35.80	34.93

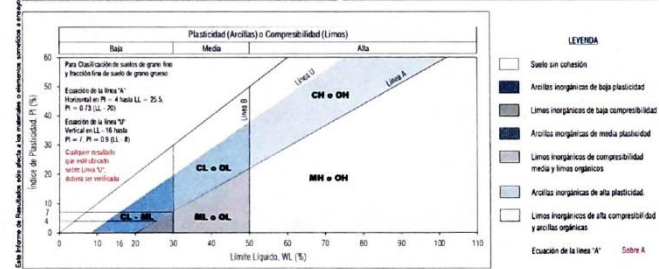


**Límite Plástico (Método Manual)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 04
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	21.85	22.35	22.26	22.05
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>ch</sub>	(g)	36.78	37.50	37.11	37.52
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>cs</sub>	(g)	33.25	34.08	33.61	33.94
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	11.40	11.73	11.36	11.89
(E) Masa of Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	3.53	3.51	3.50	3.58
(F) Contenido de Humedad (100° F/6)	w	(%)	30.96	29.92	30.81	30.13

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17<sup>1</sup>)**  
 Líquid Limit (LL<sub>w</sub>): 36.3% Plástico Limit (PL<sub>w</sub>): 30.5% Plasticity Index (PI): 5.8%

**Clasificación de Suelos**  
 SUCS (ASTM D2487-17): **AASHTO (ASTM D3282-15): A-5 (6)**



Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4.21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th. Edition

OBSERVACIONES:



Ing. Civil **Jehry R. RAYUNDO OLIVERA**  
 C.I.P. N° 244352

RUC: 20601685524  
 [Pag. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales. Inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/GSD



A. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elia  
 Pte. Nules N° 122-132 Chila, Huancayo  
 Telf: 94643682 / 95502562  
 Correo: info@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	05-08-21	M-01	Adiccion 12% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
 TESIS: SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

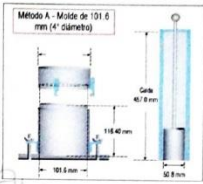
UBICACION DEL PROYECTO: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO: CHILCA  
 PROVINCIA: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNIN  
 ENSAYOS REALIZADOS: PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12a1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad: Muestreo por el cliente  
 Identificación muestra: Adiccion 12% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado: Método A  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Simbolo del Suelo:  
 Clasificación del Suelo:  
 Altitud (Cota): m. s. n. m.  
 Coordenadas UTM: E D N O

**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12a1)**

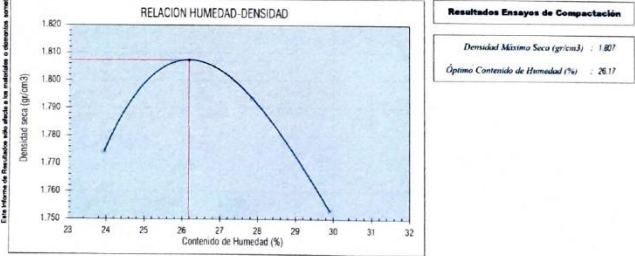
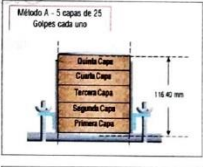
**Compactación según ASTM D1557-12a1**

Variable	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Número de Capas	N	3.00	3.00	5.00	5.00
Número de Golpes por Capa	N	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa de Suelo Humedo & Molde	M <sub>moj</sub>	(g) 6190.00	6200.00	6280.00	6255.00
(B) Peso del Molde	M <sub>mol</sub>	(g) 4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Masa de Suelo Humedo Compactado	(A - B)	(g) 2050.00	2118.00	2138.00	2123.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup> 932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humeda	(C/D)	g/cm <sup>3</sup> 2.199	2.272	2.292	2.277



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	N° 114	N° 115	N° 115	N° 117
(A) Masa de Contenedor Vaco	M <sub>c</sub>	(g) 52.36	53.61	53.72	54.51
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>moj</sub>	(g) 427.89	448.04	438.01	451.69
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>sec</sub>	(g) 365.36	367.25	364.29	367.96
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g) 303.00	313.64	300.57	313.45
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g) 72.53	80.79	83.72	83.73
(F) Contenido de Humedad (100° E)	w	(%) 23.94	25.76	27.82	26.80
(G) Densidad Seca	ρ <sub>d</sub>	g/cm <sup>3</sup> 1.774	1.806	1.794	1.733



OBSERVACIONES:  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R.O.  
 SILVER GEO SAC.  
 Inge. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2043352  
 RUC: 20601685524  
 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2016/DSD



A. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elia  
 Pte. Nules N° 122-132 Chila, Huancayo  
 Telf: 94643682 / 95502562  
 Correo: info@silvergeo.com

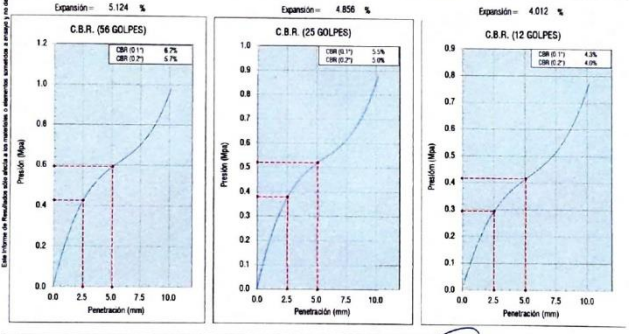
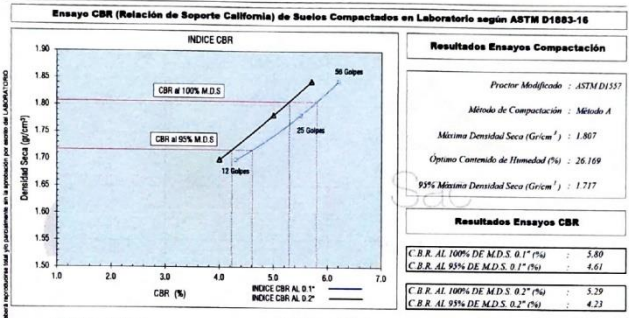
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	06-08-21	M-01	Adiccion 12% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
 TESIS: SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO: CHILCA  
 PROVINCIA: HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO: JUNIN  
 ENSAYOS REALIZADOS: ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad: Muestreo por el cliente  
 Identificación muestra: Adiccion 12% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado:  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Simbolo del Suelo:  
 Clasificación del Suelo:  
 Altitud (Cota): m. s. n. m.  
 Coordenadas UTM: E D N O



OBSERVACIONES:  
 Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R.O.  
 SILVER GEO SAC.  
 Inge. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2043352  
 RUC: 20601685524  
 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2016/DSD





Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elv. Lima  
 Pte. Nules N° 121 132 Chica, Huancayo  
 Telf: 0434888 / 91510564  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	04-08-21	M-01	Adición 12% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGUN NORMA ASTM D2419  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m a.n.m.  
 Método de Muestreo : - Napa freática : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Adición 12% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGUN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Nro		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	---	---	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	---	min	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:32 a.m.	09:34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a.m.	09:43 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	---	min	12:50 a.m.	09:41 a.m.	09:43 a.m.	09:45 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Altura Material fino	---	ulg	11.40	13.00	12.40	13.20
(F) Altura arena	---	ulg	1.80	1.80	1.80	2.00
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	%	15.8%	13.6%	14.5%	15.2%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)			14.8%	

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Ensayos y Tratamiento  
 Ing. Civil Johnny R. JOHANNADO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2014352

RUC: 20501685524  
 [Pag. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/OSD



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elv. Lima  
 Pte. Nules N° 121 132 Chica, Huancayo  
 Telf: 0434888 / 91510564  
 Correo: silvergeosac@gmail.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	04-08-21	M-02	Adición 12% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

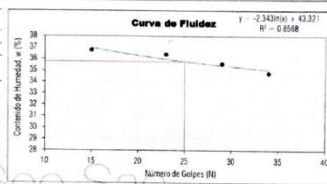
UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m a.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa freática : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O.  
 Identificación de muestra : Adición 12% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4316-17\*)**

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Numero de Golpes	N	Golpes	15	23	29	34
Recipiente N°	---	---	N° 46	N° 47	N° 48	N° 49
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	21.89	22.25	22.69	22.79
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>h</sub>	(g)	50.02	51.15	51.16	50.72
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>s</sub>	(g)	42.46	43.45	43.99	43.52
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>d</sub>	(g)	25.57	21.16	21.00	20.73
(E) Masa of Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	7.56	7.70	7.47	7.20
(F) Contenido de Humedad (100° E.O)	w	(%)	30.75	36.39	35.37	34.73



**Límite Plástico (Método Manual)**

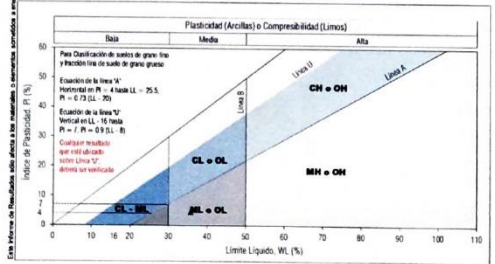
Variable	Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 74	N° 75	N° 76	N° 77
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>c</sub>	(g)	22.65	23.15	23.05	22.86
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>h</sub>	(g)	33.96	36.17	36.25	36.70
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>s</sub>	(g)	32.75	33.58	33.11	33.44
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>d</sub>	(g)	10.10	10.43	10.06	10.58
(E) Masa of Water (B-C)	M <sub>w</sub>	(g)	3.21	3.19	3.18	3.26
(F) Contenido de Humedad (100° E.O)	w	(%)	31.78	30.58	31.61	30.81

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4316-17\*)**

Liquid Limit (LL, w<sub>L</sub>) : 35.8% Plastic Limit (PL, w<sub>p</sub>) : 31.2% Plasticity Index (PI) : 4.6%

**Clasificación de Suelos**

SUCS (ASTM D2487-17) : AASHTO (ASTM D2282-15) : A-5 (6)



**LEYENDA**

- Suelo sin cohesión
- Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
- Limos inorgánicas de baja compresibilidad
- Arcillas inorgánicas de media plasticidad
- Limos inorgánicas de compresibilidad media y limos orgánicos
- Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
- Limos inorgánicas de alta compresibilidad y arcillas orgánicas

Ecuación de la línea 'A' : Sobre A

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4.21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th Edition

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Ensayos y Tratamiento  
 Ing. Civil Johnny R. JOHANNADO OLIVERA  
 C.I.P. N° 2014352

RUC: 20501685524  
 [Pag. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/OSD



J. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Mt. 104 Urb. Elba Lima  
 Paje Nuevas N° 122-152 Chilca, Huancayo  
 Telf: 964046481 / 953051564  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	05-08-21	M-02	Adición 12% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

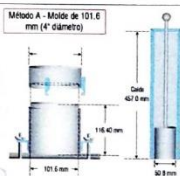
**UBICACION DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.  
**UBICACION:** CHILCA  
**DISTRITO:** CHILCA  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNIN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12M1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestreo por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 12% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado: Método A  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Simbolo del Suelo:  
 Clasificación del Suelo:  
 Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Coordenadas UTM: E O N O

**Compacción de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)**

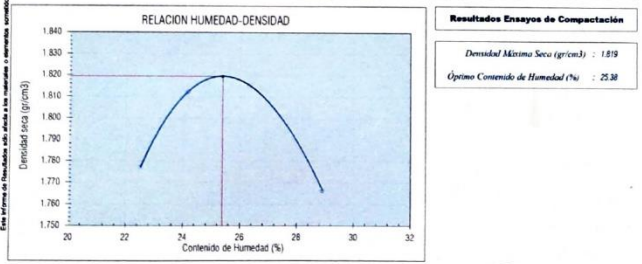
**Compacción según ASTM D1557-12e1**

Variable	Var	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Número de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Número de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelo Húmedo & Molde	M <sub>húmedo</sub>	(g)	6172.00	6242.00	6208.00	6268.00
(B) Peso del Molde	M <sub>molde</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Húmedo Compactado	(A - B)	(g)	2030.00	2098.00	2138.00	2123.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup>	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humeda	(C/D)	g/cm <sup>3</sup>	2.177	2.250	2.293	2.277



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Var	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 63	N° 64	N° 65	N° 66
(A) Masa de Contenedor Vaco	M <sub>v</sub>	(g)	53.74	54.99	55.10	55.89
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>húmedo</sub>	(g)	475.96	495.11	486.09	509.76
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>seco</sub>	(g)	398.36	410.25	396.29	407.96
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>s</sub>	(g)	344.62	355.26	341.19	352.07
(E) Masa de Agua (B-C)	M <sub>a</sub>	(g)	77.60	85.86	89.79	101.80
(F) Contenido de Humedad (100*E/D)	(%)	(%)	22.52	24.17	26.32	28.91
(G) Densidad Seca	w	g/cm <sup>3</sup>	1.777	1.812	1.815	1.766



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC**  
 General Director: Ing. Civil Johnny R. DOMÍNGUEZ OLIVERA  
 C.I.P. N° 2041302  
 RUC: 20801685524 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 00396-2018/DSD



J. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Mt. 104 Urb. Elba Lima  
 Paje Nuevas N° 122-152 Chilca, Huancayo  
 Telf: 964046481 / 953051564  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

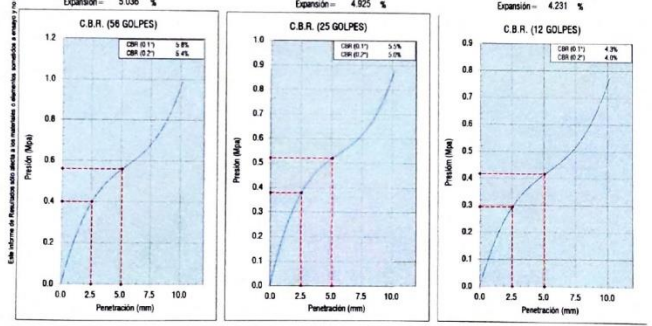
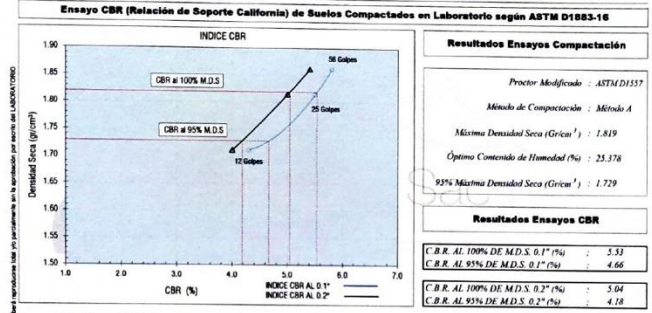
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	08-08-21	M-02	Adición 12% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTECH S.A.C.  
**UBICACION:** CHILCA  
**DISTRITO:** CHILCA  
**PROVINCIA:** HUANCAYO  
**DEPARTAMENTO:** JUNIN  
**ENSAYOS REALIZADOS:** ENSAYO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-16

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Modalidad: Muestreo por el cliente  
 Identificación muestra: Adición 12% Sulf. Calcio  
 Procedimiento Utilizado:  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Simbolo del Suelo:  
 Clasificación del Suelo:  
 Altitud (Cota): - m.s.n.m.  
 Coordenadas UTM: E O N O



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC**  
 General Director: Ing. Civil Johnny R. DOMÍNGUEZ OLIVERA  
 C.I.P. N° 2041302  
 RUC: 20801685524 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 00486-2018/DSD





Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 tel. 044 urbs. Edo. Lima  
 P.O. Box N° 122 122 Chilca, Huancayo  
 Telf: 94046889 / 95535984  
 Correo: info@silvergeosac.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	04-08-21	M-02	Adición 12% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RABANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGUN NORMA ASTM D2419  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: \_\_\_\_\_  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa traccica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O  
 Identificación de muestra : Adición 12% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGUN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Nro		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	---	---	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	---	min	12:00 a.m.	09:30 a.m.	09:32 a.m.	09:34 a.m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a.m.	09:40 a.m.	09:42 a.m.	09:44 a.m.
(C) Hora inicio de sedimentación	---	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a.m.	10:01 a.m.	10:03 a.m.	10:05 a.m.
(E) Altura Material fino	---	pulg	11.50	12.70	13.50	14.20
(F) Altura arena	---	pulg	1.80	1.90	2.00	2.00
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	%	15.7%	14.2%	14.8%	14.1%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)	14.7%			

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. BARRALDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. D.

RUC: 20601685524  
 [Pág. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 tel. 044 urbs. Edo. Lima  
 P.O. Box N° 122 122 Chilca, Huancayo  
 Telf: 94046889 / 95535984  
 Correo: info@silvergeosac.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	04-08-21	M-03	Adición 12% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: \_\_\_\_\_ TESIS: \_\_\_\_\_

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB-RABANTE

UBICACION DEL PROYECTO: \_\_\_\_\_ ENSAYOS REALIZADOS: \_\_\_\_\_

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. LÍMITES DE ATTERBERG SEGUN NORMA ASTM D4318-17\*  
 DISTRITO : CHILCA  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN  
 CLASIFICACION SEGUN SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)

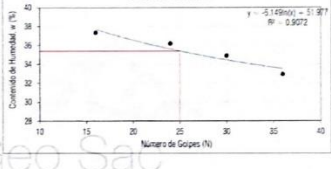
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: \_\_\_\_\_  
 Modalidad : Muestreo por el cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : - m.s.n.m.  
 Método de Muestreo : Excavación manual Napa traccica : N.P. Coordenadas UTM : E.O.N.O  
 Identificación de muestra : Adición 12% Sulf. Calcio

**Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\*\***

**Límite Líquido (Método Multipunto)**

Variable	Unidad	01	02	03	04
Número de Golpes	N	16	24	30	36
Recipiente N°	---	N° 78	N° 79	N° 80	N° 81
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>1</sub>	22.85	23.05	23.45	23.55
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>2</sub>	47.52	48.85	48.56	48.22
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>3</sub>	42.76	41.85	42.14	42.11
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>4</sub>	19.11	18.80	18.69	18.56
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>5</sub>	5.75	6.80	6.52	5.11
(F) Contenido de Humedad (100° E/D)	w (%)	37.33	36.17	34.86	28.02

**Curva de Fluides**



**Límite Plástico (Método Manual)**

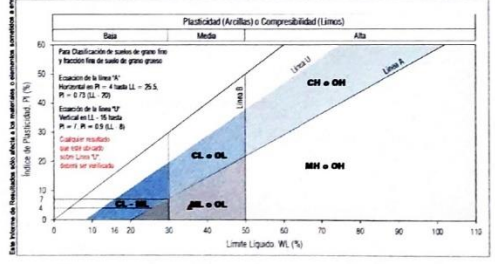
Variable	Unidad	01	02	03	04
Nro	---	01	02	03	04
Recipiente N°	---	N° 78	N° 79	N° 80	N° 81
(A) Masa de Contenedor Vacío	M <sub>1</sub>	21.56	22.56	21.86	21.77
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M <sub>2</sub>	36.85	37.56	37.18	37.39
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>3</sub>	33.19	34.02	33.55	33.88
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M <sub>4</sub>	11.63	11.96	11.69	12.11
(E) Masa de Water (B-C)	M <sub>5</sub>	3.66	3.64	3.63	3.71
(F) Contenido de Humedad (100° E/D)	w (%)	31.47	30.43	31.32	30.64

**Resultados Límites de Atterberg (ASTM D4318-17)\*\***

Liquid Limit (LL<sub>60</sub>) : 35.4% Plastic Limit (PL<sub>20</sub>) : 31.0% Plasticity Index (PI) : 4.4%

**Clasificación de Suelos**

SUCS (ASTM D2487-17) : \_\_\_\_\_ AASHTO (ASTM D3282-15) : A-5 (6)



- LEYENDA**
- Suelo sin cohesión
  - Arillos inorgánicos de baja plasticidad
  - Limos inorgánicos de baja compresibilidad
  - Arillos inorgánicos de media plasticidad
  - Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
  - Arillos inorgánicos de alta plasticidad
  - Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arillos orgánicos

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4.21 Plasticity Chart, pag. 117. Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 5th. Edition

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Ensayos de Suelos y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. BARRALDO OLIVERA  
 C.I.P. N° 204352

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. D.

RUC: 20601685524  
 [Pág. 02]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Av. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elia Lima  
 Pte. Nules N° 123 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 94534688 / 95303344  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	05-08-21	M-03	Adición 12% Sulf. Calcio

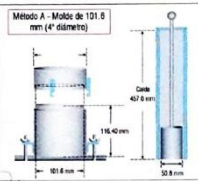
**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**ENSAYOS REALIZADOS:** PROCTOR MODIFICADO SEGUN NORMA ASTM D1557-12e1  
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-10

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Muestreo por el cliente  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Identificación muestra: Adición 12% Sulf. Calcio  
 Símbolo del Suelo:  
 Procedimiento Utilizado: Método A

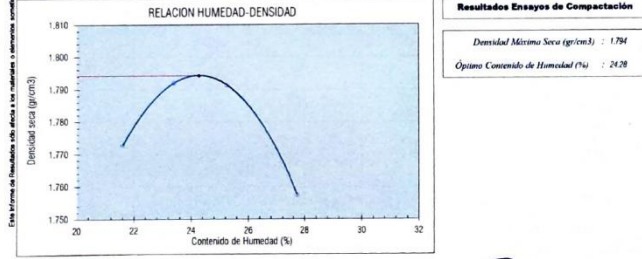
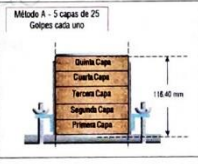
**Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)**

Variable	Nro	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Número de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Número de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelo Humedo & Molde	M <sub>moj</sub>	(g)	6152.00	6204.00	6234.00	6235.00
(B) Peso del Molde	M <sub>mol</sub>	(g)	4142.00	4142.00	4142.00	4142.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado (A - B)	P	(g)	2010.00	2062.00	2092.00	2093.00
(D) Volumen del Molde	V	cm <sup>3</sup>	932.34	932.34	932.34	932.34
(E) Densidad Humeda	(C/D)	g/cm <sup>3</sup>	2.156	2.212	2.244	2.245



**Contenido de Humedad según ASTM D2216-10**

Variable	Nro	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 79	N° 80	N° 81	N° 82
(A) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>1</sub>	(g)	51.36	52.61	52.72	53.51
(B) Masa de Contenedor & Suelo Humedo	M <sub>2</sub>	(g)	474.89	495.04	485.01	508.69
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M <sub>3</sub>	(g)	396.63	411.10	397.85	409.85
(D) Masa de Suelo Seco (C - A)	M <sub>4</sub>	(g)	345.27	358.49	345.13	356.34
(E) Masa de Water (B - C)	M <sub>5</sub>	(g)	75.26	83.94	87.16	98.84
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	21.81	23.41	25.25	27.74
(G) Densidad Seca		g/cm <sup>3</sup>	1.773	1.792	1.791	1.757



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Suelos, Geotecnia y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. OLIVERA  
 C.I.P. N° 2044352 RUC: 20601685524 [Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Av. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elia Lima  
 Pte. Nules N° 123 152 Chila, Huancayo  
 Telf: 94534688 / 95303344  
 Correo: silvergeo@silvergeo.com

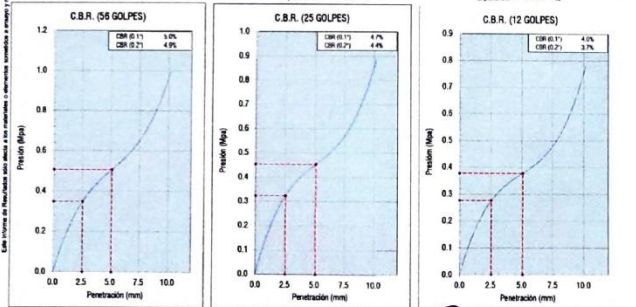
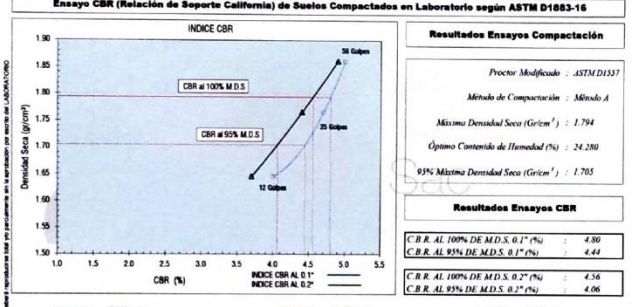
**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	05-08-21	M-03	Adición 12% Sulf. Calcio

**SOLICITANTE:** Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN  
**TESIS:** SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL SUELO DE SUB-RASANTE

**UBICACION DEL PROYECTO:** LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.  
**ENSAYOS REALIZADOS:** ENSAJO CBR SEGUN NORMA ASTM D1883-18

**TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:** Muestreo por el cliente  
 Profundidad: 1.50 m.  
 Identificación muestra: Adición 12% Sulf. Calcio  
 Símbolo del Suelo:  
 Procedimiento Utilizado:



**OBSERVACIONES:**

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Ingeniería Geotécnica  
 Laboratorio de Suelos, Geotecnia y Pavimentos  
 Ing. Civil Johnny R. OLIVERA  
 C.I.P. N° 2044352 RUC: 20601685524 [Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2829 Int. 104 Urb. El Bosque  
 P.O. Box N° 122 152 Chibuta, Huancayo  
 Telf: 043426679 / 963309484  
 Correo: info@silvergeo.com.pe

**INFORME DE RESULTADOS DE ENBAYO**

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACION DE MUESTRA
15-07-21	04-08-21	M-03	Añición 12% Sulf. Calcio

SOLICITANTE: **TESIS:**

Bach. EDUARDO RAUL YANGALI MONTALVAN

SULFATO DE CALCIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL SUELO DE SUB RASANTE

UBICACION DEL PROYECTO: **ENSAYOS REALIZADOS:**

UBICACION : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA  
 DISTRITO : CHILCA SEGUN NORMA ASTM D2419  
 PROVINCIA : HUANCAYO  
 DEPARTAMENTO : JUNIN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestras por el cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : - m s n m  
 Método de Muestreo : - Napa freática : N.P. Coordenadas UTM : E 6 N 0  
 Identificación de muestra : Añición 12% Sulf. Calcio

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2419**

Descripción	Nro		Ensayos			
	Variables	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Recipiente N°	---	---	N° 00	N° 05	N° 06	N° 07
(A) Hora inicio de saturación	---	min	12:00 a. m.	09:30 a. m.	09:32 a. m.	09:34 a. m.
(B) Hora fin de saturación	[ A + 10min ± 1min ]	min	12:00 a. m.	09:40 a. m.	09:42 a. m.	09:44 a. m.
(C) Hora inicio de sedimentación	---	min	12:00 a. m.	09:41 a. m.	09:43 a. m.	09:45 a. m.
(D) Hora fin de sedimentación	[ C + 20min ± 15s ]	min	12:00 a. m.	10:01 a. m.	10:03 a. m.	10:05 a. m.
(E) Altura Menor del fino	---	mm	11.80	12.50	13.00	14.00
(F) Altura arena	---	pasó	1.80	2.00	2.00	2.70
(G) Equivalente de arena	[ E + F ] x 100	%	15.3%	16.0%	15.4%	15.7%
(H) Promedio equivalente de arena	EA	(%)	15.6%			

Este Informe de Resultados debe ser leído a las manifestaciones o afirmaciones contenidas en el mismo y no deberá interpretarse bajo el parámetro de la responsabilidad por parte del LABORATORIO

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.  
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

**SILVER GEO SAC.**  
 Laboratorio de Geotecnia  
 Huancayo y Junín (Calle Comercio y Pisco)  
 Ing. Civil Johnny R. RAMÍREZ OLIVERA  
 C.I.P. N° 26019552

RUC: 20601685524  
 [Pag. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004586-2018/OSD

## **Anexo N° 04: Certificados de calibración**



### CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN - EQUIPOS ELECTRONICOS

Item	Empresa Certificadora	Descripción	Procedencia	Marca	Modelo	Serie	Certificado de calibración	Fecha de Certificación	Fecha de Vencimiento
1	METROLOGÍA Y TÉCNICAS S.A.C.	Balanza de precisión, AC 220V, clase III, capacidad de 30 kg, lectura mínima 1 g	USA	OHAUS	R31P30	8336130194	MT-LM-003-2020	12-09-20	12-09-21
2	METROLOGÍA Y TÉCNICAS S.A.C.	Horno eléctrico digital de 75 Litros, AC 220V, precisión $\pm 1$ °C, rango de temperatura de 50 a 300 °C	CHINA	A&A INSTRUMENT	STHX-1A	16635	MT-LT-002-2020	13-09-20	13-09-21
3	METROLOGÍA Y TÉCNICAS S.A.C.	Máquina manual para Límite Líquido con contador de golpe (Cazuela Casagrande)	USA	FORNEY	LA-3715	1602	MT-IV-026-2020	13-09-20	13-09-21
4	PINZUAR L.T.D.A	Máquina Semi Automática Digital Cbr-Marshall, AC 220V, carga máxima 50 kN	COLOMBIA	PINZUAR	PS-25	299	013-2020 PLF	11-09-20	11-09-21

### CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN – EQUIPOS MANUALES

Item	Empresa Certificadora	Descripción	Procedencia	Marca	Modelo	Serie
1	FORNEY LP	Molde para compactación de suelos con energía modificada de 6"Ø (152.4Mm)	USA	FORNEY	LA-3035	519
2	FORNEY LP	Martillo de compactación de 10 Lb, 18" de caída	USA	FORNEY	LA-3105	1937
3	FORNEY LP	Conjunto para equivalente de arena	USA	FORNEY	LA-3551	180
4	FORNEY LP	Conjunto de lamices según ASTM E-11	USA	FORNEY	Varios	Varios
5	RICELI EQUIPOS	Conjunto de moldes CBR y accesorios	Perú	RICELI	SM	357
6	RICELI EQUIPOS	Conjunto de moldes CBR y accesorios	Perú	RICELI	SM	358
7	RICELI EQUIPOS	Conjunto de moldes CBR y accesorios	Perú	RICELI	SM	359

## METROTEC

## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LM - 003 - 2020

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

1. Expediente	17048	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	SILVER GEOTEK S.A.C.	
3. Dirección	Pj. Nuñez N° 122 Chilca - Huancayo - JUNIN	
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRONICA	Los resultados son válidos en el momento 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 reglamento vigente.
Capacidad Máxima	30000 g	
División de escala (d)	1 g	
Div. de verificación (e)	10 g	
Clase de exactitud	III	METROLOGÍA & TÉCNICAS 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.
Marca	OHAUS	
Modelo	R31P30	
Número de Serie	8336130194	
Capacidad mínima	20 g	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
5. Fecha de Calibración	2020-09-12	

Fecha de Emisión  
2020-09-12

Jefe del Laboratorio de Metrología

JUAN C. QUISEPÉ MORALES



Metrología & Técnicas S.A.C.  
de San Diego de Acosta, M.T.F. Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ.  
Tel: (51) 549-0542  
Cel: (51) 973 436 212, 973 436 282  
RPM: 1949212 / 997489242 / 994263342

email: metrologia@metrotec.com  
www: www.metrotec.com

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LM - 003 - 2020**

Página 2 de 4

**6. Método de Calibración**

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase III\*" del SNM-INDECOPI Tercera Edición.

**7. Lugar de calibración**

Laboratorio de Masa de METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. - METROTEC  
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego Vipot, San Martín de Porres - Lima

**8. Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	27.2 °C	27.0 °C
Humedad Relativa	67 %	68 %



**9. Patrones de referencia**

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) Dirección de Metrología - INACAL 150033005	PESAS (Clase de Exactitud F1)	INACAL LM-C-535-2016
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-317-2016 / LM- 491-2016	PESAS (Clase de Exactitud M1)	METROL M-074-2016
PESAS (Clase de exactitud E2) DM / INACAL LM-607-2015	PESA (Clase de Exactitud M1)	INACAL LM-189-2016
PESAS (Clase de exactitud M1) DM- INACAL LM-133-2016	PESAS (Clase de Exactitud M2)	TOTAL WEIGHT CM-0812-2016

**10. Observaciones**

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LM - 003 - 2020**

Página 3 de 4

**11. Resultados de Medición**

**INSPECCIÓN VISUAL**

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Carga L1 = 15 000 g			Carga L2 = 30 000 g			
	f (g)	ΔL (g)	E (g)	f (g)	ΔL (g)	E (g)	
1	15 000	0.5	0.0	30 000	0.5	-2.0	
2	15 000	0.5	0.0	30 000	0.6	-2.1	
3	15 000	0.5	0.0	30 000	0.5	-2.0	
4	15 000	0.5	0.0	30 000	0.5	-2.0	
5	15 000	0.5	0.0	30 000	0.5	-2.0	
6	15 000	0.6	-0.1	30 000	0.5	-2.0	
7	15 000	0.5	0.0	30 000	0.5	-2.0	
8	15 000	0.5	0.0	30 000	0.5	-2.0	
9	15 000	0.5	0.0	30 000	0.5	-2.0	
10	15 000	0.6	-0.1	30 000	0.5	-2.0	
Diferencia Máxima			0.1	Diferencia Máxima			0.1
Error Máximo Permisible			± 20.0	Error Máximo Permisible			± 30.0



**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Posición de la Carga	Carga Mínima*	Determinación del Error en Cero Eo			Carga L (g)	Determinación del Error Corregido Ec				
		f (g)	ΔL (g)	Eo (g)		f (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
1	10 g	10	0.5	0.0	10 001	0.8	0.7	0.7	0.7	
2	10 g	10	0.5	0.0	10 001	0.8	0.7	0.7	0.7	
3	10 g	10	0.5	0.0	10 000	0.6	-0.1	-0.1	-0.1	
4	10 g	10	0.6	-0.1	10 000	0.5	0.0	0.1	0.1	
5	10 g	10	0.5	0.0	10 000	0.6	-0.1	-0.1	-0.1	
* Valor entre 0 y 10e						Error máximo permisible				± 20.0

Área de Metrología  
Laboratorio de Metales

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LM - 003 - 2020**

Página 4 de 4

**ENSAYO DE PESAJE**

Inicial Final  
Temperatura 27.0 °C 27.0 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				a.m.p. <sup>**</sup> (x g)
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
10	10	0.5	0.0	0.0	10	0.5	0.0	0.0	10.0
20	20	0.5	0.0	0.0	20	0.5	0.0	0.0	10.0
100	100	0.5	0.0	0.0	100	0.6	-0.1	-0.1	10.0
500	500	0.5	0.0	0.0	500	0.5	0.0	0.0	10.0
1 000	1 000	0.5	-0.1	-0.1	1 000	0.5	0.0	0.0	10.0
5 000	5 000	0.5	0.0	0.0	5 000	0.5	0.0	0.0	20.0
10 000	10 000	0.5	0.0	0.0	10 000	0.5	0.0	0.0	20.0
15 000	15 001	0.7	0.8	0.8	15 000	0.5	0.0	0.0	20.0
20 000	20 001	0.8	0.7	0.7	20 000	0.6	-0.1	-0.1	30.0
25 002	25 001	0.7	-1.2	-1.2	25 000	0.6	-2.1	-2.1	30.0
30 002	30 000	0.6	-2.1	-2.1	30 000	0.6	-2.1	-2.1	30.0

\*\* error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza AL: Carga adicional E<sub>0</sub>: Error en cero  
I: Indicación de la balanza E: Error encontrado E<sub>c</sub>: Error corregido

Incertidumbre expandida de medición  $U = 2 \times \sqrt{0.24} \times 0.0000000074 \text{ R} = 0.000011 \text{ R}$

Lectura corregida  $R_{correctada} = R + 0.000011 \text{ R}$

**12. Incertidumbre**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento



Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LT - 002 - 2020**

Página 3 de 3

1. Expediente 17046

2. Solicitante SILVER GEOTECH S.A.C.

3. Dirección Pj. Nuñez N° 122 Chilca - Huancayo - JUNIN.

4. Equipo HORNO

Alcance Máximo 300 °C

Marca A&A INSTRUMENTS

Modelo STHX-1A

Número de Serie 16635

Procedencia CHINA

Identificación NO INDICA

Ubicación NO INDICA

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento 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 reglamento vigente.

METROLOGÍA & TÉCNICAS 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.

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	-100 °C a 300 °C	-100 °C a 300 °C
División de escala / Resolución	0,1 °C	0,1 °C
Tipo	DIGITAL	TERMÓMETRO DIGITAL

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

5. Fecha de Calibración 2020-09-12

Fecha de Emisión Jefe del Laboratorio de Metrología

2020-09-13

JULIAN C. GUSPÉ MORALES





**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LT - 002 - 2020**

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 2 de 5

**6. Método de Calibración**

La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT 90), se consideró como referencia el Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con aire como Medio Termostático PC-018; 2da edición; Junio 2009, del SNM-INDECOPI.

**7. Lugar de calibración**

Laboratorio de Masa de METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. - METROTEC  
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego Vipol, San Martín de Porres - Lima

**8. Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	24.2 °C	24.5 °C
Humedad Relativa	60 %	60 %

**9. Patrones de referencia**

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o Informe de calibración
Dirección de Metrología INACAL LT - 587 - 2016	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL CON 10 CANALES	METROLOGÍA & TÉCNICAS SAC MT - LT - 369 - 2016

**10. Observaciones**

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LT - 002 - 2020**

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 3 de 5

**11. Resultados de Medición**

Temperatura ambiental promedio 24.2 °C  
Tiempo de calentamiento y estabilización del equipo 1 hora  
El controlador se seteo en 110 °C

**PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C**

Tiempo del equipo (min)	Temperatura (°C)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T prom (°C)	Tmax-Tmin (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	109.9	111.9	110.5	109.4	108.8	108.9	112.5	113.6	112.3	113.6	113.4	111.8	6.6
02	110.0	111.4	110.5	109.4	108.8	108.8	112.5	113.7	112.4	113.7	113.4	111.7	6.6
04	110.0	111.4	110.5	109.4	108.8	108.8	112.5	113.7	112.4	113.7	113.4	111.7	6.6
06	110.1	111.5	110.6	109.3	108.8	108.8	112.5	113.7	112.4	113.6	113.4	111.7	6.6
08	110.1	111.5	110.6	109.4	108.8	108.7	112.5	113.7	112.3	113.7	113.4	111.7	6.7
10	110.2	111.6	110.7	109.5	108.9	108.8	112.5	113.9	112.4	113.7	113.4	111.7	6.6
12	110.1	111.5	110.7	109.5	108.9	108.9	112.6	113.7	112.5	113.6	113.4	111.7	6.6
14	110.0	111.4	110.5	109.4	108.8	108.8	112.5	113.6	112.4	113.5	113.3	111.7	6.7
16	109.8	111.3	110.3	109.4	108.9	108.7	112.4	113.4	112.4	113.4	113.4	111.6	6.7
18	109.9	111.4	110.4	109.5	108.9	108.6	112.5	113.5	112.3	113.5	113.4	111.6	6.8
20	109.9	111.4	110.5	109.5	108.9	108.5	112.5	113.4	112.4	113.4	113.4	111.6	6.9
22	110.0	111.5	110.6	109.6	109.0	108.6	112.5	113.4	112.4	113.5	113.2	111.6	6.6
24	110.0	111.5	110.6	109.6	109.0	108.6	112.5	113.4	112.4	113.5	113.2	111.6	6.7
26	110.0	111.4	110.5	109.6	109.0	108.6	112.5	113.5	112.3	113.5	113.3	111.6	6.7
28	110.0	111.5	110.5	109.5	108.9	108.8	112.4	113.4	112.8	113.5	113.4	111.7	6.6
30	110.1	111.4	110.5	109.6	109.0	108.9	112.4	113.4	112.6	113.5	113.5	111.7	6.7
32	110.2	111.5	110.5	109.5	108.9	108.6	112.4	113.4	112.6	113.5	113.6	111.7	6.8
34	110.1	111.4	110.5	109.6	109.0	108.7	112.5	113.5	112.5	113.4	113.6	111.7	6.8
36	110.0	111.3	110.4	109.6	108.9	108.7	112.5	113.4	112.3	113.5	113.5	111.6	6.8
38	110.0	111.2	110.5	109.7	108.9	108.6	112.5	113.5	112.4	113.5	113.4	111.6	6.6
40	110.1	111.4	110.6	109.8	109.0	108.9	112.5	113.5	112.4	113.6	113.6	111.7	6.8
42	110.1	111.4	110.6	109.8	109.0	108.9	112.5	113.5	112.4	113.6	113.6	111.7	6.8
44	110.0	111.3	110.6	109.8	109.0	108.8	112.5	113.4	112.4	113.7	113.4	111.7	6.6
46	110.0	111.4	110.6	109.8	109.0	108.9	112.5	113.6	112.3	113.6	113.5	111.7	6.7
48	110.1	111.5	110.7	109.7	108.9	108.9	112.5	113.7	112.4	113.7	113.5	111.7	6.4
50	109.9	111.4	110.6	109.6	108.9	108.9	112.5	113.6	112.4	113.5	113.5	111.7	6.3
52	109.9	111.4	110.6	109.6	108.9	108.9	112.5	113.5	112.3	113.6	113.2	111.7	6.4
54	109.8	111.3	110.5	109.5	108.8	108.9	112.5	113.5	112.4	113.5	113.4	111.6	6.6
56	110.0	111.4	110.6	109.7	108.8	108.9	112.6	113.5	112.4	113.5	113.4	111.7	6.6
58	110.0	111.4	110.6	109.7	108.8	108.9	112.6	113.5	112.4	113.5	113.4	111.7	6.6
60	110.0	111.4	110.5	109.6	108.9	108.9	112.6	113.5	112.4	113.5	113.4	111.7	6.7
T PROM	110.0	111.4	110.5	109.6	108.9	108.8	112.5	113.5	112.4	113.6	113.4	111.7	
T MAX	110.2	111.6	110.7	109.8	109.0	108.9	112.6	113.6	112.6	113.7	113.6		
T MIN	109.8	111.2	110.3	109.3	108.7	108.5	112.4	113.4	112.3	113.4	113.3		
DTT	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.4		



# METROTEC

## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicio de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industrial y de Laboratorio

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LT - 002 - 2020

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 4 de 5

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Maxima Temperatura Medida	115,6	0,6
Minima Temperatura Medida	108,5	0,1
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,5	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	6,6	0,4
Estabilidad Medida ( ± )	0,3	0,04
Uniformidad Medida	6,9	0,5

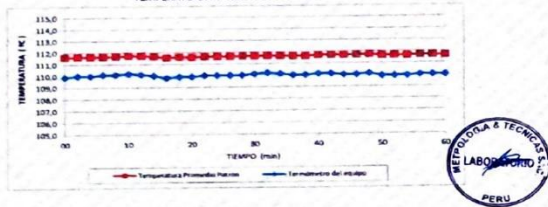
T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.  
T.prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.  
T.MAX : Temperatura máxima.  
T.MIN : Temperatura mínima.  
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.  
Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Durante la calibración y bajo las condiciones en que ésta ha sido hecha, el medio isoterma SI CUMPLE con los límites especificados de temperatura.

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO  
TEMPERATURA DE TRABAJO: 110 °C ± 5 °C



Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá N° 71 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERU  
Tel: (51) 546-0942  
Cel: (51) 971 439 232 971 439 282  
RPA: 9646232-0071439282-0942635142

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
contacto@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com



# METROTEC

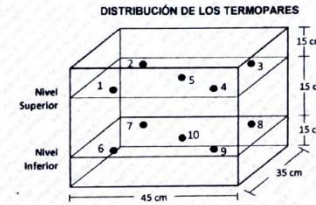
## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicio de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industrial y de Laboratorio

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LT - 002 - 2020

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 5 de 5



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.  
Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 se colocaron a 6 cm de las paredes laterales y a 7 cm del fondo y frente del equipo a calibrar.

#### 12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Fin del documento

Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá N° 71 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERU  
Tel: (51) 546-0942  
Cel: (51) 971 439 232 971 439 282  
RPA: 9646232-0071439282-0942635142

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
contacto@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

# METROTEC

## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industrial y de Laboratorio

Área de Metrología  
Laboratorio de Longitud

### INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV -026 - 2020

Página 1 de 3

1. Expediente	17046
2. Solicitante	SILVER GEOTECH S.A.C.
3. Dirección	Pje. Nuñez N° 122 Chilca - Huancayo - JUNIN.
4. Instrumento de medición	EQUIPO LIMITE LÍQUIDO (CAZUELA CASAGRANDE)
Marca	FORNEY
Modelo	LA-3715
Procedencia	U.S.A.
Número de Serie	1602
Código de identificación	NO INDICA
Tipo de contador	ANALÓGICO
5. Fecha de Verificación	2020-09-13

Este informe de verificación documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la verificación. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una reevaluación, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

METROLOGÍA & TÉCNICAS 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.

Este informe de verificación no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión: 2020-09-13  
Jefe del Laboratorio de Metrología: Sello

  
JUAN C. QUISPE MORALES



Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERU  
Tlf: (511) 54010642  
Cel: (511) 971 439 212 / 971 439 262  
RPM: \*949212 / 971439262 / 9942633342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
www.metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

# METROTEC

## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industrial y de Laboratorio

Área de Metrología  
Laboratorio de Longitud

### INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV -026 - 2020

Página 2 de 3

#### 6. Método de Verificación

La Verificación se realizó tomando las medidas del instrumento, según las especificaciones de la norma internacional ASTM D4318 "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plastic Index of Soils."

#### 7. Lugar de Verificación

Laboratorio de Longitud de METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. - METROTEC.  
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego, San Martín de Porres - Lima

#### 8. Condiciones ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	25 °C	24,3 °C
Humedad Relativa	65 %	66 %

#### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
DM - INACAL LLA-088-2016	PIE DE REY de 300 mm con exactitud de 23 µm	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. MT-LL-361-2016

#### 10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de VERIFICADO.



Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERU  
Tlf: (511) 54010642  
Cel: (511) 971 439 212 / 971 439 262  
RPM: \*949212 / 971439262 / 9942633342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
www.metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

# METROTEC METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Incumbente y un Laboratorio

## INFORME DE VERIFICACIÓN MT - IV - 026 - 2020

Área de Metrología  
Laboratorio de Longitud

Página 5 de 3

### 11. Resultados

El equipo cumple con las especificaciones técnicas siguientes:

DIMENSIONES DE LA BASE DE GOMA DURA

Altura (mm)	Profundidad (mm)	Ancho (mm)
50,67	150,15	124,50



DIMENSIONES DE LA COPA

Radio de la copa (mm)	Espesor de la copa (mm)	Altura desde la guía del elevador hasta la base (mm)
53,95	1,99	47,67

Fin del Documento



## CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 013-2020 PLF

Página 1 de 3

FECHA DE EMISIÓN : 2020-09-11

1. SOLICITANTE : SILVER GEOTECH S.A.C.

DIRECCIÓN : PU. NUÑEZ NRO. 122 JUNIN - HUANCAYO - CHILCA

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DIGITAL PARA ENSAYOS MARSHALL Y CBR

FABRICANTE : PINZUAR LTDA

MODELO : PS - 25

NUMERO DE SERIE : 299

IDENTIFICACIÓN : NO INDICA

CARGA MÁXIMA (Fv) : 50 kN

UBICACIÓN : NO INDICA

FECHA DE CALIBRACION : 2020-09-11

3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones 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.

PINZUAR LTDA SUCURSAL DEL PERU 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.

La calibración de la carga aplicada se realiza mediante comparación directa entre una célula de carga patrón y la célula de carga del instrumento.

  
Harold Jackson Ortuza Chipana  
Responsable del Laboratorio de Metrología

  
Elvis Quinte Huiza  
Técnico del Laboratorio de Metrología



### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 013-2020 PLF

Página 2 de 3

#### 4. LUGAR DE CALIBRACION

Laboratorio de PINZUAR LTDA. SUCURSAL DEL PERU  
 Calle Ricardo palma 998 Urb. San Joaquin Bellavista - Callao

#### 5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final	
Temperatura	19,5	19,5	°C
H. R.	68,0	68,0	%

#### 6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de Referencia de PINZUAR LTDA	Celda de Carga	No. 6569

#### 7. OBSERVACIONES

Se adjunta en el presente certificado, una etiqueta que indica CALIBRADO

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 013-2020 PLF

Página 3 de 3

#### 8. RESULTADOS DE MEDICIÓN

##### CALIBRACION DE LA CARGA APLICADA

Indicación Máquina (kN)	Promedio Mediciones (kN)	Error (kN)	Incertidumbre (kN)
5,0	4,97	-0,03	0,01
10,0	9,97	-0,03	0,01
15,0	14,97	-0,03	0,01
20,0	19,97	-0,03	0,01
25,0	24,96	-0,04	0,01
30,0	29,97	-0,03	0,01
35,0	34,96	-0,04	0,01
40,0	39,97	-0,03	0,01
45,0	44,96	-0,04	0,01
50,0	49,98	-0,02	0,01

## Product Certification This is to Certify

that the material herein identified has been inspected and calibrated (when applicable) in accordance with standard procedures set forth and is found to be within the prescribed tolerances.

PRODUCT MANUFACTURE: **FORNEY, LLC**

PRODUCT ITEM NUMBER: **LA-305**

MANUFACTURING SPECIFICATIONS: **ASTM D698, D1557, AASHTO T 99, T 191**

PRODUCT DESCRIPTION: **COMPACTION MOLDS, 6 IN**

MODELO: **LA-305**

SERIE: **0519**



FORNEY REPRESENTATIVE



WORLD EXPERTS IN MATERIAL TESTING  
1903 Broadway Ave., Harrogate, PA, 16148  
Phone: 724-363-7403 fax: 724-363-7408  
email: sales@forneyinc.com

This Certificate is issued as a statement of the fact that on the date the above instrument(s) had an accuracy as indicated. It should not be construed or regarded as a Guarantee or Warranty of any kind on favor of the client, the client's customers, or the public at large; that the instrument(s) will continue to retain the same percentage (%) of accuracy or efficiency as determined on the date of the calibration, and adjustments (if required) were performed and reported by "FORNEY INCORPORATED", since the calibrator has absolutely no control over the future operation, storage, maintenance repairs and overall condition of the instrument(s) and hence expressly disclaims any and all liability for damage or loss sustained by all parties arising or resulting from deterioration, obsolescence, malfunction, or sub-standard performance of said instrument(s) which shall be deemed to be and which shall remain the sole responsibility of the machine's regular customer, owner and/or manufacturer.

## Product Certification This is to Certify

that the material herein identified has been inspected and calibrated (when applicable) in accordance with standard procedures set forth and is found to be within the prescribed tolerances.

PRODUCT MANUFACTURE: **FORNEY, LLC**

PRODUCT ITEM NUMBER: **LA-3105**

MANUFACTURING SPECIFICATIONS: **ASTM D1587, D1587.0668, AASHTO T192, BS 1377-1:1992, EN 12286-1:1998**

PRODUCT DESCRIPTION: **COMPACTION HAMMER, 10 LB, 18 IN DROP**

MODELO: **LA-3105**

SERIE: **197**



FORNEY REPRESENTATIVE



WORLD EXPERTS IN MATERIAL TESTING  
1903 Broadway Ave., Harrogate, PA, 16148  
Phone: 724-363-7403 fax: 724-363-7408  
email: sales@forneyinc.com

This Certificate is issued as a statement of the fact that on the date the above instrument(s) had an accuracy as indicated. It should not be construed or regarded as a Guarantee or Warranty of any kind on favor of the client, the client's customers, or the public at large; that the instrument(s) will continue to retain the same percentage (%) of accuracy or efficiency as determined on the date when the calibration and adjustments (if required) were performed and reported by "FORNEY INCORPORATED", since the calibrator has absolutely no control over the future operation, storage, maintenance repairs and overall condition of the instrument(s) and hence expressly disclaims any and all liability for damage or loss sustained by all parties arising or resulting from deterioration, obsolescence, malfunction, or sub-standard performance of said instrument(s) which shall be deemed to be and which shall remain the sole responsibility of the machine's regular customer, owner and/or manufacturer.





**RICELI EQUIPOS**  
LABORATORIO DE SUELOS, CEMENTOS Y ARENAS

**CERTIFICADO**

Conste por el presente documento que el presente equipo ha sido inspeccionado y verificado de conformidad con los estándares establecidos y se encontró que se encuentra dentro de las tolerancias prescritas.

FABRICANTE:	RICELI BIENES Y SERVICIOS GENERALES S.A.C
ESPECIFICACIONES TECNICAS:	Molde CBR, incluye collarín y placa base Placa de aumento de volumen con vástago regulable Sobrecarga anular 5 lb. Sobrecarga Ranurada 5 lb
DESCRIPCION DEL PRODUCTO:	MOLDE CBR Y ACCESORIOS
FECHA:	16/02/2020
Serie Nro	357



**RICELI EQUIPOS**  
LABORATORIO DE SUELOS, CEMENTOS Y ARENAS  
Carlos E. Ramírez Montenegro  
Hacia Director y Servicios Generales S.A.C.  
GERENTE GENERAL

Jr. Enrique Norini Nro 1177 Urb. Las Moras, San Luis, Lima, Perú - Teléfono 4731916



**RICELI EQUIPOS**  
LABORATORIO DE SUELOS, CEMENTOS Y ARENAS

**CERTIFICADO**

Conste por el presente documento que el presente equipo ha sido inspeccionado y verificado de conformidad con los estándares establecidos y se encontró que se encuentra dentro de las tolerancias prescritas.

FABRICANTE:	RICELI BIENES Y SERVICIOS GENERALES S.A.C
ESPECIFICACIONES TECNICAS:	Molde CBR, incluye collarín y placa base Placa de aumento de volumen con vástago regulable Sobrecarga anular 5 lb Sobrecarga Ranurada 5 lb
DESCRIPCION DEL PRODUCTO:	MOLDE CBR Y ACCESORIOS
FECHA:	16/02/2020
Serie Nro	358



**RICELI EQUIPOS**  
LABORATORIO DE SUELOS, CEMENTOS Y ARENAS  
Carlos E. Ramírez Montenegro  
Hacia Director y Servicios Generales S.A.C.  
GERENTE GENERAL

Jr. Enrique Norini Nro 1177 Urb. Las Moras, San Luis, Lima, Perú - Teléfono 4731916



### CERTIFICADO

Conste por el presente documento que el presente equipo ha sido inspeccionado y verificado de conformidad con los estándares establecidos y se encontró que se encuentra dentro de las tolerancias prescritas.

FABRICANTE: RICELI BIENES Y SERVICIOS GENERALES S.A.C

ESPECIFICACIONES TECNICAS Molde CBR, incluye collarín y placa base  
Placa de aumento de volumen con vástago regulable  
Sobrecarga amolar 5 lb  
Sobrecarga Ranurada 5 lb

DESCRIPCION DEL PRODUCTO MOLDE CBR Y ACCESORIOS

FECHA: 16/02/2020

Serie Nro: 359



N. Enriquez Heredia No 1177 Urb. Las Moras, San Luis, Lima, Perú - Teléfono 4731916



**Anexo N° 05: Ficha de toma de datos**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
(ASTM D-1585)(AASHTO T-190)**

<b>INFORME</b> :		<b>TECNICO</b> :	
<b>PROYECTO</b> :		<b>REVISADO</b> :	
<b>SOLICITANTE</b> :		<b>FECHA</b> :	
<b>UBICACIÓN</b> :			

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>CALICATA</b> :		<b>PROGRESIVA</b> :	
<b>MUESTRA</b> :		<b>CLASF. (UCI)</b> :	
<b>PROF. (m)</b> :		<b>CLASF. (AASHTO)</b> :	

**COMPACTACION**

Molde Nº	1		2		3	
Capas Nº	5		5		5	
Golpes por capa Nº	58		25		13	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)						
Peso de molde (g)						
Peso del suelo húmedo (g)						
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	3243.00	3243.00	3243.00	3243.00	3243.00	3243.00
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )						
Tara (Nº)						
Peso suelo húmedo + tara (g)						
Peso suelo seco + tara (g)						
Peso de tara (g)						
Peso de agua (g)						
Peso de suelo seco (g)						
Contenido de humedad (%)						
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )						

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%

**PENETRACION**

PENETRACION	PRESION PATRON	MOLDE Nº 01		MOLDE Nº 02		MOLDE Nº 03	
		CARGA		CARGA		CARGA	
mm	Kg/cm <sup>2</sup>	KN	Kg	KN	Kg	KN	Kg
0.00		0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.64							
1.27							
1.91							
<b>2.54</b>	<b>70.36</b>						
3.18							
3.81							
4.45							
<b>5.08</b>	<b>105.46</b>						
7.62							
10.16							
12.70							

<b>FUERZA MAX :</b>	KN	<b>FUERZA MAX :</b>	KN	<b>FUERZA MAX :</b>	KN
<b>EFUER. MAX:</b>	Mpa	<b>EFUER. MAX:</b>	Mpa	<b>EFUER. MAX:</b>	Mpa

## **Anexo N° 06: Panel fotográfico**



Figura 33. Extracción de muestras de suelo.



Figura 34. Vista de la calicata.



Figura 35. Muestras de suelo en laboratorio.



Figura 36. Tamizado de las muestras de suelos recolectados.



Figura 37. Ensayo de granulometría del suelo.



Figura 38. Ensayo del límite líquido de suelo patrón.





Figura 39. Ensayo del límite plástico de suelo patrón.



Figura 40. Compactación del suelo para la ejecución del ensayo Proctor.



Figura 41. Enrasado después de compactación del suelo patrón.



Figura 42. Muestras de suelo patrón sumergidas para su posterior análisis en la máquina de compresión.



Figura 43. Ensayo del equivalente de arena del suelo patrón.



Figura 44. Ensayo de CBR del suelo patrón.



Figura 45. Preparación de muestras de suelo más 6 % de sulfato de calcio.



Figura 46. Ensayo de límite líquido y plástico de suelo + 6% de sulfato de calcio.



Figura 47. Preparación de la muestra de suelo+ 6% de sulfato de calcio, mediante el ensayo Proctor.



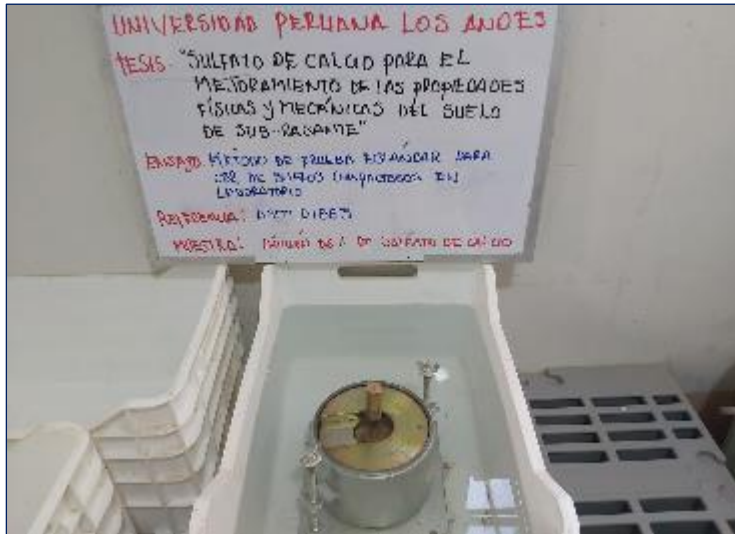


Figura 48. Muestras de suelo+ 6% de sulfato de calcio, sumergidas en agua para su análisis de CBR.



Figura 49. Ensayo de CBR para muestra de suelo+ 6% de sulfato de calcio.



Figura 50. Ensayo de equivalente de arena para muestra de suelo+ 6% de sulfato de calcio.



Figura 51. Preparación de muestras de suelo más 8 % de sulfato de calcio.



Figura 52. Ensayo de límite líquido y plástico de suelo + 8% de sulfato de calcio.



Figura 53. Ensayo de equivalente de arena para muestra de suelo+ 8% de sulfato de calcio.



Figura 54. Preparación de la muestra de suelo+ 8% de sulfato de calcio, mediante el ensayo Proctor.



Figura 55. Muestras de suelo+ 8% de sulfato de calcio, sumergidas en agua para su análisis de CBR.



Figura 56. Ensayo de CBR para muestra de suelo+ 8% de sulfato de calcio.



Figura 57. Preparación de muestras de suelo más 10 % de sulfato de calcio.



Figura 58. Ensayo de límite líquido y plástico de suelo + 10% de sulfato de calcio.



Figura 59. Ensayo de equivalente de arena para muestra de suelo+ 10% de sulfato de calcio.





Figura 60. Preparación de la muestra de suelo+ 10% de sulfato de calcio, mediante el ensayo Proctor.



Figura 61. Muestras de suelo+ 10% de sulfato de calcio, sumergidas en agua para su análisis de CBR.



Figura 62. Ensayo de CBR para muestra de suelo+ 10% de sulfato de calcio.



Figura 63. Preparación de muestras de suelo más 12 % de sulfato de calcio.



Figura 64. Ensayo de límite líquido y plástico de suelo + 12% de sulfato de calcio.



Figura 65. Ensayo de equivalente de arena para muestra de suelo+ 12% de sulfato de calcio.



Figura 66. Preparación de la muestra de suelo+ 12 % de sulfato de calcio, mediante el ensayo Proctor.



Figura 67. Muestras de suelo+ 12% de sulfato de calcio, sumergidas en agua para su análisis de CBR.



Figura 68. Ensayo de CBR para muestra de suelo+ 12% de sulfato de calcio.