



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LA ESTABILIZACIÓN CON 1.5%, 3.0%, 4.5% Y 6.0% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES DE UN MATERIAL AFIRMADO PARA EL DISEÑO DE LA VÍA EL PALLAR – SHALAR, LA LIBERTAD, 2018

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Br. Víctor Alonso Cubas Guzman  
Br. Álvaro Jair Quiroz Montenegro

**Asesor:**

Ing. Juan Paul Edward Henríquez Ulloa

Trujillo – Perú  
2018

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres Victor Alonso, Cubas Guzman y Álvaro Jair, Quiroz Montenegro, denominada:

**“INFLUENCIA DE LA ESTABILIZACIÓN CON 1.5%, 3.0%, 4.5% Y 6.0% DE  
EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES DE UN MATERIAL  
AFIRMADO PARA EL DISEÑO DE LA VÍA EL PALLAR – SHALAR, LA  
LIBERTAD, 2018”**

---

Ing. Juan Paul Edward Henríquez Ulloa  
**ASESOR**

---

MBA Ricardo Avalos Alayo  
**JURADO  
PRESIDENTE**

---

MBA Josualdo Carlos Villar Quiroz  
**JURADO**

---

Ing. Carlos Humberto Fernández Fernández  
**JURADO**

## DEDICATORIA

Gracias Señor Jesús todo poderoso por regalarme una familia maravillosa, por permitirme cumplir con esta meta y guiar mi camino dándome oportunidades para crecer en mi vida personal y profesional.

A mi madre Raquel Candelaria Guzmán Álvarez que me dio la vida y ha estado siempre en mis fracasos y triunfos, brindándome todo su amor y apoyo incondicional, por todo esto les dedico esta tesis, que sin ti madre no lo hubiese logrado.

A mi hijo Rodrigo Alonso Cubas Muñoz, al que amo con todo mi corazón, quien es mi motor y motivo para salir adelante y vea en mí un ejemplo a seguir pese a las adversidades de la vida.

A mi hermana Victoria Raquel Cubas Guzmán, por su comprensión y apoyo para que sepas que todo es posible si te lo propones es una pequeña parte de mí, te la dedico por ser mi único compañero en mi vida que nunca me dejará. Siempre te apoyaré en todo.

A mis familiares Victoria Bernardita Álvarez Chávez, Norma Luz Álvarez Chávez, Wilder Sebastián Arteaga, Darwin William Sebastián Guzman, Wilder Jesús Sebastián Guzman y Diego Sebastián, por ser personas especiales, que mis primos vean en mi un ejemplo a seguir que todo se puede lograr en esta vida nada es imposible.

Br. Victor Alonso Cubas Guzman

## DEDICATORIA

A DIOS, por haberme dado la oportunidad de concluir exitosamente mis estudios universitarios.

A mis padres: Víctor Quiroz y Consuelo Montenegro, quienes me enseñaron que la vida es difícil pero no imposible para alcanzar nuestras metas.

A mis hermanos: Piero Quiroz y Dayana Quiroz, con quienes comparto momentos de largas conversaciones y risas interminables.

Los amo.

Br. Álvaro Jair Quiroz Montenegro

## AGRADECIMIENTO

A Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda, y cuando caigo y me pones a prueba, aprendo de mis errores y me doy cuenta de los pones en frente mío para que mejore como ser humano, y crezca de diversas maneras. Este trabajo de tesis ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

A mi madre Raquel Candelaria Guzmán Álvarez por ser el principal promotor de mis sueños, gracias a ella por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

A mi hijo Rodrigo Alonso Cubas Muñoz por ser la fuente de mi esfuerzo y todas las energías requeridas en este, gracias por ser el motor de mi vida, el motor que siempre está encendido. Finalizo diciéndote, que espero entiendas y comprendas la recompensa que espera a cada sacrificio que realizamos entre tú y yo. El tiempo será el mejor juez, y esta carta será el mejor testigo entre el sacrificio y el éxito.

A Jheisy Jocelyn Muñoz Llajaruna, por darme la dicha de ser padre, de tener un hermoso hijo quien es Rodrigo Alonso Cubas Muñoz al que amo con todo mi corazón y es mi inspiración para día a día salir adelante.

A mis familiares Victoria Bernardita Álvarez Chávez, Norma Luz Álvarez Chávez, Wilder Sebastián Arteaga, Darwin William Sebastián Guzman, Wilder Jesús Sebastián Guzman y Diego Sebastián Guzman por siempre brindarme su apoyo incondicional.

Al ingeniero Juan Paul Edward, Henríquez Ulloa, quien se ha tomado el arduo trabajo de transmitirme sus diversos conocimientos de temas que corresponden a mi profesión. Pero además de eso, ha sido el quien ha sabido encaminarme por el camino correcto, y quien me ha ofrecido sabios conocimientos para lograr mis metas y lo que me proponga. Muchas gracias.

Br. Víctor Alonso Cubas Guzman

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado fuerzas durante todo el tiempo y poder superar cada obstáculo de mi vida, logrando alcanzar esta meta tan importante en mi carrera profesional.

A mis padres Víctor Quiroz y Consuelo Montenegro, por su apoyo que me brindaron en cada momento y enseñarme a no rendirme jamás, a ser perseverante para alcanzar todo lo que me proponga en la vida.

A mis abuelos Nila, Elmo y Juana, por apoyarme en todo momento y ser un ejemplo a seguir para la formación de mi persona.

A mis hermanos Piero y Dayana, por acompañarme en los momentos de mi vida, compartiendo muchas risas, en la cual me demostraron su amor y su cariño sincero.

Al ingeniero Juan Paul Edward Henríquez Ulloa, quien ha sido pieza elemental en la culminación de esta investigación. Gracias por su amistad, paciencia, conocimientos y motivación durante el desarrollo de la tesis.

A mis familiares y amistades, quienes siempre confiaron en mi persona, y me brindaron su apoyo para la culminación de esta investigación

Br. Álvaro Jair Quiroz Montenegro

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |            |
|--|------------|
| <b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>   | <b>ii</b>  |
| <b>DEDICATORIA.....</b>  | <b>iii</b> |
| <b>AGRADECIMIENTO .....</b>  | <b>iii</b> |
| <b>RESUMEN.....</b>  | <b>xvi</b> |
| <b>CAPITULO I .....</b>  | <b>18</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>18</b>  |
| 1.1. Realidad problemática .....   | 18         |
| 1.2. Formulación del problema.....   | 19         |
| 1.3. Justificación.....  | 20         |
| 1.4. Limitaciones .....  | 21         |
| 1.5. Objetivos .....   | 21         |
| <b>CAPITULO II .....</b>   | <b>23</b>  |
| <b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>  | <b>23</b>  |
| 2.1. Antecedentes .....  | 23         |
| 2.2. Bases teóricas.....   | 25         |
| 2.2.1. Ubicación geográfica.....   | 25         |
| 2.2.8. Control de calidad y medidas estadísticas.....                      | 44         |
| 2.3. Hipótesis .....   | 45         |
| <b>CAPITULO III .....</b>  | <b>46</b>  |
| <b>3. METODOLOGÍA.....</b>   | <b>46</b>  |
| 3.1. Operacionalización de variables .....                                 | 46         |
| 3.2. Diseño de investigación .....   | 47         |
| 3.3. Unidad de estudio .....   | 47         |
| 3.4. Población .....   | 47         |
| 3.5. Muestra .....   | 48         |
| 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos ..... | 49         |
| 3.6.1. Técnica e Instrumento de recolección de datos .....                 | 50         |

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPITULO IV</b> .....  | <b>77</b>  |
| <b>4. RESULTADOS</b> .....  | <b>77</b>  |
| <b>CAPITULO V</b> .....   | <b>80</b>  |
| <b>5. DISCUSIÓN</b> .....   | <b>85</b>  |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....   | <b>100</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b> .....  | <b>102</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | <b>103</b> |
| <b>APÉNDICE</b> .....   | <b>104</b> |
| APÉNDICE Nº 1: Perfiles estratigráficos.....  | 104        |
| APÉNDICE Nº 2: Resultados de Caracterización del Material .....                                       | 108        |
| APÉNDICE Nº 2.1: Resultados Caracterización de las Calicatas .....                                    | 108        |
| APÉNDICE Nº 2.2: Resultados Caracterización de Material Afirmado .....                                | 134        |
| APÉNDICE Nº 2.3: Resultados del Material Afirmado Estabilizado con Emulsión Asfáltica CSS-1H<br>..... | 146        |
| APÉNDICE Nº 2.4: Diseño de la vía afirmada Tramo El Pallar – Shalar, La Libertad .....                | 194        |
| <b>ANEXOS</b> .....   | <b>195</b> |
| ANEXO 1: Certificado de Ensayos en Laboratorio .....  | 195        |
| ANEXO 2: Ficha técnica de Emulsión Asfáltica .....  | 197        |
| ANEXO 3: Certificado de Calibración .....   | 198        |
| ANEXO 4: Panel fotográfico.....   | 203        |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Métodos de mejoramiento del suelo. Fuente: (Rodríguez y Castillo, 1974) .....                                    | 28 |
| Tabla 2: Granulometría según el tipo de afirmado. Fuente: (MTC, 2014) .....   | 32 |
| Tabla 3: Espesor de afirmado. (MTC, 2014) .....   | 34 |
| Tabla 4: Requerimientos de emulsión asfáltica catiónica. (MTC, 2014) .....  | 41 |
| Tabla 5. Matriz de Hipótesis .....  | 45 |
| Tabla 6: Matriz de Operacionalización de la variable dependiente. Fuente (Propia) .....                                   | 46 |
| Tabla 7. Diseño de investigación experimental pura .....  | 47 |
| Tabla 8: Matriz de diseño experimental. Fuente (Propia) .....   | 50 |
| Tabla 9: Guía de Observación Trafico de Diseño ESALS (EE) para la vía El Pallar – Shalar,<br>Fuente Propia .....          | 52 |
| Tabla 10: Proceso Experimental. Fuente (Propia) .....   | 53 |
| Tabla 11: Número de calicatas. Fuente: (Manual de carreteras,2014) .....  | 56 |
| Tabla 12: Número de ensayos por calicatas. Fuente:(Manual de carreteras, 2014) .....                                      | 56 |
| Tabla 13: Calicatas elaboradas en la investigación. Fuente (Propia) .....   | 56 |
| Tabla 14: Esquema de análisis granulométrico. Fuente (Propia) .....   | 57 |
| Tabla 15: Esquema de contenido de humedad. Fuente (Propia) .....  | 58 |
| Tabla 16: Esquema de peso unitario Fuente (Propia) .....  | 59 |
| Tabla 17: Esquema de límite líquido. Fuente (Propia) .....  | 61 |
| Tabla 18: Esquema de límite plástico. Fuente: (Propia) .....  | 62 |
| Tabla 19: Esquema de índice de plasticidad Fuente (Propia) .....  | 63 |
| Tabla 20: Número de esferas por gradación. Fuente: (MTC E207) .....   | 63 |
| Tabla 21: Muestra para el ensayo de abrasión. Fuente: (MTC E207) .....  | 63 |
| Tabla 22: Esquema de ensayo de abrasión Fuente (Propia) .....   | 64 |
| Tabla 23: Esquema para proctor modificado Fuente (Propia) .....   | 66 |
| Tabla 24: Nomenclatura del sistema SUCS. Fuente: (Bañon Blázquez, 2014) .....   | 66 |
| Tabla 25: Clasificación SUCS. Fuente: (Suelos y Pavimentos, 2014) .....   | 67 |
| Tabla 26: Clasificación del suelo AASHTO. Fuente: (AASHTO M145, 2010) .....   | 68 |
| Tabla 27: Similitudes de la clasificación SUCS y AASTHO. ....   | 69 |
| Tabla 28: Esquema de densidad húmeda del CBR. Fuente (Propia) .....   | 71 |
| Tabla 29: Esquema de densidad seca. Fuente: (Propia) .....  | 72 |
| Tabla 30: Expansión del CBR. Fuente (Propia) .....  | 72 |
| Tabla 31: Penetración del CBR. (Propia) .....   | 72 |
| Tabla 32: Esquema de deformación para compresión inconfiada .....   | 74 |
| Tabla 33: Esquema de compresión No confinada .....  | 75 |
| Tabla 34: Cuadro de resumen caracterización del material en calicatas del tramo El Pallar-<br>Shalar Fuente: Propia ..... | 77 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 35: Granulometría de las calicatas. Fuente: Propia .....  | 78  |
| Tabla 36: Cuadro de resumen caracterización del material en cantera el Pallar Fuente: Propia ..                                       | 79  |
| Tabla 37: Granulometría de la cantera el Pallar .....   | 79  |
| Tabla 38: Cuadro de resumen del material estabilizado con Emulsión Asfáltica Fuente: Propia ..  | 80  |
| Tabla 39. Espesor de cada afirmado .....  | 80  |
| Tabla 40: Selección del tipo de maquinaria en función del tipo de suelo según la clasificación AASHTO (Dujisin y Rutland, 1974) ..... | 80  |
| Tabla 41. Comparación de resultados obtenidos por dosificación .....  | 82  |
| Tabla 42: Análisis de Precio Unitario Base en Afirmado .....  | 82  |
| Tabla 43: Análisis de Precio Unitario Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica .....  | 83  |
| Tabla 44. Resultados de la prueba de normalidad .....   | 83  |
| Tabla 45. Resultados del Análisis de Varianza.....  | 84  |
| Tabla 46. Resultados de la Prueba de Tukey.....   | 84  |
| Tabla 47: Tamaño de las partículas según el tipo de material, Fuente: Propia.....   | 86  |
| Tabla 48: Clasificación y uso del suelo según CBR. Fuente: (AssisA., 1998).....   | 88  |
| Tabla 49: Clasificación de la sub-rasante según el índice de grupo.....   | 88  |
| Tabla 50: Clasificación de suelos según CBR. Fuente: (Joseph Bowles, 2015) .....  | 92  |
| Tabla 51: Consistencia del suelo según su compresión. Fuente:(MTC,2016) .....   | 97  |
| Tabla 52: Comparativo de Costos Unitarios .....   | 98  |
| Tabla 53: Perfil Estratigráfico Calicata N° 1 Fuente: (Propia) .....  | 104 |
| Tabla 54: Granulometría de Suelo del Material de Calicata N°1 Fuente: (Propia) .....  | 108 |
| Tabla 55: Granulometría de Suelo del Material de Calicata N°2 Fuente: (Propia) .....  | 109 |
| Tabla 56: Granulometría de Suelo del Material de Calicata N°3 Fuente: (Propia) .....  | 110 |
| Tabla 57: Granulometría de Suelo del Material de Calicata N°4 Fuente: (Propia) .....  | 111 |
| Tabla 58: Contenido de Humedad de Calicata N° 1 Fuente: (Propia) .....  | 112 |
| Tabla 59: Contenido de Humedad de Calicata N° 2 Fuente: (Propia) .....  | 112 |
| Tabla 60: Contenido de Humedad de Calicata N° 3 Fuente: (Propia) .....  | 112 |
| Tabla 61: Contenido de Humedad de Calicata N° 4 Fuente: (Propia) .....  | 112 |
| Tabla 62: Peso Específico de la Calicata N° 1.....  | 113 |
| Tabla 63: Peso Específico de la Calicata N° 2.....  | 113 |
| Tabla 64: Peso Específico de la Calicata N° 3.....  | 113 |
| Tabla 65: Peso Específico de la Calicata N° 4.....  | 114 |
| Tabla 66: Límites de Atterberg de la Calicata N° 1 Fuente: (Propia) .....   | 114 |
| Tabla 67: Límites de Atterberg de la Calicata N° 2 Fuente: (Propia) .....   | 115 |
| Tabla 68: Límites de Atterberg de la Calicata N° 3 Fuente: (Propia) .....   | 116 |
| Tabla 69: Límites de Atterberg de la Calicata N° 4 Fuente: (Propia) .....   | 116 |
| Tabla 70: Índice de Plasticidad de Calicatas .....  | 117 |
| Tabla 71: Ensayo Proctor Modificado de la Calicata N° 1 Fuente: (Propia) .....  | 118 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 72: Ensayo Proctor Modificado de la Calicata N° 2 Fuente: (Propia) .....   | 120 |
| Tabla 73: Ensayo Proctor Modificado de la Calicata N° 3 Fuente: (Propia) .....   | 122 |
| Tabla 74: Ensayo Proctor Modificado de la Calicata N° 4 Fuente: (Propia) .....   | 124 |
| Tabla 75: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) Tramo El Pallar -Shalar Km +0.00 – Km +3.00 Fuente: (Propia) .....                       | 126 |
| Tabla 76: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) Tramo El Pallar -Shalar Km +3.00 – Km +4.00 Fuente: (Propia) .....                       | 130 |
| Tabla 77: California Bearing Ratio (CBR) Tramo El Pallar -Shalar Km +3.00 – Km +4.00 Fuente: (Propia).....                               | 133 |
| Tabla 78: Granulometría de Suelo del Material de Cantera El Pallar Fuente: (Propia) .....  | 134 |
| Tabla 79: Granulometría por Afirmado del Material de Cantera El Pallar Fuente: (Propia) .....  | 135 |
| Tabla 80: Granulometría por Base Granular del Material de Cantera El Pallar Fuente: (Propia).....  | 136 |
| Tabla 81: Contenido de Humedad de Material Cantera Fuente: (Propia) .....  | 137 |
| Tabla 82: Peso Específico de la Cantera el Pallar .....  | 137 |
| Tabla 83: Peso Volumétrico - Agregado Grueso Fuente: (Propia) .....  | 138 |
| Tabla 84: Peso Volumétrico - Agregado Fino Fuente: (Propia) .....  | 138 |
| Tabla 85: Límites de Atterberg de Material Cantera Fuente: (Propia) .....  | 138 |
| Tabla 86: Ensayo Desgaste por Abrasión Material de Cantera Fuente: (Propia).....   | 139 |
| Tabla 87: Ensayo Proctor Modificado con Material de Cantera. Fuente:(Propia) .....   | 140 |
| Tabla 88: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera Fuente: (Propia) .....   | 142 |
| Tabla 89: Ensayo Proctor Modificado al 1.5% de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia) .....   | 146 |
| Tabla 90: Ensayo Proctor Modificado al 3.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia) .....  | 148 |
| Tabla 91: Ensayo Proctor Modificado al 4.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia) .....  | 150 |
| Tabla 92: Ensayo Proctor Modificado al 6.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia) .....  | 152 |
| Tabla 93: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera al 1.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....                 | 154 |
| Tabla 94: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera al 3.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....                 | 158 |
| Tabla 95: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera al 4.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....                 | 162 |
| Tabla 96: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera al 6.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....                 | 166 |
| Tabla 97: Resistencia a la Compresión No Confinada 1.5% de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 1. Fuente: (Propia) ..... | 170 |
| Tabla 98. Resistencia a la Compresión No Confinada 1.5% de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 2. Fuente: (Propia) ..... | 172 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 99. Resistencia a la Compresión No Confinada 1.5% de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 3. Fuente: (Propia) .....   | 174 |
| Tabla 100: Resistencia a la Compresión No Confinada 3.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 1. Fuente: (Propia) ..... | 176 |
| Tabla 101. Resistencia a la Compresión No Confinada 3.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 2. Fuente: (Propia) ..... | 178 |
| Tabla 102. Resistencia a la Compresión No Confinada 3.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 3. Fuente: (Propia) ..... | 180 |
| Tabla 103: Resistencia a la Compresión No Confinada 4.5 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 1 Fuente: (Propia) .....  | 182 |
| Tabla 104. Resistencia a la Compresión No Confinada 4.5 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 2 Fuente: (Propia) .....  | 184 |
| Tabla 105. Resistencia a la Compresión No Confinada 4.5 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 3. Fuente: (Propia) ..... | 186 |
| Tabla 106: Resistencia a la Compresión No Confinada 6.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 1. Fuente: (Propia) ..... | 188 |
| Tabla 107. Resistencia a la Compresión No Confinada 6.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 2. Fuente: (Propia) ..... | 190 |
| Tabla 108. Resistencia a la Compresión No Confinada 6.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 3. Fuente: (Propia) ..... | 192 |
| Tabla 109: Diseño de la vía Afirmada sin Emulsión Asfáltica, Fuente: Propia .....  | 194 |
| Tabla 110: Diseño de la vía Afirmada con 4.5% de Emulsión Asfáltica, Fuente Propia.....  | 194 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1: Ubicación geográfica de la carretera el Pallar-Shalar. Fuente: Google Earth.....                   | 26  |
| Figura 2: Afirmado de una cantera.....   | 30  |
| Figura 3: Espesor de capa de revenimiento granular. (MTC, 2014).....   | 35  |
| Figura 4: Catálogo de capas de afirmado con periodo de 10 años (MTC, 2014).....                              | 36  |
| Figura 5: Diagrama esquemático de una emulsión. (IMT, 2001).....   | 37  |
| Figura 6: Representación esquemática de las emulsiones. (Montejo Fonseca Alfonso, 2001) .....                | 39  |
| Figura 7: Base estabilizada con emulsión asfáltica. (Tecnología de pavimentos, 2010) .....                   | 43  |
| Figura 8: Probeta para ensayo de compresión no confinada Fuente (Propia) .....                               | 48  |
| Figura 9: Probeta para ensayo de California Bearing Ratio (CBR). Fuente (Propia) .....                       | 49  |
| Figura 11: Curvas granulométricas de las calicatas, Fuente: Propia.....                                      | 85  |
| Figura 12: CBR de las calicatas, Fuente: Propia .....  | 87  |
| Figura 13: Curva granulométrica del material de cantera, Fuente: Propia .....                                | 89  |
| Figura 14: Granulometría del material como afirmado, Fuente Propia.....                                      | 90  |
| Figura 15: Granulometría del material como base de afirmado.....   | 90  |
| Figura 16: Compactación según el proctor modificado con emulsión asfáltica. Fuente: (Propia) ...             | 93  |
| Figura 17: CBR con adición de emulsión asfáltica Css-1h. Fuente: Propia .....                                | 94  |
| Figura 18: Compresión inconfiada con emulsión asfáltica. Fuente: Propia .....                                | 96  |
| Figura 19: Curva Granulométrica de la Calicata N°1 Fuente: (Propia).....                                     | 108 |
| Figura 20: Curva Granulométrica de la Calicata N°2 Fuente: (Propia).....                                     | 109 |
| Figura 21: Curva Granulométrica de Suelo - Calicata N°3 Fuente: (Propia).....                                | 110 |
| Figura 22: Curva Granulométrica de la Calicata N°4 Fuente: (Propia).....                                     | 111 |
| Figura 23: Diagrama de Fluidez de la Calicata N° 1 Fuente: (Propia).....                                     | 114 |
| Figura 24: Diagrama de Fluidez de la Calicata N° 2 Fuente: (Propia).....                                     | 115 |
| Figura 25: Diagrama de Fluidez de la Calicata N° 3 Fuente: (Propia).....                                     | 116 |
| Figura 26: Diagrama de Fluidez de la Calicata N° 4 Fuente: (Propia).....                                     | 117 |
| Figura 27: Curva Óptimo Contenido de Humedad - Densidad Seca de la Calicata N° 1 Fuente: (Propia).....       | 119 |
| Figura 28: Curva Óptimo de Contenido de Humedad - Densidad Seca de la Calicata N° 2 Fuente: (Propia).....    | 121 |
| Figura 29: Curva Óptimo Contenido de Humedad - Densidad Seca de la Calicata N° 3 Fuente: (Propia).....       | 123 |
| Figura 30: Curva Óptimo Contenido de Humedad - Densidad Seca de la Calicata N° 4 Fuente: (Propia).....       | 125 |
| Figura 31: Curvas de Carga vs. Penetración Tramo El Pallar -Shalar Km +0.00 – Km +3.00 Fuente: (Propia)..... | 128 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 32: Relación CBR vs Densidad Seca Tramo El Pallar -Shalar Km +0.00 – Km +3.00                                  |     |
| Fuente: (Propia).....   | 129 |
| Figura 33: Curvas de Carga vs. Penetración Tramo El Pallar -Shalar Km +3.00 – Km +4.00                                |     |
| Fuente: (Propia).....   | 132 |
| Figura 34: Relación CBR vs Densidad Seca Tramo El Pallar -Shalar Km +3.00 – Km +4.00                                  |     |
| Fuente: (Propia).....   | 133 |
| Figura 35: Curva Granulométrica de Suelo - Cantera El Pallar Fuente: (Propia).....                                    | 134 |
| Figura 36: Curva Granulométrica por Afirmado de Cantera El Pallar Fuente: (Propia).....                               | 135 |
| Figura 37: Curva Granulométrica por Base Granular de Cantera El Pallar Fuente: (Propia).....                          | 136 |
| Figura 38: Diagrama de Fluidez de Material Cantera Fuente: (Propia).....  | 139 |
| Figura 39: Curva de Optimo Contenido de Humedad vs Densidad Seca de Material Cantera                                  |     |
| Fuente: (Propia).....   | 141 |
| Figura 40: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera Fuente: (Propio).....                                  | 144 |
| Figura 41: Relación CBR vs Densidad Seca del Materia de Cantera Fuente: (Propia).....                                 | 145 |
| Figura 42: Curva Optimo Contenido de Humedad – Densidad Seca al 1.5% de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....      | 147 |
| Figura 43: Curva Optimo Contenido de Humedad – Densidad Seca al 3.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....     | 149 |
| Figura 44: Curva Optimo Contenido de Humedad – Densidad Seca al 4.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....     | 151 |
| Figura 45: Curva Optimo Contenido de Humedad – Densidad Seca al 6.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....     | 153 |
| Figura 46: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera al 1.5% de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....    | 156 |
| Figura 47: Relación CBR vs Densidad Seca del Materia de Cantera con 1.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)..... | 157 |
| Figura 48: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera al 3.0% de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....    | 160 |
| Figura 49: Relación CBR vs Densidad Seca del Materia de Cantera con 3.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)..... | 161 |
| Figura 50: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera al 4.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....   | 164 |
| Figura 51: Relación CBR vs Densidad Seca del Materia de Cantera con 4.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)..... | 165 |
| Figura 52: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera al 6.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia).....   | 168 |
| Figura 53: Relación CBR vs Densidad Seca del Materia de Cantera con 6.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)..... | 169 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 54: Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 1.5 % de Emulsion Asphaltica – Prueba 1. Fuente: (Propia) .....           | 171 |
| Figura 55: Círculo de Mohr con un 1.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 1. Fuente: (Propia) ....  | 171 |
| Figura 56. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 1.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 2. Fuente: (Propia) .....            | 173 |
| Figura 57: Círculo de Mohr con un 1.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 1I. Fuente: (Propia) ...  | 173 |
| Figura 58. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 1.5 % de Emulsion Asphaltica – Prueba 3. Fuente: (Propia) .....           | 175 |
| Figura 59: Círculo de Mohr con un 1.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba II1. Fuente: (Propia) ..  | 175 |
| Figura 60: Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 3.0 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 1. Fuente: (Propia) .....            | 177 |
| Figura 61: Círculo de Mohr con un 3.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba I Fuente: (Propia) .....  | 177 |
| Figura 62. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 3.0 % de Emulsión Asfáltica - Prueba 2. Fuente: (Propia) .....            | 179 |
| Figura 63: Círculo de Mohr con un 3.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba II Fuente: (Propia) .....   | 179 |
| Figura 64. Figura 61. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 3.0 % de Emulsión Asfáltica - Prueba 3. Fuente: (Propia) ..... | 181 |
| Figura 65: Círculo de Mohr con un 3.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba III Fuente: (Propia) .....  | 181 |
| Figura 66: Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 4.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 1. Fuente: (Propia) .....            | 183 |
| Figura 67: Círculo de Mohr con un 4.5 % de Emulsión Asfáltica Prueba I Fuente: (Propia) .....  | 183 |
| Figura 68. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 4.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 2. Fuente: (Propia) .....            | 185 |
| Figura 69: Círculo de Mohr con un 4.5 % de Emulsión Asfáltica Prueba II Fuente: (Propia) .....   | 185 |
| Figura 70. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera El Pallar con 4.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 3. Fuente: (Propia) .....               | 187 |
| Figura 71: Círculo de Mohr con un 4.5 % de Emulsión Asfáltica Prueba III Fuente: (Propia) .....  | 187 |
| Figura 72: Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 6.0 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 1. Fuente: (Propia) .....            | 189 |
| Figura 73: Círculo de Mohr con un 6.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba I Fuente: (Propia) .....  | 189 |
| Figura 74. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 6.0 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 2. Fuente: (Propia) .....            | 191 |
| Figura 75: Círculo de Mohr con un 6.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba II Fuente: (Propia) .....   | 191 |
| Figura 76. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 6.0 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 3. Fuente: (Propia) .....            | 193 |
| Figura 77: Círculo de Mohr con un 6.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba III Fuente: (Propia) .....  | 193 |
| Figura 78: Certificado de Ensayos, Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Privada del Norte.....                                  | 195 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 79: Certificado de Ensayos, Fuente: Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Universidad Privada del Norte..... | 196 |
| Figura 80: Ficha Técnica Emulsión Asfáltica CSS-1H, Fuente: Bituper .....  | 197 |
| Figura 81: Certificado de Calibración Máquina de Prueba de Compresión, Fuente: Laboratorio UPN.....                  | 198 |
| Figura 82: Certificado de Calibración Prensa Multiusos, Fuente: Laboratorio UPN.....                                 | 199 |
| Figura 83: Certificado de Calibración del Dial, Fuente: Laboratorio UPN .....  | 200 |
| Figura 84: Certificado de Calibración de Balanza Electrónica, Fuente: Laboratorio UPN.....                           | 201 |
| Figura 85: Certificado de Calibración de Vernier, Fuente: Laboratorio UPN.....                                       | 202 |
| Figura 86: Conteo de vehículos Fuente (Propia) .....   | 203 |
| Figura 87: Conteo de vehículos (Propia) .....  | 203 |
| Figura 88: Calicata N° 1 Tramo +0.00 Km - +1.00 Km (Propia) .....  | 204 |
| Figura 89: Calicata N° 2 Tramo +1.00 Km - +2.00 Km (Propia) .....  | 204 |
| Figura 90: Calicata N° 3 Tramo +2.00 Km - +3.00 Km (Propia) .....  | 205 |
| Figura 91: Calicata N° 4 Tramo +3.00 Km - +4.00 Km (Propia) .....  | 205 |
| Figura 92: Ensayo Análisis Granulométrico por Tamizado (Propia).....   | 206 |
| Figura 93: Muestra Retenida en cada Malla (Propia) .....   | 206 |
| Figura 94: Peso específico y absorción del agregado fino y grueso (Propia) .....                                     | 207 |
| Figura 95: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y fino (Propia) .....                               | 207 |
| Figura 96: Ensayo Contenido de humedad (Propia).....   | 208 |
| Figura 97: Ensayo Limite Líquido (Propia) .....  | 208 |
| Figura 98: Ensayo Limite Plástico (Propia) .....   | 209 |
| Figura 99: Ensayo Desgaste por Abrasión (Propia).....  | 209 |
| Figura 100: Ensayo Proctor Modificado (Propia) .....   | 210 |
| Figura 101: Moldes y accesorios para ensayo CBR (Propia) .....   | 210 |
| Figura 102: Muestra después de 4 días inmerso en agua (Propia).....  | 211 |
| Figura 103: Ensayo CBR (Propia).....   | 211 |
| Figura 104: Preparación de la muestra con emulsión asfáltica (Propia) .....  | 212 |
| Figura 105: Probetas con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica (Propia).....                                  | 212 |
| Figura 106: Ensayo Resistencia Compresión No Confinada (Propia) .....  | 213 |
| Figura 107: Ensayo de Resistencia Compresión No Confinada al 1.5% y 3.0% de Emulsión Asfáltica (Propia) .....        | 213 |
| Figura 108: Ensayo de Resistencia Compresión No Confinada al 4.5% y 6.0% de Emulsión Asfáltica (Propia) .....        | 214 |
| Figura 109: Manual de Ensayo de Materiales 2016, Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones .....            | 215 |



## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1: Espesor del afirmado según método NAASRA. (MTC, 2014) ..... | 34 |
| Ecuación 2: Contenido de humedad .....                                  | 58 |
| Ecuación 3: Peso unitario suelto .....                                  | 59 |
| Ecuación 4: Peso unitario compactado .....                              | 59 |
| Ecuación 5: Límite líquido .....  | 61 |
| Ecuación 6: Límite plástico.....  | 62 |
| Ecuación 7: Índice de plasticidad .....                                 | 62 |
| Ecuación 8: Desgaste por abrasión .....                                 | 64 |
| Ecuación 9: Densidad húmeda para proctor modificado .....               | 65 |
| Ecuación 10: Densidad seca para proctor modificado.....                 | 65 |
| Ecuación 11 : Índice de grupo.....                                      | 68 |
| Ecuación 12: Humedad óptima a añadir .....                              | 71 |
| Ecuación 13: Porcentaje de expansión .....                              | 71 |
| Ecuación 14: Deformación unitaria .....                                 | 73 |
| Ecuación 15:Área inicial de compresión inconfiada.....                  | 73 |
| Ecuación 16: Sección transversal de compresión inconfiada.....          | 74 |
| Ecuación 17: Esfuerzo a compresión inconfiada .....                     | 74 |
| Ecuación 18: Promedio .....   | 75 |
| Ecuación 19: Varianza .....   | 76 |
| Ecuación 20: Desviación estándar .....                                  | 76 |
| Ecuación 21: Coeficiente de variación .....                             | 76 |
| Ecuación 22: Energía de Compactación.....                               | 81 |
| Ecuación 22: Número de Pasadas.....                                     | 81 |

## RESUMEN

La presente tesis demostró que el uso de un material afirmado estabilizado con emulsión asfáltica permitió mejorar el diseño de una vía y a la vez mejorar las propiedades de compresión no confinada y CBR de un suelo.

Para el desarrollo de la tesis se utilizó material afirmado de la cantera el Pallar y emulsión asfáltica C<sub>ss</sub>-1h para mejorar el diseño de una vía mediante un ESAL de diseño, siendo adicionada la emulsión al 1.5%, 3%, 4.5% y 6% con respecto al peso del agua adicionada.

La investigación es de tipo experimental puro, debido al uso de diferentes dosificaciones de emulsión asfáltica para verificar el mejoramiento de las propiedades mecánicas del afirmado. Se desarrollaron los ensayos de CBR y compresión no confinada basados en la ASTM D 1883 y ASTM D 2166 respectivamente, además de los ensayos de caracterización como peso específico, abrasión, peso unitario suelto y compactado, granulometría, Proctor Modificado, contenido de humedad y absorción del material afirmado de la cantera El Pallar para determinar la calidad del material.

Al finalizar la investigación se demostró que el material afirmado obtuvo un CBR de 32.4% y una compresión no confinada de 31.88 KPa lo cual es un suelo bueno para sub-base y mediano o firme. Por otro lado, se concluye que la dosificación óptima de emulsión es del 4.5% obteniendo un CBR de 49.1% y una compresión no confinada de 100.34 KPa, convirtiéndolo en un material muy bueno para base y de clasificación firme.

La investigación concluye que el uso de emulsión asfáltica mejora las propiedades mecánicas en una muestra de afirmado, tanto en su capacidad de soporte como en su consistencia, por lo que trae consigo beneficios en cuanto al diseño de una vía.

## ABSTRACT

The present thesis showed that the use of a stabilized material with asphalt emulsion allowed to improve the design of a road and at the same time improve the properties of unconfined compression and CBR of a soil.

For the development of the thesis was used material from the Pallar quarry and asphalt emulsion C<sub>ss</sub>-1h to improve the design of a road through a design ESAL, adding the emulsion to 1.5%, 3%, 4.5% and 6% with respect to the weight of the water added.

The research is pure experimental type, due to the use of different dosages of asphalt emulsion to verify the improvement of the mechanical properties of the asphalt. CBR and unconfined compression tests were developed based on ASTM D 1883 and ASTM D 2166 respectively, in addition to the characterization tests such as specific gravity, abrasion, loose and compacted unit weight, granulometry, Modified Proctor, moisture content and absorption of the material affirmed from El Pallar quarry to determine the quality of the material.

At the end of the investigation, it was demonstrated that the claimed material obtained a CBR of 32.4% and an unconfined compression of 31.88 KPa which is a good soil for sub-base and medium or firm. On the other hand, it was concluded that the optimal dosage of emulsion is 4.5% obtaining a CBR of 49.1% and a non-confined compression of 100.34 KPa, making it a very good material for base and firm classification.

The research concludes that the use of asphalt emulsion improves the mechanical properties in a sample of the firm, both in its support capacity and in its consistency, so it brings benefits in terms of the design of a road.

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Realidad problemática

Una vía afirmada es aquella constituida por una capa de material granular natural o procesada debidamente compactada, la cual debe poseer una cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita aglutinar las partículas, además de poseer una gradación específica capaz de soportar directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. En tal sentido, la norma Federal Highway Administration FHWA NHI-05-037 (2006) indica que más del 50% de las carreteras en los Estados Unidos no se encuentran pavimentadas, considerando que estos caminos se construyen simplemente con la subgraduación compactada o modificada, dado que en la mayoría de los casos se utiliza una capa de grava (base) como superficie de desgaste debido a la escasa población y bajos volúmenes de tráfico.

Por otro lado en el Perú, los caminos no pavimentados, conforman el mayor porcentaje del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), Choque Héctor (2012) en su tesis Evaluación de aditivos químicos en la eficiencia de la conservación de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas expresa que “Las carreteras no pavimentadas se deterioran más rápido con respecto a una vía afirmada. Las partículas finas al aglutinarse con los agregados gruesos expuestos al medio ambiente pierden humedad; y con la acción física externa del tránsito vehicular genera disgregamiento superficial, convirtiéndose así en polvo particulado y posteriormente surgen una variabilidad de patologías como baches, ondulaciones, ahuellamientos, etc.” (p.7)

En tal sentido según el Manual de Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras (2015), menciona que en nuestro país debe tomarse en cuenta las carreteras no pavimentadas afirmadas, el control de material particulado, debido a que estas carreteras emiten polvo por el desprendimiento de los agregados finos por el tráfico circulante. La cantidad de polvo que se produce en un camino afirmado es muy variable, depende de la zona del país (lluvioso o árido), del tráfico que soporta y la calidad del afirmado.

Tal es el caso del suelo arcilloso, que debido a su baja capacidad de soporte y mala calidad no siempre cumplen con los requerimientos necesarios para ser empleados en proyectos de pavimentación. Una alternativa de solución es mejorar las características mecánicas del material, estabilizándolo con productos adicionados por ende las carreteras que se construyen sobre suelo de baja capacidad de soporte presentan un elevado costo porque su diseño demanda mayores espesores trayendo consigo una disminución de su vida útil por problemas de hundimientos o asentamientos, otra dificultad adicional se encuentra en la selva peruana por el escaso número de canteras de material granular, los cuales justifican realizar

trabajos de estabilización de suelos tal como indica Pérez Roció del Carmen (2012) en su tesis Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos.

La inestabilidad de los suelos es uno de los principales problemas encontrados en las carreteras no pavimentadas en la Región La Libertad debido a que no cumplen las especificaciones necesarias de acuerdo a las normas que establece el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), razón por la cual se puede evidenciar en la vías de las provincias como Sánchez Carrión presentan problemas de ascensión de material particulado el cual en tiempo de invierno las lluvias dejan a la superficie de rodadura inestable trayendo consigo a la disminución de resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros según Gutiérrez Carlos (2010) expresa en su tesis Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio.

En el distrito de Chugay la infraestructura vial urbana y rural en su totalidad son vías afirmadas no pavimentadas de material granular natural inadecuado o pobre que presentan deficiencias en la superficie de rodadura debido a que no se le hace un mejoramiento o tratamiento de las propiedades del suelo que permitan estabilizarla con algún material ligante, es por ello que en los periodos de invierno las precipitaciones de lluvia las vuelven intransitables y como consecuencias se encuentran muchas patologías principalmente en el tramo de la carretera El Pallar - Shalar.

Por consiguiente, la presente investigación estudia la influencia de la emulsión asfáltica en una vía afirmada con la aplicación a ciertos porcentajes de 1.5%, 3.0%, 4.5% y 6.0% según dosificaciones recomendadas por el Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos (2013), con la finalidad de determinar mediante ensayos de laboratorio la dosificación óptima de mejoramiento de las propiedades físicas de la carretera para que cumpla con su tiempo de vida útil. Las consecuencias de no investigar la incorporación de la emulsión asfáltica en una vía afirmada traen consigo de que sigamos padeciendo de vías deficientes que al poco tiempo se deteriore y conlleve a mayores gastos para su mantenimiento perjudicando el tiempo de recorrido a los transportistas y agricultores para trasladar su mercadería que la zona produce.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la estabilización con 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de emulsión asfáltica en las propiedades de un material afirmado para el diseño de la vía El Pallar – Shalar, Distrito de Chugay, Provincia de Sánchez Carrión, Región La Libertad?

### 1.3. Justificación

Teniendo en cuenta que Chugay se encuentra en una zona de alto índice de comercio según la Municipalidad Distrital Sánchez Carrión (2016), motivo por el cual necesitan transportar su mercadería a zonas aledañas de la ciudad, donde al tener carreteras no pavimentadas estas presentan diferentes patologías por el cual son intransitables en épocas de lluvias y estiaje. Las carreteras a nivel de afirmado aparte de ser vías de acceso a otras ciudades, es importante que cumplan una función estructural la cual beneficie a los transportistas. Es por esto que la investigación a realizar es primordial para la seguridad y garantía de las carreteras construidas en la zona.

Para la presente investigación, se eligió la adición de un emulsificante con el fin de darle estabilidad a la vía afirmada, es decir, cómo influye la emulsión asfáltica en las propiedades del suelo en la vía. Además, de que existen pocas investigaciones a nivel nacional que verifiquen el comportamiento de la emulsión asfáltica aplicado en una carretera no pavimentada. Por ello, se hace la búsqueda de encontrar la solución de enfrentar dicho problema que viene perjudicando principalmente a los transportistas. La norma CE.0.20 Estabilización de Suelos y Taludes, estipula los requisitos, requerimientos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la ejecución, el control de calidad y la inspección de la estabilización de los suelos, estructuradas principalmente por base, sub base y sub rasante. Esta investigación se centrará solamente en carreteras no pavimentadas, su clasificación, los ensayos a someter y finalmente los requisitos para estabilizar un suelo. La norma peruana de edificaciones NPT. CE. 0.20, indica que, al aplicar un aditivo estabilizador, el material ligante debe ser capaz de mezclarse íntima y homogéneamente con el suelo y curarse de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. El producto obtenido ya terminando de suelo con aditivo, deberá mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, tanto en la etapa de construcción como de servicio.

El comportamiento del afirmado con la emulsión asfáltica deberá estabilizar la vía. Para obtener un buen fruto se debe llevar a cabo un correcto proceso constructivo, partida por partida, desde movimiento de tierras hasta la inclusión del emulsificante. El resultado debe ser óptimo dándole una buena impermeabilización y así evitar patologías en la vía a corto plazo. Al estar situada el distrito de Chugay en una zona cercana a una cantera, esta circunstancia hace que abastezcan de materiales como una alternativa para el uso, tenemos su progreso mediante la estabilización con emulsión asfáltica, que signifique reducir el costo de las capas de pavimento, puesto que exigen alta calidad de los materiales cuando se trata de la capa de rodadura. La capa de base puede ser perfeccionada hasta que alcance el comportamiento técnico de una base de excelente calidad.

Al mejorar la carretera a nivel de afirmado con la incorporación de emulsión asfáltica trae como resultado algunas ventajas como mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, al utilizar este tipo de material genera ahorro en costos. Mencionado lo anterior, consideremos ahora que existe construcciones de vías afirmadas que la no incorporan emulsión asfáltica para estabilizarla pues es donde a corto plazo de su ejecución se producen las fallas en la vía, la cual si hablamos en lo económico pues es considerable el alza suma de dinero que se gasta al mejorar una carretera. Los principales beneficiados de esta investigación son las personas que habitan en dicho lugar mayormente los agricultores y quieren trasladar sus productos de una ciudad a otra del mismo modo los transportistas que el tiempo transcurrido de un lugar a otro sea corto.

Cabe señalar que en una carretera no pavimentada con la inclusión de emulsión asfáltica es necesario para verificar la estabilización que le da y así mejorar sus propiedades con los requerimientos establecidos por la Norma CE. 0.20 Estabilización de suelos y Taludes, del Reglamento Nacional de Edificaciones.

#### **1.4. Limitaciones**

En la presente investigación es indispensable identificar las mejoras de un material afirmado estabilizado con emulsión asfáltica. Sin embargo, como investigadores, se determinó que la principal limitación es el elevado costo de realizar diversos ensayos de suelos para el diseño de la vía afirmada.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

- ♦ Determinar la influencia de la estabilización con 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de emulsión asfáltica en las propiedades de un material afirmado para el diseño de la vía El Pallar – Shalar, La Libertad.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- ♦ Realizar las calicatas correspondientes para determinar las propiedades del suelo en estado natural del tramo El Pallar-Shalar.

- ♦ Realizar los ensayos de caracterización de los agregados para demostrar la calidad del afirmado.
- ♦ Verificar si es conveniente utilizar un material afirmado para mejorar las propiedades del suelo.
- ♦ Determinar qué dosificación de emulsión asfáltica permite obtener mejores resultados.
- ♦ Comparar la muestra de afirmado patrón con la muestra adicionada con emulsión asfáltica en diferentes porcentajes y observar las mejoras que ofrece la emulsión asfáltica.
- ♦ Realizar los ensayos de CBR y compresión confinada para determinar las propiedades mecánicas del suelo y sus respectivas mejoras.



## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Rosero Alvarado, Francisco David (2015) con la tesis titulada. “BASES ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA PAVIMENTOS (APLICACIÓN CALLE NOGALES PARROQUIA NAYON L= 1.0 KM)”. Universidad Central del Ecuador (UCE), tuvo como objetivo mejorar las propiedades mecánicas de materiales granulares estabilizándolo con emulsión asfáltica destinados a bases para pavimentos.

Al finalizar la investigación, concluye que se cumplió con el objetivo donde aplicó la emulsión catiónica CSS – 1 H con la cual tuvo un porcentaje óptimo de 6.2% de emulsión y 7.8% agua. Así quedó demostrado los beneficios de la estabilización de los materiales granulares con emulsión asfáltica ya que son convenientes por costos donde se tomó como estabilidad aceptable de diseño 1800 libra/min; de igual manera garantiza la influencia de la humedad. Con esta investigación, Rosero A. da a conocer las ventajas del uso de emulsión asfáltica tanto a nivel de estabilización de suelos como a nivel económico.

Rolando Franco, Freddy Erick. (2015) con la tesis titulada. “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DILUIDO RC-250 Y EMULSIÓN”. Universidad de Piura (UDEP), logra realizar un estudio comparativo entre las mezclas asfálticas con diluido y las mezclas asfálticas con emulsión y verificar cual es la más conveniente y eficaz en su utilización.

Al concluir la investigación se demuestra que la emulsión asfáltica es superior a RC 250, entre sus propiedades físicas y mecánicas en ellas se observa lo siguiente: En general, el porcentaje de vacíos tiende a disminuir con el aumento en el contenido de asfalto tanto para el RC-250, como para la emulsión CSS-1. Esta tendencia es más clara en el diluido.

De igual forma nos indica que para el rango evaluado de contenido de cemento asfáltico (4-6%), se mencionó que la tendencia típica de esta curva es la de tener forma de parábola invertida. Si éste fuese el caso, ya que no se podría afirmar aquí con exactitud por falta de puntos fuera de los límites de la gráfica, se diría que la emulsión CSS-1 alcanza el máximo peso específico a un contenido de cemento asfáltico menor que para el RC-250.

También la curva de estabilidad tiene la forma de parábola invertida, alcanzando un máximo para un determinado contenido de asfalto. Por lo tanto, las mezclas asfálticas con emulsión tendrán una mayor resistencia que las mezclas asfálticas con diluido.

Finalmente, para el RC-250 la variación del flujo no es muy notoria, la curva es casi horizontal. Sin embargo, para la emulsión CSS-1 se nota claramente el aumento del flujo

con el incremento en el contenido de asfalto. El aporte de Rolando F. es que, si comparamos los valores de fluencia obtenidos para el contenido óptimo de asfalto, la emulsión satisface los Criterios del Instituto del Asfalto para el diseño Marshall mientras que para el diluido este valor se encuentra fuera del rango recomendado de acuerdo a norma.

De la Cruz Salcedo, Dennie Roberto. (2014), con la tesis titulada. “DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN AFIRMADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, APLICACIÓN: CARRETERA CAÑETE – CHUPACA”. Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), logra dar a conocer el concepto de estabilización de suelo con emulsión asfáltica y nombrar las alternativas de mejoramiento de las propiedades del suelo.

Al finalizar la investigación, llego a la conclusión que para las proporciones de 3%, 4% y 5% se ha presentado pérdida de estabilidad y aumento del flujo respectivamente, después de ser sumergido en agua, pero tanto la estabilidad como el flujo se encuentran dentro de los límites de la tabla de criterio de diseño Marshall.

El óptimo contenido de emulsión sería aquel que tenga la menor pérdida de estabilidad y un flujo adecuado. Para este caso el óptimo contenido de emulsión sería 4%, dado que la pérdida de estabilidad solo representa un 10.5%: el cual es menor a 17% y 12% correspondiente a un 3% y 5% de emulsión y el flujo ante la inmersión es de 13.58% el cuál es el valor máximo para una briqueta que se le ha aplicado 50 golpes por cara esto según el criterio de diseño Marshall. Con la presenta investigación, De la Cruz S. demuestra que el uso de emulsión asfáltica tiene influencia en cuanto a las propiedades del suelo, en este caso sobre la estabilidad del suelo.

Rojas Vallejos, Irma Elena. (2014), con la tesis titulada. “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON EMULSIÓN Y LA APLICACIÓN EN CAMPO EN LOS PROCESOS DE BACHEO DE LAS CALLES DE PUEBLO LIBRE, LIMA”. Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), consigue dar a conocer el comportamiento que tiene la emulsión asfáltica hacia una vía afirmada.

Finalmente, llego a la conclusión que para dosificaciones de 4%, 8% y 12% es que presenta mejor estabilidad en el suelo es de 4% ya que debido a eso mejora sus propiedades físicas y mecánicas la cual son favorables y en la determinación de flujo ante la inmersión presenta un 12.42% la cual a comparación de 8% y 12% el de 4% es el más óptimo. Con el aporte de Rojas Vallejos, queda comprobado que el uso de emulsión asfáltica en las cantidades óptimas permite obtener una mejora en las propiedades del suelo.

Sarmiento Otárola, Marco Antonio (2014), con la tesis titulada. “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA FABRICADA CON EMULSIÓN” Universidad Nacional de Colombia, señala que logra determinar el comportamiento de emulsión asfáltica en vías no pavimentadas.

Al concluir la investigación, se afirma que al 3% de emulsión asfáltica obtiene una resistencia del suelo óptimo de un CBR al 95% en vías no pavimentadas dando así lugar a que la utilización de este aditivo emulsificante también es económica ya que se trabaja en frío. Finalmente, con esta investigación queda demostrado que las propiedades mecánicas se ven mejoradas a través de la aplicación de emulsión asfáltica.

Villa Chaman, Víctor Manuel (2013), con la tesis titulada. “RECICLADO IN SITU EN FRÍO DE PAVIMENTOS EMPLEANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, logra evaluar el comportamiento de emulsión asfáltica en vías no pavimentadas.

Al concluir la investigación, llegó a la conclusión que al 4% de emulsión asfáltica obtiene una resistencia del suelo óptimo de un CBR al 95% en vías no pavimentadas dando así lugar a que la utilización de este aditivo emulsificante también es económico ya que se trabaja en frío. De esta manera, se verifica que con la adición de este tipo de aditivo se logran incrementos significativos en la capacidad de soporte del suelo.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Ubicación geográfica**

La vía en estudio correspondiente al proyecto de Tesis: “INFLUENCIA DE LA ESTABILIZACIÓN CON 1.5%, 3%, 4.5% Y 6 % DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES DE UN MATERIAL AFIRMADO PARA EL DISEÑO DE LA VÍA EL PALLAR – SHALAR, LA LIBERTAD 2018”, se encuentra ubicado en el Distrito de Chugay, Provincia de Sánchez Carrión, Región La Libertad (Jarrín, 2012) (Municipalidad Distrital de Chugay, 2018).

Punto de Inicio: Km. 0+000: Inicio de la Carretera El Pallar a Shalar, teniendo como Punto Final: Km. 4+400; con una Altitud de 2 395 m.s.n.m.

➤ **Ubicación Política**

Distrito: Chugay

Provincia: Sánchez Carrión

Departamento: La Libertad

➤ **Tipo de Carretera**

La carretera el Pallar – Shalar, tiene bajo volumen de tránsito.

➤ **Clasificación según su función**

Carretera de red Rural

➤ **Clasificación de acuerdo a sus condiciones geográficas**

Carretera en terreno accidentado con frecuencia de lluvias.



*Figura 1: Ubicación geográfica de la carretera el Pallar-Shalar. Fuente: Google Earth.*

## 2.2.2. Suelos

### 2.2.2.1. Definición:

Según Gutiérrez (2010): Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras civiles, arquitectónicas, viales, etc.

Para poder definir el comportamiento del suelo ante la obra que en él incide se consideran tres grupos de parámetros. (p.8).

Estos grupos se presentan a continuación:

- a) **Los parámetros de identificación:** La granulometría (distribución de los tamaños de grano que constituyen el agregado) y la plasticidad (la variación de consistencia del agregado en función del contenido en agua).
- b) **Los parámetros de estado:** La humedad (contenido en agua del agregado), y la densidad, referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes.
- c) **Los parámetros estrictamente geomecánicos:** La resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o la permeabilidad.

#### 2.2.2.2. Clasificación de los suelos:

MTC (2005): Para clasificar los suelos existen diversos «Sistemas de Clasificación» entre los cuales tenemos: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el American Association of State Highway Officials (AASTHO), el Sistema Británico (BS), entre otros. Los suelos se clasifican teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ La granulometría del suelo
- ✓ Los límites de Atterberg
- ✓ El contenido de materia orgánica.

Los suelos, en función a las dimensiones de las partículas o fragmentos que la componen (granulometría) se clasifican en altamente orgánicos (Turba), finos (Orgánicos, Limos y Arcillas) y gruesos (Arenas y gravas)<sup>1</sup>; basándose en la composición granulométrica, en el límite líquido y en el índice de plasticidad de un suelo; estos se clasifican en siete grupos. La evaluación de cada grupo, se hace por medio de su “Índice de Grupo”, mediante esta clasificación divide los suelos en dos clases: una formada por suelos granulares y otra por suelos de granulometría fina, limo-arcillosos.

Los suelos granulares son aquellos que tienen 35%, o menos, del material fino que pasa el tamiz N° 200 (0.075 mm). Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3. El grupo A-1, comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también aquellas mezclas bien graduadas que no tienen material ligante; el grupo A-2, incluye una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% de material fino; y, el grupo A-3, incluye las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo

que no tengan plasticidad; este grupo además incluye las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

Por otro lado, los suelos finos limo arcillosos contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz N°200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Pertenecen al grupo A-4, los suelos limosos y poco o nada plásticos, que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz N°200, además se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta en un 64%; el grupo A-5 está comprendido por material semejantes a los del anterior, pero que tienen un límite líquido elevado; el grupo A-6 lo conforma principalmente la arcilla plástica, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%; y, el grupo A-7, lo conforman los suelos semejantes a los del A-6, con la diferencia de que son plásticos y sus límites líquidos son elevados.

### 2.2.2.3. Mejoramiento de suelos:

Rico & Del Castillo (1974) afirman que: El mejoramiento de un suelo, es un proceso que tiene por objeto aumentar su resistencia, su durabilidad, su insensibilidad al agua y otros aspectos relacionados con el fin perseguido. (p.94).

Además, el mejoramiento del suelo siempre es requerido por la mala calidad de los materiales que se encuentran en su estado natural para cumplir con distintos parámetros.

Tabla 1: Métodos de mejoramiento del suelo. Fuente: (Rodríguez y Castillo, 1974)

| MÉTODOS  |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| FÍSICOS  | Confinamiento (suelos no cohesivos). |
|          | Preconsolidación (suelos cohesivos). |
|          | Mezclas (suelo con suelo).           |
| QUÍMICOS | Vibroflotación.                      |
|          | Con cemento.                         |
|          | Con asfalto.                         |
|          | Con sal.                             |

|                  |                        |
|------------------|------------------------|
| <b>MECÁNICOS</b> | Con cal.               |
|                  | Con otras substancias. |
|                  | Compactación.          |

De entre estos métodos los más utilizados son los químicos los cual al mezclarse con sustancias químicas se logra mejorar las propiedades del suelo de una manera inmediata y económica.

➤ **Métodos Químicos:**

La estabilización química se refiere al cambio de las propiedades de suelos, logrado mediante la adición de cementantes orgánicos, inorgánicos o sustancias químicas especiales.

Es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio (Gutiérrez, 2010, p.11).

- ✓ **Con cemento:** Se mezcla el suelo con cemento Pórtland, lo que genera dos procesos: a) los silicatos cálcicos del cemento afectan al agua convirtiéndola en alcalina. La abundancia de calcio es usada por el suelo para modificar sus cargas superficiales; b) una vez que los iones de calcio son absorbidos por el suelo, el cemento se adhiere a sus partículas, para originar una cohesión que aumenta la resistencia al corte del material. Para que el proceso sea aceptable es necesario modificar la humedad del material, compactar a la máxima densidad e incorporar suficiente cemento para que se reduzca la pérdida de peso o se produzcan cambios de volumen y humedad. Prácticamente todos los suelos pueden tratarse con este método, pero si los materiales son mal graduados se requerirá mayor cantidad de cemento para lograr el efecto deseado (Gutiérrez, 2010, p.12).
- ✓ **Con asfalto:** Al mezclar las partículas granulares con asfalto, se produce un material más durable y resistente. También se le agregan algunas partículas finas para llenar los vacíos. Es importante el contenido de humedad del material al anexar

el asfalto y también esperar a que se evaporen los gases que este contiene antes de tenderlo y compactarlo (Gutiérrez, 2010, p.12).

- ✓ **Con sales:** Se forman a partir de la neutralización de un ácido con una base. Las sales normales tales como el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) o cloruro de potasio (KCl) son sales completamente neutralizadas, es decir que no contienen exceso de iones ácidos de hidrógeno (H<sup>+</sup>) ni básicos de hidroxilo (OH<sup>-</sup>). Se designan como sales ácidas aquellas que contienen exceso de iones de hidrógeno, como el bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>) y a las que contienen exceso de iones hidroxilo se les designa como sales básicas. En el laboratorio, se han estudiado, un gran número de sales (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, BaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, KCl) pero tanto la economía como su disponibilidad han hecho que solamente se utilicen algunas, siendo las más utilizadas el cloruro de sodio y el cloruro de calcio (Gutiérrez, 2010, p.12).

### 2.2.3. Afirmado:

#### 2.2.3.1. Definición:

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC (2014) define el afirmado como una capa compactada de material granular ya sea natural o procesado con otro material que cumpla con sus propiedades la cual debe soportar las cargas y esfuerzos del tránsito de igual forma debe de tener la suma apropiada de materia fino cohesivo que permita aglutinar las partículas de tal manera que se forme una masa compacta.



*Figura 2: Afirmando de una cantera*



### 2.2.3.2. Clasificación:

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC. (2014) las carreteras no pavimentadas tienen un bajo volumen de tránsito y un número de repeticiones de Ejes Equivalentes hasta 300.000 EE en un periodo de 10 años y clasifica al afirmado en lo siguiente:

➤ **Carreteras de tierra:**

Su construcción es del suelo natural la cual con la grava seleccionada por zarandeo y finos ligante la mejora.

➤ **Carreteras gravosas:**

Compuestas por una capa la cual cubra la superficie con un material natural pétreo sin que haya procesado, escogido por zarandeo o manualmente con un tamaño máximo de 75mm.

➤ **Carreteras afirmadas:**

Compuestas por una capa la cual cubra la superficie con materiales de cantera con una dosificación especificada por medio del zarandeo o manualmente, compuesta de piedra, arena y finos de arcilla con un tamaño máximo de 25 mm. Pudiendo ser estos: afirmados con gravas homogenizada mediante chancado o Afirmados con gravas naturales o zarandeadas.

### 2.2.3.3. Tipos de afirmado:

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC (2014) indica que existen 4 tipos.

➤ **Tipo 1 afirmado suelto:**

Pertenece a una grava seleccionada por zarandeo o por un material natural la cual muestra un índice de plasticidad 9 - 12, donde el tránsito vehicular es menor, a 50 vehículos al día.

➤ **Tipo 2 afirmado neto:**

Pertenece a una grava seleccionada por zarandeo o por un material natural la cual muestra un índice de plasticidad 9 - 12, donde el tránsito vehicular es pequeño y moderado, menores a 51 - 100 vehículos al día.

➤ **Tipo 3 afirmado pesado:**

Pertenece a una grava seleccionada por zarandeo o por un material natural la cual muestra un índice de plasticidad 9 - 12, donde el tránsito vehicular es regular y pesado, menores a 101 - 200 vehículos al día.

➤ **Tipo 4 afirmado procesado:**

Pertenece a una grava seleccionada por chancado o trituración y zarandeada la cual posea arista el material natural, donde muestra un índice de plasticidad 9 - 12, donde el tránsito vehicular es para cargamento y transporte, tiene un tránsito vehicular de 200 a más vehículos por día.

Tabla 2: Granulometría según el tipo de afirmado. Fuente: (MTC, 2014)

| Tipo y Afirmado               |   |  |   |   |
|-------------------------------|---|--|---|---|
| Porcentaje que pasa del tamiz | Tráfico T0 y T1:<br>Tipo 1<br>IMD < 50 Veh. | Tráfico T2:<br>Tipo 2<br>51 - 100 Veh. | Tráfico T3:<br>Tipo 3<br>101 - 200 Veh. | Tráfico T4:<br>Tipo 4<br>201 - 400 Veh. |
| 50 mm (2")                    | 100   | 100                                    | ---                                     | ---                                     |
| 37.5 mm (1 1/2 ")             | ---   | 95 - 100                               | 100                                     | ---                                     |
| 25 mm (1")                    | 50 - 80                                     | 75 - 95                                | 90 -100                                 | 100                                     |
| 19 mm (3/4")                  | ---   | ---                                    | 65 -100                                 | 80 – 100                                |
| 12.5 mm (1/2")                | ---   | ---                                    | ---                                     | ---                                     |
| 9.5 mm (3/8")                 | ---   | 40 -75                                 | 45 - 80                                 | 65 – 100                                |
| 4.75 mm (N°4)                 | 20 - 50                                     | 30 - 60                                | 30 - 65                                 | 50 – 85                                 |
| 2.36 mm (N°8)                 | ---   | ---                                    | ---                                     | ---                                     |
| 2 mm (N°10)                   | ---   | 20 - 45                                | 22 - 52                                 | 33 – 67                                 |

|                              |              |              |              |              |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 425 um (N°40)                | ---          | 15 - 30      | 15 - 35      | 20 – 45      |
| 75 um (N°200)                | 5 – 12       | 5 – 15       | 5 – 20       | 5 – 20       |
| <b>Índice de Plasticidad</b> | <b>4 – 9</b> | <b>4 – 9</b> | <b>4 – 9</b> | <b>4 – 9</b> |

#### 2.2.3.4. Diseño

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC (2014) nos indica el proceso que se presenta para diseñar estructuras de pavimentos, donde la capa de rodadura estará compuesta por un material que es el afirmado la cual será destinada a soportar cargas del tránsito y que adicionalmente ser tratada e atendida para el control de polvo.

De manera técnica y rápida se permitirá diseñar el espesor de la capa de afirmado mediante esta metodología, teniendo en cuenta el tránsito estimado para un periodo de diseño y la resistencia de la subrasante.

El tipo de suelo en la subrasante, el número total de vehículos pesados durante el periodo de diseño mencionados en ejes equivalentes (EE) y los materiales granulares donde en las especificaciones técnicas indica cuyas propiedades mecánicas y su comportamiento son muy importante para el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular.

Vigentemente para la construcción de carreteras no pavimentadas; también forma parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la sub rasante o el tratamiento de las capas la cual cubra la superficie granular.

#### 2.2.3.5. Secciones de capas de afirmado

Para determinar el espesor de la capa de afirmado se puede optar por cualquier método de diseño, pero tiene que satisfacer a los requerimientos que presenta el proyecto, el cual la entidad contratante o administradora aprobara dicha determinación y será reportado al órgano normativo del MTC.

Para ello el MTC nos indica una ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTRROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, indicada en el número de repeticiones de ejes equivalentes (EE). La fórmula es la siguiente:

*Ecuación 1: Espesor del afirmado según método NAASRA. (MTC, 2014)*

$$e = [219 - 211x(\log_{10} CBR) + 58x((\log_{10} CBR)^2)]x\log_{10} \left( \frac{N_{rep.}}{120} \right)$$

Donde:

**e** = Espesor de la capa de afirmado en mm.

**CBR** = Valor del CBR en la sub rasante

**Nrep** = Numero de repeticiones de repeticiones de EE para el carril de diseño

Según el MTC (2014) nos presenta un cuadro con los espesores de afirmado propuesto mediante sub rasantes > 6% hasta un CBR > 30% hasta 300,000 ejes equivalentes. Es importante precisar en sectores donde su CBR es menor a 6% es porque la sub rasante es pobre e inadecuada la cual se deberá estabilizar o remplazo de suelos de la sub rasante.

*Tabla 3: Espesor de afirmado. (MTC, 2014)*

| CBR %<br>Diseño | Ejes Equivalentes                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                 | 10                                   | 20  | 25  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 75  | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 200 | 300 |
|                 | Espesor de material de afirmado (mm) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 6               | 200                                  | 200 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 350 |
| 7               | 200                                  | 200 | 200 | 200 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| 8               | 150                                  | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 300 |
| 9               | 150                                  | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| 10              | 150                                  | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| 11              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 250 | 250 |
| 12              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 13              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 14              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 15              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 16              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 17              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 200 | 200 |
| 18              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 200 |
| 19              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 20              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 21              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 22              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 23              | 150                                  | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |

|      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 24   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 25   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 26   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 27   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 28   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 29   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 30   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| < 30 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |

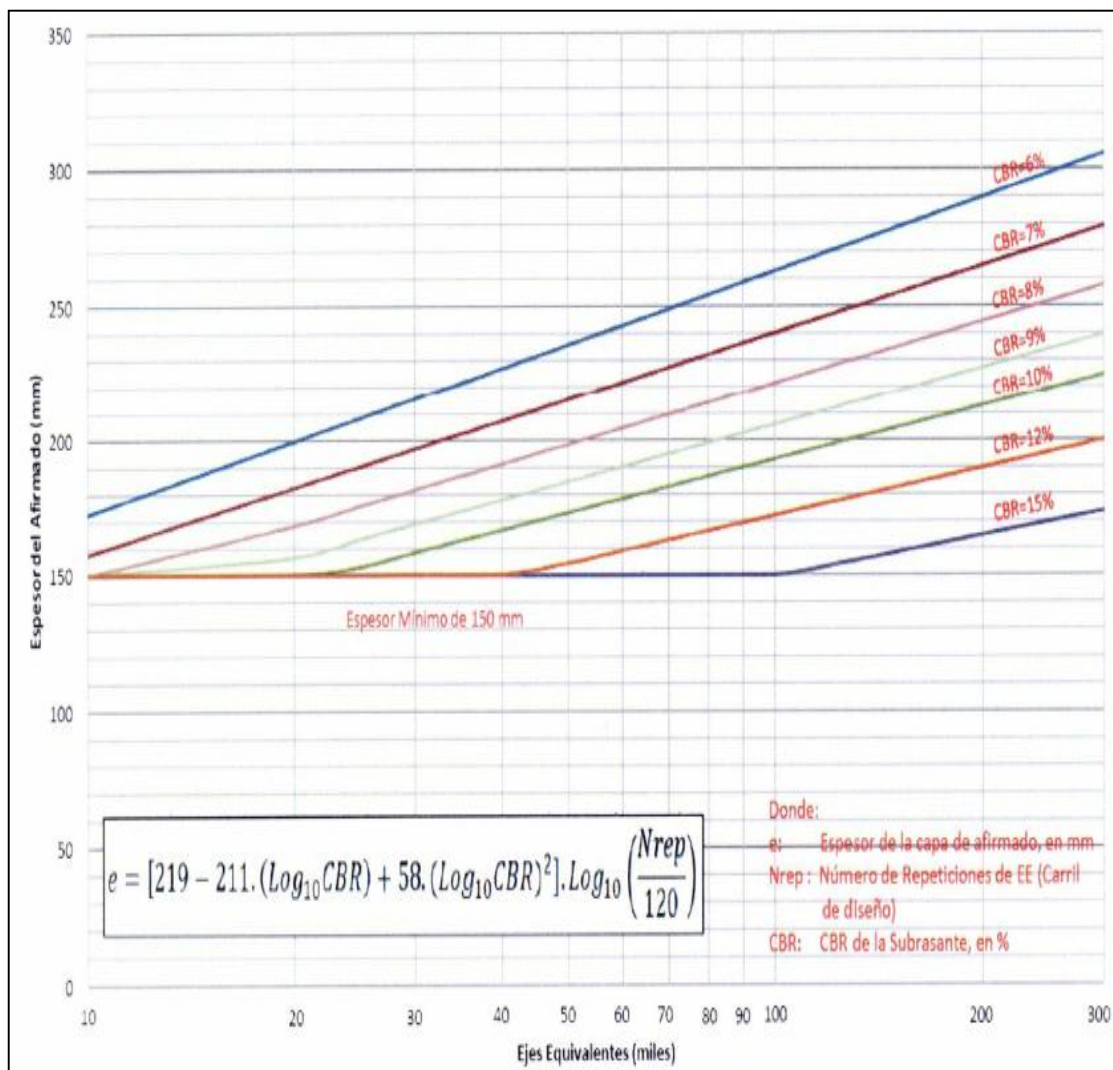


Figura 3: Espesor de capa de revenimiento granular. (MTC, 2014)

| EE<br>CBR %    |                 | Tnp1        | Tnp2          | Tnp3           | Tnp4            |          |
|----------------|-----------------|-------------|---------------|----------------|-----------------|----------|
|                |                 | < 25,000    | 25,001-75,000 | 75,001-150,000 | 150,001-300,000 |          |
| 6% < CBR < 10% | CBR < 6%        | 25cm<br>    | 30cm<br>      | 30cm<br>       | 35cm<br>        |          |
|                | CBR 6%-8%       | 25cm<br>    | 30cm<br>      | 30cm<br>       | 35cm<br>        |          |
|                | CBR 8%-10%      | 20cm<br>    | 25cm<br>      | 25cm<br>       | 30cm<br>        |          |
|                | 10% < CBR < 20% | CBR 10%-12% | 20cm<br>      | 20cm<br>       | 25cm<br>        | 25cm<br> |
|                |                 | CBR 12%-20% | 15cm<br>      | 20cm<br>       | 20cm<br>        | 20cm<br> |
|                | 20% < CBR < 30% | 15cm<br>    | 15cm<br>      | 15cm<br>       | 15cm<br>        |          |
| CBR ≥ 30%      | 15cm<br>        | 15cm<br>    | 15cm<br>      | 15cm<br>       |                 |          |



**Afirmado**

Figura 4: Catálogo de capas de afirmado con periodo de 10 años (MTC, 2014)

### 2.2.3.6. Materiales de Afirmado

Según en MTC (2014), no indica el material a utilizarse tiene que ver en donde se va aplicar si como capa superficial o capa interior, porque de ello dependerá el tamaño máximo del agregado y el porcentaje de finos o arcilla la cual es indispensable para la caracterización de la carretera afirmada. También el material a usarse varía según la región donde se aplicará y de donde se extraerá el material sea cantera de cerro o de río.

El afirmado consta con tres tipos de material piedra, arena y finos o arcilla la cual deben de tener una combinación óptima para que el afirmado sea productivo. Debe de contener piedra para que soporte las cargas, arena clasificada a la capa para llenar los vacíos entre las piedras y le dé estabilidad a la capa y finalmente un porcentaje de finos plasticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

### 2.2.4. Emulsión asfáltica:

#### 2.2.4.1. Definición

El Instituto Mexicano del Transporte IMT (2001) define que la palabra emulsión tiene su origen en el verbo latino emulgere, que significa ordeñar, por ende, se considera como el modelo de emulsión natural a la leche de los mamíferos. Para el caso de ingeniería podemos definir de una manera técnica y apropiada las emulsiones asfálticas como un esparcimiento fino más o menos estabilizado de un líquido en otro (o sea dispersión de asfalto en agua), tiene partículas de 1 a 20 micras u otro tamaño dependiendo de las necesidades, los cuales están unidos por emulsificantes, emulgentes o emulsionantes y no son miscibles entre sí. Esto puede apreciarse en la figura 5, en donde se muestra esquemáticamente la trabajabilidad de una emulsión asfáltica.

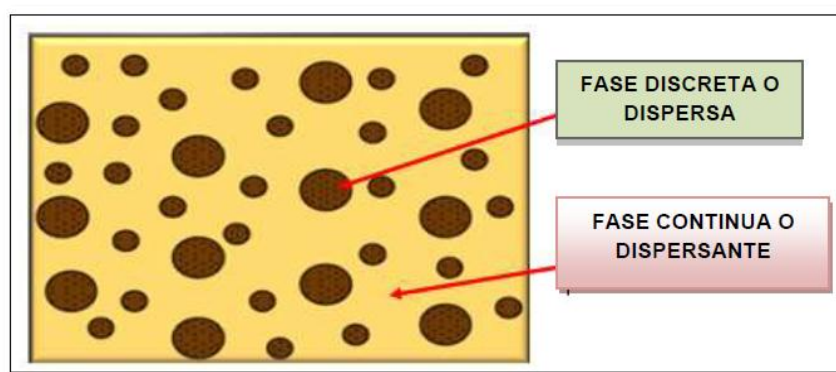


Figura 5: Diagrama esquemático de una emulsión. (IMT, 2001)

#### **2.2.4.2. Componentes de una emulsión asfáltica**

El Instituto Mexicano de Transportes ITM, indica tres los componentes básicos de una emulsión asfáltica la cual es el asfalto, agua y un agente emulsivo. Además, los componentes de estos aditivos son estabilizadores, mejora la adherencia, mejoramiento de recubrimiento, o agentes de control de rotura. Se sabe que el agua y el asfalto no se mezclan, al menos que se elaboren en condiciones cuidadosamente inspeccionadas, utilizando equipos u aparatos de alta especialización y aditivos químicos. Por ejemplo, como el caso lavarse las manos llenas de grasa con un jabón. Algunos de los iguales principios físicos y químicos se aplican a la producción, formulación y uso de emulsiones asfálticas. El objetivo es lograr una dispersión estable y firme del cemento asfáltico en el agua, suficientemente estable para ser bombeada, almacenada durante tiempo prolongado y mezclada. Más aún, la emulsión al entrar en contacto con el agregado en un mezclador o tras ser distribuida sobre la superficie deberá romper rápidamente.

La rotura es el apartamiento, del agua del asfalto, al curar el residuo asfáltico conserva toda la capacidad adhesiva, la durabilidad, y la resistencia al agua propias del cemento asfáltico con el cual fue elaborado.

#### **2.2.5. Asfalto**

Alfonso Montejó Fonseca (2001), indica que también es llamado como cemento asfáltico define este que es el elemento básico de la emulsión y, en la mayoría de los casos, constituye entre un 50 y un 75% de la emulsión. La química del asfalto es una materia compleja, y no es necesario para el caso, examinar todas sus propiedades. Algunas de las propiedades si afectan significativamente la emulsión final, sin embargo, no hay una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que él puede ser emulsionado. Si bien la dureza de la base del cemento asfáltico puede variar, la mayoría de las emulsiones es hecha con asfalto con un rango de penetraciones 6 - 25 mm

#### **2.2.6. Emulsificantes**

Alfonso Montejó Fonseca (2001), indica que son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300 g/mol); tienen una parte hidrofílica (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico), soluble en el medio acuoso y una parte hidrofóbica (generalmente es una cadena



hidrocarbonada ya sea lineal o cíclica) que es soluble en el medio orgánico (en nuestro caso en el asfalto).

Los emulsificantes nos como indica están compuestos totalmente por un radical al kilo R el cual es hidrofóbico y un mecanismo hidrofílico, que se encuentran fusionados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante. En la figura 6, se muestra una representación gráfica de la emulsión catiónica y la aniónica:

#### 2.2.6.1. Emulsiones aniónicas

Alfonso Montejo Fonseca (2001) define que en este tipo de emulsiones el agente emulsificante confiere una polaridad negativa a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga negativa (ver figura 6).

#### 2.2.6.2. Emulsiones catiónicas

Alfonso Montejo Fonseca (2001) precisa que en este tipo de emulsiones el agente emulsificante confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva (ver figura 6).

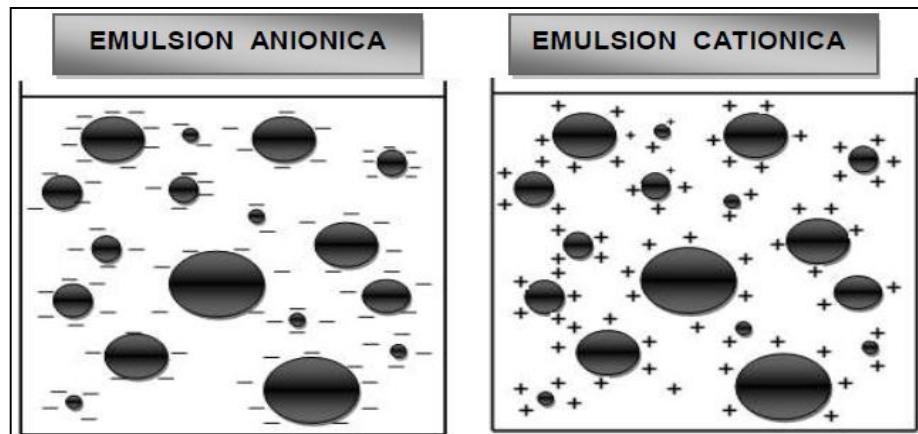


Figura 6: Representación esquemática de las emulsiones. (Montejo Fonseca Alfonso, 2001)

#### 2.2.7. Estabilización de bases con emulsión asfáltica

##### 2.2.7.1. Definición

Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC (2014) Indica que consiste en la construcción de una o más capas de suelos estabilizados con emulsión asfáltica

catiónica, de acuerdo con las estas especificaciones técnicas, así como de las dimensiones, alineamientos y secciones transversales indicados en los documentos del Proyecto.

La emulsión asfáltica catiónica usado para la estabilización de la vía, viene de la composición de tres elementos esenciales: asfalto, agua y un agente emulsificante (tensoactivo); debido a esto la emulsión asfáltica puede ser modificada e manipulada con polímeros o contener otros aditivos, dependiendo del fabricante.

El asfalto es el elemento base de la emulsión y constituye entre un 60 y 75% de su composición. El dominio cementante del asfalto como componente de la emulsión conlleva a que establezca a los agregados en posiciones adecuadas para que las capas inferiores reciban la transmisión de las cargas.

El proyecto debe indicar los sitios de la vía en los cuales se construirá el suelo-emulsión; debe establecerse el pre diseño indicando las proporciones de la(s) mezcla(s) que se vayan a usar en cada sitio; y debe determinar el espesor correspondiente en cada caso.

La respuesta y duración de la estabilización suelo-emulsión estará sujeta a los siguientes factores:

Calidad del drenaje existente.

Dureza, gradación del suelo y tipo y calidad de emulsión.

Calidad de la ejecución de manera que se respeten las dosificaciones materiales, tipo y composición de la mezcla y utilización de equipos de acuerdo a las condiciones del Proyecto Afinidad del suelo con la emulsión.

#### **2.2.7.2. Materiales**

##### **➤ Suelos**

Conforme al MTC (2014), los suelos que se usen para la construcción del suelo-emulsión, pueden ser del propio camino o provenir, en todo o en parte, de préstamos seleccionados.

Los sitios de préstamo estarán considerados en el Proyecto.

El Proyecto señalará y establecerá los planos para la construcción del suelo emulsión que se deben usar y los que se encuentran en la superficie de la vía.

Además, debe presentar las siguientes características:

Los suelos deben tener máximo 10% de material pasante por el tamiz N.º 200, estar limpios y no deben tener más de 1% de su peso de materia orgánica.

El índice de plasticidad del suelo debe ser menor o igual a 9%. El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-emulsión. El espesor total de la capa de suelo estabilizado con emulsión, será como mínimo de 15 cm.

La proporción de sulfatos, expresados como SO<sub>4</sub> no podrá exceder de 6000 ppm.

Los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión (Máquina de Los Ángeles) no mayor a 50%.

Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos no deben presentar pérdidas en sulfato de sodio superiores al 12% y en materiales finos superiores al 10%; si se emplea sulfato de magnesio los agregados gruesos no deben presentar pérdidas superiores al 18% y en los materiales finos superiores al 15%.

La gradación será definida en las especificaciones técnicas del Proyecto.

#### ➤ Emulsión

Según lo establecido en el MTC (2014) la emulsión asfáltica catiónica, será del tipo de rotura lenta (CSS-1h), el cual deberá cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 4.

Tabla 4: Requerimientos de emulsión asfáltica catiónica. (MTC, 2014)

| Características                           | Ensayo      | CSS-1h   |      |
|---|-------------|----------|------|
|   |             | Min.     | Máx. |
| Viscosidad. Saybolt Furol a 77°F (25°C).s | MTC E 403   | 20       | 100  |
| Estabilidad de Almacenamiento, 24-h, %*   | MTC E 404   | ----     | 1    |
| Carga de partícula                        | MTC E 407   | Positivo |      |
| Prueba de tamiz. %                        | MTC E 405   | ----     | 0.1  |
| Mezcla de cemento, %                      | ASTM D-6935 | ----     | 2    |
| Destilación (Residuo, %)                  | MTC E 401   | 57       | ---- |
| Pruebas sobre el residuo de destilación:  |             |          |      |
| -Penetración, 77°F (25°C), 100 g, 5s      | MTC E 304   | 40       | 90   |
| -Ductilidad, 77°F (25°C), 5 cm/min, cm    | MTC E 306   | 40       | ---- |
| -Solubilidad en tricloetileno, %          | MTC E 302   | 97.5     | ---- |

Deberá estar respaldado por certificados de calidad del fabricante en el que se indique el cumplimiento de los requisitos de calidad que se establecen en las especificaciones.

El transporte de la emulsión asfáltica desde la planta de fabricación hasta el sitio de mezcla o de colocación, se realizará a granel (cilindros) en carro tanque que no requieran aislamiento térmico ni calefacción.

El almacenamiento de la emulsión asfáltica, se realizará en tanques cilíndricos verticales, con tuberías de fondo para carga y descarga, las cuales deberán encontrarse en posiciones diametralmente opuestas.

Los tanques tendrán bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión y contarán con los aparatos de medida y seguridad necesarios, para garantizar su correcto funcionamiento. La temperatura de almacenamiento debe encontrarse entre 10 y 60°C.

#### ➤ **Agua**

MTC (2014) indica que el agua deberá ser limpia y estará libre de materia álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma NTP 339.073, deberá estar comprendido entre 5,5 y 8,0 y el contenido de sulfatos, expresado como SO<sub>4</sub> y determinado según norma NTP 339.074, no podrá ser superior a 3.000 ppm, determinado según la norma NTP 339.072. En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación antes indicados.

#### ➤ **Mezcla**

MTC (2014) indica que, con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el contratista entregará al Supervisor, para su verificación, muestras representativas de los materiales y la emulsión que se propone utilizar, avaladas por los resultados de los ensayos o certificados que demuestren la conveniencia de utilizarlos en la mezcla e igualmente presentará el diseño de la misma.

Normalmente la emulsión varía entre 4% y 6%, en peso del suelo seco a estabilizar.

No obstante, la cantidad adecuada de la emulsión depende de los resultados que se obtengan del tramo de prueba.

La mezcla se debe diseñar mediante el procedimiento Illinois del Instituto del

Asfalto basado en la norma MTC E 504. Este procedimiento se debe realizar cada vez que se cambie de material. La formulación señalará:

- ✓ Granulometría del suelo.
- ✓ Porcentaje (%) de agua, respecto al peso del suelo seco.
- ✓ Tipo y contenido óptimo de emulsión (%).
- ✓ Contenido óptimo de residuo asfáltico (%).
- ✓ Recubrimiento de la mezcla (%).
- ✓ Humedad óptima para compactación (%).
- ✓ Estabilidad Marshall (kg).

Según la norma MTC E 504 la dosificación de la mezcla se basará en los siguientes criterios:

- ✓ La cantidad de agua, será la necesaria para una buena dispersión de la emulsión, esta será determinada en laboratorio con contenido de emulsión.
- ✓ Para obtener el contenido óptimo de emulsión asfáltica, la mezcla debe tener una estabilidad Marshall mínima de 230 kg con una pérdida de estabilidad después de saturado máximo 50%. El porcentaje de recubrimiento y trabajabilidad de la mezcla deberá encontrarse entre 50 a 100%.
- ✓ Finalmente, la construcción del suelo estabilizado con emulsión no se podrá iniciar hasta que la mezcla cuente con la aprobación del Supervisor.



*Figura 7: Base estabilizada con emulsión asfáltica. (Tecnología de pavimentos, 2010)*

## **2.2.8. Control de calidad y medidas estadísticas**

Se ha comprobado que los ensayos realizados deben contrastarse con medidas estadísticas las cuales ayudan a la investigación a obtener resultados confiables y proporcionen un grado de confiabilidad alto.

### **2.2.8.1. Media aritmética o promedio**

Jarrín, I. (2012) lo define como aquel valor obtenido tras sumar todos los datos a evaluar y dividirlos entre la misma muestra.

### **2.2.8.2. Varianza**

Es aquella medida de dispersión fundamental la cual mide la diferencia promedio que hay entre cada uno de sus valores y la media aritmética (Jarrín, 2012).

### **2.2.8.3. Desviación estándar**

Es la medida de dispersión que indica como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre todos los datos y la media, es decir indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos obtenidos (Jarrín, 2012).

### **2.2.8.4. Coeficiente de variación**

Según Jarrín, I. (2012), es la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable. Es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media.

Esta medida estadística no se basa en unidades, se utiliza en lugar de la desviación estándar, la cual brinda rangos según la confiabilidad de los datos. Para poder comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias, esta se representa en porcentaje. Además, se sabe que a mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los datos de la variable; y a menor coeficiente de variación, mayor homogeneidad en los datos de la variable logrando ser más confiable.

### 2.2.9. Número de pasadas con el compactador para una vía afirmada.

Carlos Crespo Villalaz, en su libro vías de comunicación, nos indica que para un suelo de espesor de 15 cm, el número de veces que debe pasar el compactador esta entre 6 y 8 veces para un óptimo contenido de humedad de 6%.

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis general

La estabilización con 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de emulsión asfáltica influye positivamente en las propiedades físicas y mecánicas de un material afirmado para el diseño de la vía El Pallar – Shalar, La Libertad, aportando mayor estabilidad e incrementando su tiempo de vida útil y su capacidad de soporte.

### 2.3.2. Hipótesis Específica

- La estabilización con emulsión asfáltica en las cantidades óptimas incrementará la capacidad de soporte en más del 40% del afirmado respecto a uno en estado natural.
- A través del ensayo de compresión no confinada, se demostrará que la estabilización con emulsión asfáltica en las cantidades óptimas permite obtener suelos de consistencia dura para uso como base de vías.

Tabla 5. Matriz de Hipótesis

| HIPÓTESIS  | COMPONENTES METODOLÓGICOS   |  |                    | COMPONENTES REFERENCIALES           |           |
|--|---|--|--------------------|-------------------------------------|-----------|
|  | Variables   | Unidad de análisis                           | Conectores lógicos | El espacio                          | El tiempo |
| La estabilización con 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de emulsión asfáltica influye positivamente en las propiedades físicas y mecánicas de un material afirmado para el diseño de la vía El Pallar – Shalar, La Libertad, aportando mayor estabilidad e incrementando su tiempo de vida útil y su capacidad de soporte. | 1. Estabilización con 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de emulsión asfáltica<br>2. Propiedades de un material afirmado para el diseño de la vía El Pallar - Shalar | Propiedades físicas y mecánicas del afirmado | Influye            | Vía El Pallar – Shalar, La Libertad | 2018      |

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Operacionalización de variables

Tabla 6: Matriz de Operacionalización de la variable dependiente. Fuente (Propia)

| Variable  | Definición conceptual   | Definición operacional  | Dimensiones                    | Indicadores   |
|---|---|---|--------------------------------|---|
| Propiedades de un material afirmado para el diseño de la vía El Pallar – Shalar | Consisten en las características del suelo que conforma el afirmado. Las propiedades físicas están ligadas a las partículas minerales o gránulos de diferentes tamaños que lo conforman. Las propiedades mecánicas están relacionadas a la resistencia de los gránulos y su adherencia entre ellos y los agregados. | Las propiedades del afirmado serán determinadas a través de su capacidad de soporte, sus características físicas y su resistencia a la compresión no confinada. | California Bearing Ratio (CBR) | - Carga máxima (Kg)<br>- Porcentaje de soporte del suelo (%)                                    |
|   |   |   | Características Físicas        | - Humedad (%)<br>- Densidad (gr /cm <sup>3</sup> )<br>- Límites de Attemberg<br>- Granulometría |
|   |   |   | Compresión no confinada        | - Área bruta (cm <sup>2</sup> )<br>- Carga de rotura (Kg)<br>- Velocidad de carga (Kg/seg)      |
|   |   |   | Tipo de Suelo                  | - Clasificación SUCS y ASSTHO<br>- Propiedades del suelo  |



### 3.2. Diseño de investigación

Acorde a (Rodríguez & Valdeoriola), el diseño de la presente tesis es experimental pura ya que se puede manipular los porcentajes de adición de emulsión asfáltica, que viene a ser la manipulación intencional de la variable independiente, para observar y medir los cambios en las propiedades físicas y mecánicas del afirmado (variable dependiente), y por la asignación aleatoria de los sujetos. Además, se pretende establecer el efecto de la emulsión asfáltica en el afirmado en sus diferentes dosificaciones.

La investigación consta de un grupo experimental y un grupo de control, que contarán con un pre prueba, un tratamiento y una post prueba. Las muestras de afirmado se asignan aleatoriamente para el grupo experimental y de control, para someterlas a la pre prueba mediante ensayos de laboratorio. Luego, el grupo experimental recibe el tratamiento (a través de los diferentes porcentajes de emulsión asfáltica), para finalmente ser sometidos a una post prueba.

*Tabla 7. Diseño de investigación experimental pura*

| Grupo              | Pre Prueba  | Tratamiento  | Post Prueba   |
|--------------------|---|--|---|
| Grupo experimental | Ensayos de Laboratorio:<br>- Clasificación SUCS/AASHTO<br>- Humedad<br>- Densidad | Adición de 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de emulsión asfáltica | - Ensayo CBR<br><br>- Ensayo de compresión no confinada |
| Grupo de control   | - Límites de Atterberg<br>- Granulometría   | -----  | - Ensayo CBR<br><br>- Ensayo de compresión no confinada |

### 3.3. Unidad de estudio

Son dos (02) probetas:

- Una (01) probeta de afirmado estabilizado con emulsión asfáltica (en sus diferentes porcentajes 1.5%, 3%, 4.5% y 6%)
- Una (01) probeta de afirmado en estado natural.

### 3.4. Población

Todo el suelo que conforma el afirmado de la carretera El Pallar – Shalar, La Libertad.

### 3.5. Muestra

Para el cálculo de la muestra se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, pues los elementos a utilizar dependen del conocimiento y criterio del investigador sobre el tema.

Además, la muestra seleccionada por este método cumple los requisitos mínimos propuestos por la NTP 339.175, el cual establece, que para las muestras elaboradas se conformen 3 probetas por cada nivel de estudio y variable. Utilizando tres especímenes de afirmado sin adición de emulsión asfáltica para índice California Bearing Ratio (CBR) de la muestra patrón, tres especímenes para cada adición de 1.5%, 3.0%, 4.5% y 6.0% de emulsión asfáltica CSS – 1H para índice California Bearing Ratio (CBR). Asimismo, se propone la misma cantidad de réplicas para el ensayo de Compresión no confinada de la muestra patrón y con emulsión asfáltica. Por ello se conformarán 3 probetas por nivel de estudio y por variable; elaborándose 30 probetas para los ensayos de CBR y Compresión no confinada del suelo del afirmado de la carretera El Pallar – Shalar, La Libertad.

Esta cantidad de probetas es necesaria debido a que se evaluará la emulsión asfáltica a porcentajes de adición del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% para encontrar su porcentaje óptimo.

- ✓ **Compresión No confinada:** Se elaborará 15 probetas del suelo de afirmado de la carretera El Pallar-Shalar, debido a que se requiere encontrar el porcentaje óptimo de la emulsión asfáltica adicionada en el suelo evaluado.

Las probetas tienen dimensiones de 35 mm de diámetro por 70 mm de altura, para efectuar el ensayo a compresión no confinada conforme a la ASTM D2166 (“Método de prueba estándar para resistencia a compresión simple de suelos cohesivos”).

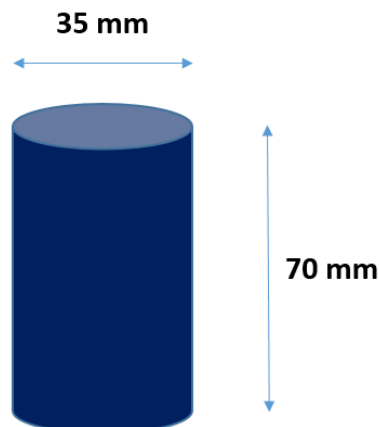


Figura 8: Probeta para ensayo de compresión no confinada  
Fuente (Propia)

Nº de muestras para Compresión inconfiada: VI x VD x N° de réplicas:

(% adición) x Compresión no confinada x N° de réplicas

Compresión no confinada ( $a_2$ ):  $(5) \times 1 \times 3 = 15$

- ✓ **California Bearing Ratio:** Se elaborará 15 probetas del suelo de afirmado de la carretera El Pallar-Shalar, debido a que se requiere encontrar el porcentaje óptimo de la emulsión asfáltica adicionada en el suelo evaluado utilizando un número de réplicas de 3 especímenes. Las probetas tienen dimensiones con especificaciones de 152.4 mm diámetro x 177,8 mm de altura (6" x 7"), además, cuenta con un collarín de 50.8 mm de altura (2") se acopla a ambos lados del molde. ("Método para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte").



*Figura 9: Probeta para ensayo de California Bearing Ratio (CBR).  
Fuente (Propia)*

Nº de muestras para CBR: VI x VD x N° de réplicas:

(% adición) x CBR x N° de réplicas

CBR ( $a_1$ ):  $(5) \times 1 \times 3 = 15$

**Nº de muestra total:** Muestra para CBR + Muestra para Compresión no confinada

$15 + 15 = 30$ .

Los datos obtenidos en los ensayos mencionados serán colocados en tablas resumen:

- ✓ **Variable Dependiente:**

**Factor A:** Propiedades del afirmado

$a_1 = \text{CBR } (\%)$ ,  $a_2 = \text{Compresión inconfiada } (\text{kg/cm}^2)$ ,

✓ **Variable Independiente:**

**Factor B:** % de adición de la emulsión asfáltica

$b_1 = \text{Patrón (0\%)}$ ,  $b_2 = 1.5\%$ ,  $b_3 = 3\%$ ,  $b_4 = 4.5\%$ ,  $b_5 = 6\%$ .

El número total de ensayos realizados para el suelo:

Donde:

VI= Variable Independiente

VD= Variable dependiente

*Tabla 8: Matriz de diseño experimental. Fuente (Propia)*

|          |    | Factor A |       |       |       |       |       |
|----------|----|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          |    | a1       |       |       | a2    |       |       |
|          |    | a11      | a12   | a13   | a21   | a22   | a23   |
| Factor B | b1 | a11b1    | a12b1 | a13b1 | a21b1 | a22b1 | a23b1 |
|          | b2 | a11b2    | a12b2 | a13b2 | a21b2 | a22b2 | a23b2 |
|          | b3 | a11b3    | a12b3 | a13b3 | a21b3 | a22b3 | a23b3 |
|          | b4 | a11b4    | a12b4 | a13b4 | a21b4 | a22b4 | a23b4 |
|          | b5 | a11b5    | a12b5 | a13b5 | a21b5 | a22b5 | a23b5 |

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

#### 3.6.1. Técnica e Instrumento de recolección de datos

Para la recolección de datos de esta investigación se realizó un diseño experimental puro, donde se varía la cantidad de emulsión asfáltica en un suelo del afirmado de la carretera El Pallar-Shalar.

➤ **Observación Directa:**

Se utilizará esta técnica porque se recolectará datos a través de la percepción intencionada, en condiciones que se puedan contrastar y manejar por el autor. Por ello, la observación se aplicará a todos los ensayos a realizar bajo la única responsabilidad del investigador, ya que la tesis requiere la observación de los fenómenos que se presentan en la variable dependiente con el fin de obtener la información necesaria para la investigación.

➤ **Análisis Documental:**

Los datos se recolectarán de fuentes secundarias como: Tesis (tanto nacionales como internacionales), Normas (MTC, ASTM y NTP), Sitios Web, Libros, Documentos, Blogs, Informes, entre otros; los cuales son citados y están mencionados en las referencias bibliográficas. Con el propósito de utilizar la información recolectada para el adecuado análisis de las variables y poder cumplir con el fin de la investigación.

➤ **Ensayos de Laboratorio:**



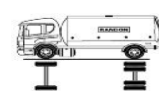






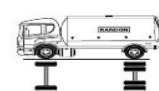
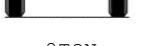
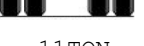
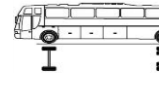





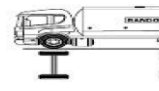







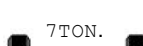


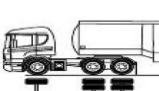





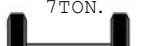


Esta técnica mencionada es la principal con la cual se llevará a cabo la recolección de datos; los ensayos a los testigos de suelo del afirmado de la carretera El Pallar-Shalar que se realizarán en esta investigación son: California Bearing Ratio (CBR) basándonos en la ASTM D1883 y Ensayo de Compresión inconfiada conforme a la ASTM D2166.

Todos estos ensayos son realizados para poder ver la influencia de la emulsión asfáltica en el suelo de la carretera El Pallar-Shalar.

Guías de Observación utilizadas:

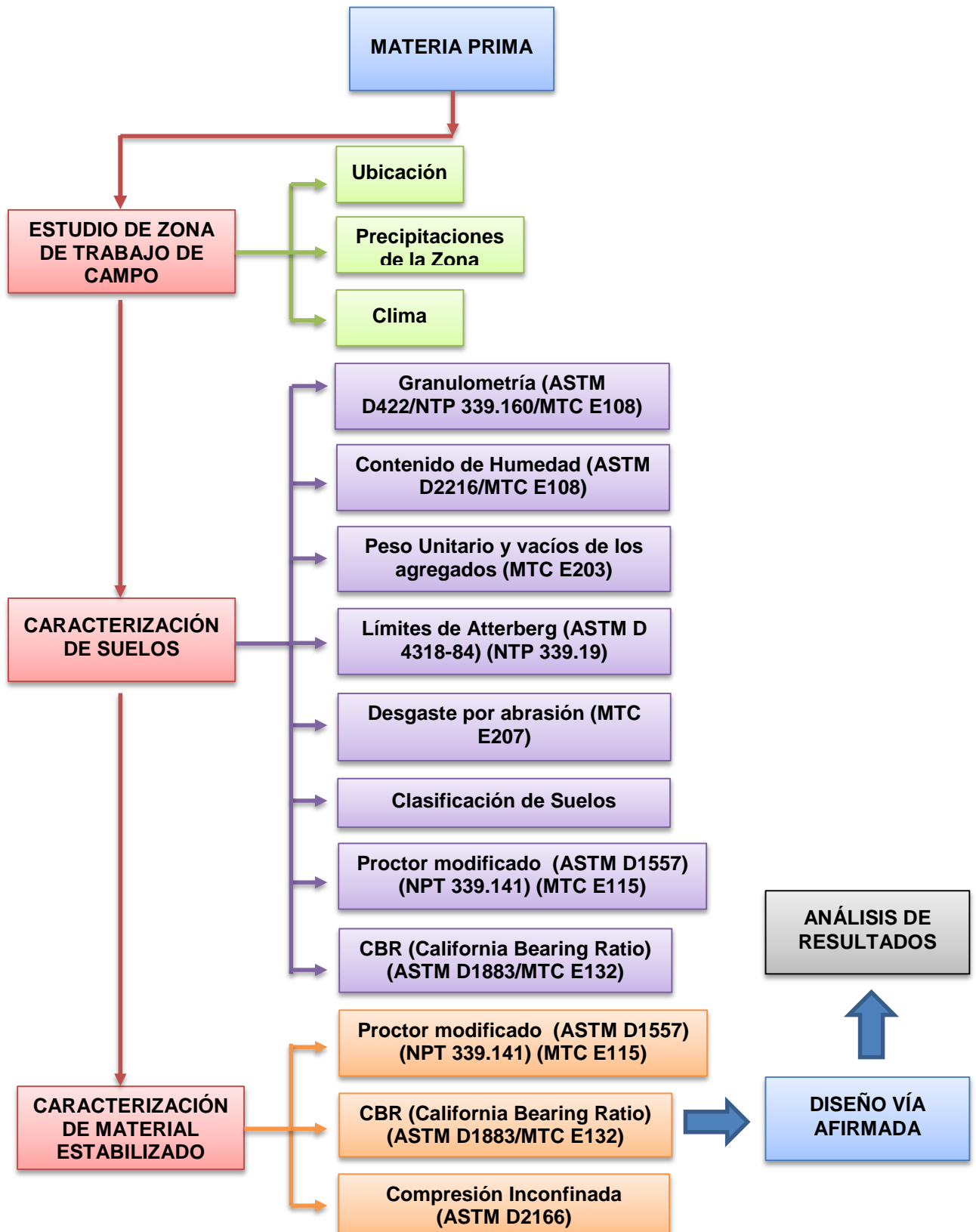
- ❖ Guía de Observación Tráfico de Diseño ESALS (EE) (*Tabla 9*)
- ❖ Guía de Observación Esquema de análisis granulométrico (*Tabla 14*)
- ❖ Guía de Observación Esquema de contenido de humedad (*Tabla 15*)
- ❖ Guía de Observación Esquema de peso unitario (*Tabla 16*)
- ❖ Guía de Observación Esquema de límite líquido (*Tabla 17*)
- ❖ Guía de Observación Esquema de límite plástico. (*Tabla 18*)
- ❖ Guía de Observación Esquema de ensayo de abrasión (*Tabla 22*)
- ❖ Guía de Observación Esquema para Proctor modificado (*Tabla 23*)
- ❖ Guía de Observación Esquema de densidad húmeda y seca del CBR (*Tabla 28*)
- ❖ Guía de Observación Esquema de deformación para compresión inconfiada (*Tabla 32*)

Tabla 9: Guía de Observación Tráfico de Diseño ESALS (EE) para la vía El Pallar – Shalar, Fuente Propia

| ESALS PARA CADA CLASE DE VEHICULO EN AFIRMADO |   |   |  |   |   |       |                                    |                      |    |    |       |                   |
|---|---|---|--|---|---|-------|------------------------------------|----------------------|----|----|-------|-------------------|
| PERIODO (AÑOS)=                               | 10  |   |  |   |   |       |                                    |                      |    |    |       |                   |
| CLASE DE VEHÍCULO DEL AFORO                   | CONFIGURACIÓN DE EJES   |   |  |   | CLASE DE VEHICULO   | IMD   | IMDA                               | ESALS/VEHIC AFIRMADO | FC | r% | F.ca. | ESAL              |
|   | EJE DELANTERO   | EJE TRASERO 1   | EJE TRASERO 2  | EJE TRASERO 3   |   |       |                                    |                      |    |    |       |                   |
| 1.- Automóviles, Jeep y Vagonetas             |    |    |  |   |    | 22.00 | 8,030.00                           | 0.0010540331         |    | 5  | 12.58 | 106.46            |
| 2.- Camionetas ( Hasta 2 Ton.)                |    |    |  |   |   | 97.00 | 35,405.00                          | 0.0089592814         |    | 5  | 12.58 | 3,989.75          |
| 3.- Minibuses                                 |    |    |  |   |   | 55.00 | 20,075.00                          | 0.0089592814         |    | 5  | 12.58 | 2,262.23          |
| 4.- Microbuses ( 12 - 21 Asts.)               |    |    |  |   |    | 27.00 | 9,855.00                           | 0.0571489319         |    | 5  | 12.58 | 7,083.90          |
| 5.- Bus Mediano ( 22 - 35 Asts.)              |    |    |  |   |    | 9.00  | 3,285.00                           | 3.2467192255         |    | 5  | 12.58 | 134,149.17        |
| 6.- Bus Grande ( 36 Asts. o más )             |    |    |  |   |   | 7.00  | 2,555.00                           | 3.2845802026         |    | 5  | 12.58 | 105,554.96        |
| 7.- Camión Medino ( Hasta 6 Ton.)             |    |    |  |   |  | 3.00  | 1,095.00                           | 4.5036537093         |    | 5  | 12.58 | 62,027.89         |
| 8.- Camión Grande ( Dos ejes.)                |   |   |  |   |  | 2.00  | 730.00                             | 3.2101475938         |    | 5  | 12.58 | 29,475.13         |
| 9.- Camión Grande ( Tres ejes)                |  |  |  |   |  | 2.00  | 730.00                             | 4.5499469513         |    | 5  | 12.58 | 41,776.98         |
| 10.- Camión semirremolque                     |  |  |  |   |  | 0.00  | 0.00                               | 5.2293610476         |    | 5  | 12.58 | 0.00              |
| 11.- Camión con remolque                      |  |  |  |  |  | 0.00  | 0.00                               | 8.4676480082         |    | 5  | 12.58 | 0.00              |
| 12.- Otros vehículo (No incluye motocicletas) |  |  |  |   |  | 15.00 | 5,475.00                           | 0.0571489319         |    | 5  | 12.58 | 3,935.50          |
| FACTOR DE RECCIONAL ( Fd)                     | 0.5   |   |  |   |   |       |                                    |                      |    |    |       |                   |
| FACTOR CARRIL ( Fc)                           | 1   |   |  |   |   |       |                                    |                      |    |    |       |                   |
|   |   |   |  |   |   |       | <b>TOTAL DE EJES EQUIVALENTES</b>  |                      |    |    |       | 390,361.97        |
|   |   |   |  |   |   |       | <b>TRAFICO DE DISEÑO (0 AÑOS)</b>  |                      |    |    |       | 195,180.99        |
|   |   |   |  |   |   |       | <b>TRAFICO DE DISEÑO (10 AÑOS)</b> |                      |    |    |       | <b>298,406.16</b> |

### 3.6.2. Procedimiento Experimental

Tabla 10: Proceso Experimental. Fuente (Propia)



## **A. Materia Prima**

### **A.1. Suelo:**

Para la elaboración de esta investigación se partió por utilizar el material del afirmado de la carretera El Pallar-Shalar. Se extrajeron estas muestras en bolsas herméticas para que las muestras sean ensayadas en el estado natural tal y como se encontró.

### **A.2. Agua:**

El agua utilizada para los ensayos de esta investigación fue agua potable, la cual es obtenida en la Universidad Privada del Norte-Trujillo.

### **A.3. Emulsión Asfáltica:**

La emulsión asfáltica utilizada en la presente investigación es la C<sub>ss</sub> 1h, la cual es una emulsión catiónica de quiebre lento y de baja viscosidad obtenida por la dispersión en agua de pequeñas partículas de betún asfáltico duro, en presencia de un agente emulsionante de carácter catiónico.

Esta emulsión fue adquirida por la empresa Industrias K&C S.A.C. ubicada en Calle Caracas N° 133 El Parral, Comas – Lima – Lima. Además, las principales propiedades y características de la emulsión C<sub>ss</sub> 1h se encuentran en el Anexo 2.

## **B. Estudio de la Zona y Trabajo de Campo**

### **B.1. Estudio de la zona**

#### **B.1.1. Generalidades**

La realización del estudio englobó elementalmente en una investigación de campo a lo dilatado del trazo donde se hallan los tramos de la vía a través de prospecciones de exploración a cielo abierto (obtención de muestras representativas) en donde la cual se realizó un estudio comparativo con material de cantera las que fueron espécimen de ensayos en Laboratorio. Finalmente, con los datos obtenidos en ambas fases se realizaron las labores de gabinete, para consignar luego en forma escrita y gráfica los resultados del estudio.



### **B.1.2 Ubicación**

El proyecto “INFLUENCIA DE LA ESTABILIZACIÓN CON 1.5%, 3%, 4.5% Y 6% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES DE UN MATERIAL AFIRMADO PARA EL DISEÑO DE LA VÍA AFIRMADA EL PALLAR – SHALAR, LA LIBERTAD 2018”, se encuentra ubicado en el Distrito de Chugay, Provincia de Sánchez Carrión – La Libertad con una altitud de 2,395.00 msnm.

### **B.1.3. Precipitaciones en la zona**

A lo largo del año en Sánchez Carrión, las lluvias son pocas. De acuerdo con Köppen y Geiger, su clima se clasifica como BSk (Semiárido frío). La temperatura media anual es 17.3 °C en Sánchez Carrión. La precipitación media acumulada anual para el periodo 1964-1980 fue de 1017.70mm., siendo el promedio 84.81 mm, mientras que para el período de 1985 al 2017 fue de 508.47mm, siendo el promedio de 42.37 mm, estos datos según lo registrado en la Estación Meteorológica Huamachuco, ubicada en este Distrito, y registradas por la Gerencia Regona de Agricultura de La Libertad.

### **B.1.4. Clima**

El clima en la provincia de Sánchez Carrión es templado, moderadamente lluvioso y con amplitud térmica moderada, tiende a tener una temperatura anual media que oscila entre 5 a 18 °C. y una campiña que se viste del verdor de la vegetación, entre abril a septiembre, brinda un hermoso paisaje que inspira a recorrer los sugestivos atractivos con que cuenta.

## **B.2. Trabajo de Campo**

### **B.2.1. Calicatas**

La inspección y el análisis del suelo en la carretera El Pallar – Shalar se realizó mediante la excavación de cuatro calicatas de 1.00 m x 1.00 m a cielo abierto, con una profundidad de 1.50 m y la distancia entre ellas de Km 1+000 uno del otro.

Se sacaron dos tipos de muestra de cada calicata con respecto a la profundidad, la primera muestra es de 0.00 a 0.70 m de profundidad y la segunda muestra es de 0.70 a 1.50 m de profundidad. Cada una, se colocó en sacos de polietileno con aproximadamente 30 a 35 kg de material por muestra, haciendo un total de 60 a 70 kg

de material por calicata. Este material fue trasladado al laboratorio de Mecánica de suelos de la Universidad Privada del Norte, en donde se realizaron los estudios y análisis correspondientes.

### B.2.2. Número de Calicatas

Para el proyecto “INFLUENCIA DE LA ESTABILIZACIÓN CON 1.5%, 3%, 4.5% Y 6% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES DE UN MATERIAL AFIRMADO PARA EL DISEÑO DE LA VÍA AFIRMADA EL PALLAR – SHALAR, LA LIBERTAD 2018” se realizaron 4 calicatas, teniendo en cuenta el Manual de Bajo Volumen de Tránsito, que indica que hagamos 1 calicata por cada kilómetro.

Tabla 11: Número de calicatas. Fuente: (Manual de carreteras, 2014)

| Tipo de Carretera  | Profundidad (m)                                    | Número mínimo de Calicatas | Observación  |
|--|--|----------------------------|--|
| Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada. | 1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto | 1 calicata x km            | Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada |

Tabla 12: Número de ensayos por calicatas. Fuente: (Manual de carreteras, 2014)

| Tipo de Carretera  | N° Mr y CBR                   |
|--|-------------------------------|
| Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada. | Cada 3 km se realizará un CBR |

Tabla 13: Calicatas elaboradas en la investigación. Fuente (Propia)

| Calicata | Kilometraje | Profundidad (m) |
|----------|-------------|-----------------|
| C-01     | Km 1+000    | 1.50            |
| C-02     | Km 2+000    | 1.50            |
| C-03     | Km 3+000    | 1.50            |
| C-04     | Km 4+000    | 1.50            |

## C. Caracterización del Suelo

### C.1. Granulometría (ASTM D422/NTP 339.160/MTC E108)

Para este ensayo se siguió el siguiente procedimiento:

- ✓ Primero se obtiene la muestra a ensayar mediante un cuarteo
- ✓ Luego se pesa la muestra seleccionada y se la lleva al horno durante 24 horas o hasta obtener una masa constante.
- ✓ Una vez secada la muestra se procede a obtener la muestra secada al horno.
- ✓ Luego se toma el material requerido de acuerdo al diámetro nominal de la muestra conforme a lo que indica la ASTM D422 y lavarlo a través del tamiz N°200. Asimismo, el material retenido se deja secar en el horno durante 24 horas.
- ✓ Se procede a realizar el tamizado agitando de un lado hacia otro con la muestra obtenida a través de los tamices en el orden que de un diámetro mayor a menor (2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200 y fondo).
- ✓ Después se determina el peso del material retenido en cada tamiz en una balanza de sensibilidad de 0.1%. Además, la suma del peso inicial de la muestra no debe diferir más del 1%.
- ✓ Finalmente se procede a realizar la curva granulométrica de acuerdo a los valores obtenidos en este ensayo.

Tabla 14: Esquema de análisis granulométrico. Fuente (Propia)

| N° Tamiz  | Abertura (mm) | Peso de tamiz (g) | Peso de tamiz + Muestra (g) | Peso retenido (g) | Porcentaje retenido (%) | Porcentaje retenido acum. (%) | Porcentaje que pasa (%) |
|-----------|---------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 3"        | 76.2          |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| 2"        | 50.8          |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| 1 1/2"    | 36.1          |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| 1"        | 25.4          |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| 3/4"      | 19.1          |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| 1/2"      | 12.5          |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| 3/8"      | 9.5           |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| N° 4      | 4.75          |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| N° 10     | 2.00          |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| N° 20     | 0.840         |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| N° 40     | 0.426         |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| N° 60     | 0.250         |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| N° 100    | 0.150         |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| N° 200    | 0.075         |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| Fondo     | 0             |                   |                             |                   |                         |                               |                         |
| Sumatoria |               |                   |                             |                   |                         |                               |                         |

## C.2. Contenido de Humedad (ASTM D2216/MTC E108)

Para este ensayo se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Se determina y registra la masa de un contenedor limpio y seco con su tapa.
- ✓ Se selecciona la muestra a ensayar. Luego se coloca el espécimen en el contenedor y se obtiene el peso del material más su contenedor en estado natural mediante una balanza de 200 g con aproximación cada 0.1 g.
- ✓ Después se coloca el contenedor con el material en estado natural dentro de un horno y se deja secar de manera constante a 110° C +5°C durante 24 horas.
- ✓ Luego que el material seco de manera contante se remueve del horno y se pesa para poder obtener el peso del contenedor más el material en estado seco.
- ✓ Finalmente se procede a realizar los cálculos correspondientes basados en la ASTM D2216.
- ✓ Para el cálculo del contenido de humedad se utilizará la siguiente fórmula:

*Ecuación 2: Contenido de humedad*

$$W\% = \left[ \frac{Pa}{Ps} \right] \times 100$$

Donde:

Pa: Peso del agua

Ps: Peso seco de la muestra.

*Tabla 15: Esquema de contenido de humedad. Fuente (Propia)*

| Calicatas                                | C-01       |            |            |
|--|------------|------------|------------|
| <b>Réplicas</b>                          | <b>M-1</b> | <b>M-2</b> | <b>M-3</b> |
| Peso de tara (g)                         |            |            |            |
| Peso de tara+ Peso de muestra húmeda (g) |            |            |            |
| Peso de tara + Peso de muestra seca (g)  |            |            |            |
| Peso del agua (Ph) (g)                   |            |            |            |
| Peso de muestra seca (Ps) (g)            |            |            |            |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b>          |            |            |            |
| <b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b> |            |            |            |

### C.3. Peso Unitario y vacíos de los agregados (MTC E203)

- ✓ Primero se Llena el recipiente de medida con agua a temperatura ambiente y cubrir con la placa de vidrio para eliminar burbujas y exceso de agua.
- ✓ Se determina el peso del agua en el recipiente de medida.
- ✓ Medimos la temperatura del agua y determinar densidad.
- ✓ Se calcula el volumen (V) del recipiente de medida dividiendo el peso del agua requerida para llenarlo entre la densidad del agua.
- ✓ Después para realizar el peso unitario suelto el recipiente de medida se llena con una pala o cuchara, que descarga el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2") hasta que rebose el recipiente.
- ✓ Luego eliminar el agregado sobrante con una regla. Determinar el peso del recipiente de medida más el contenido y el peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).
- ✓ Pasa el peso unitario compactado se llena la tercera parte del recipiente con el agregado, y emparejamos la superficie con los dedos. Luego apisonamos la capa de agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. Después se llena las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar como anteriormente se describe. Finalmente se llena el recipiente hasta colmarlo y apisonar otra vez de la manera antes mencionada.
- ✓ Una vez colmado el recipiente, se enrasa la superficie con la varilla, usándola como regla, y se determina el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo, registrando los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).

*Ecuación 3: Peso unitario suelto*

$$PUSS = \frac{\text{Peso del material suelto} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

*Ecuación 4: Peso unitario compactado*

$$PUCS = \frac{\text{Peso del material compactado} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

*Tabla 16: Esquema de peso unitario Fuente (Propia)*

| Material              | Agregado grueso |          | Agregado fino |          |
|-----------------------|-----------------|----------|---------------|----------|
| Tipo de peso unitario | Suelto          | Compacto | Suelto        | Compacto |
| Peso muestra:         |                 |          |               |          |
| Volumen molde:        |                 |          |               |          |
| Peso Unitario:        |                 |          |               |          |

#### **C.4. Límites de Atterberg (ASTM D 4318-84) (NTP 339.19)**

##### **C.4.1. Límite líquido (MTC E110)**

- ✓ Primero se coloca una porción del suelo preparado que pase por la malla N° 40 o tamaños mayores a 0.42 mm, en la copa del dispositivo de límite líquido (copa de Casagrande) en el punto en que la copa descansa sobre la base, luego se presiona, y se esparce en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, llegando a formar una superficie aproximadamente horizontal. Se debe tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Luego cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.
- ✓ Después utilizar el acanalador y dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corta la ranura, se debe mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, para mantener la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. Si se encuentra con suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, se debe cortar la ranura con varias pasadas del acanalador. Como alternativa, puede cortar la ranura a dimensiones ligeramente menores que las requeridas, con una espátula y usar la del acanalador las dimensiones finales de la ranura.
- ✓ Seguidamente se debe levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg). Se debe verificar que no se haya producido el cierre prematuro de la ranura debido a burbujas de aire, por ello, se observa que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con la misma forma.
- ✓ Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registra que el límite no pudo determinarse, y se reporta al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.

- ✓ Después se registra el número de golpes, N, necesario para cerrar la ranura, seguidamente se toma una tajada de suelo de aproximadamente de ancho de la espátula, y colocar en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.
- ✓ Se regresa el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Luego lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.
- ✓ Después mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Se realiza pruebas para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.

*Ecuación 5: Límite líquido*

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Donde:

LL= Límite líquido.

$W^n$ = Contenido de humedad del suelo.

N= Número de golpes.

*Tabla 17: Esquema de límite líquido. Fuente (Propia)*

| Calicata                        | C-01 |
|---------------------------------|------|
| N° de golpes                    |      |
| Peso de tara (g)                |      |
| Peso de tara + suelo húmedo (g) |      |
| Peso de tara + suelo seco (g)   |      |
| % Humedad                       |      |
| Límite líquido                  |      |
| Límite Líquido promedio         |      |

#### **C.4.2. Límite plástico e índice de plasticidad (MTC E111)**

- ✓ Se toma una muestra de la pasta del suelo que se preparó anteriormente la cual pasa la malla N° 40, además la muestra tiene que haber requerido más de 40 golpes para cerrar la ranura.

- ✓ Con la pasta preparada se moldea rollitos cilíndricos de 1 aproximadamente 3/8” o 3 milímetros de diámetro y 5 centímetros de longitud, sobre una lámina de vidrio de superficie lisa. Si no se desmorona se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro
- ✓ Luego los rollitos se colocan en un recipiente y se pesan en una balanza con una sensibilidad de 0.1 gramos, y se meten en un horno a una temperatura de 100 °C +/- 10 °C, por un intervalo de 24 horas.
- ✓ Finalmente se tomaron dos o tres muestras para con el promedio del contenido de humedad, se determine el límite plástico.

*Ecuación 6: Límite plástico*

$$LP = \frac{Pa}{Ps} \times 100$$

Donde:

LP= Límite plástico

Pa= Peso del agua

Ps= Peso de la muestra seca al horno

Además, a través de los límites de Atterberg se puede calcular el índice de plasticidad (IP):

*Ecuación 7: Índice de plasticidad*

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP= Índice de plasticidad

LL= Límite líquido

LP= Límite plástico

*Tabla 18: Esquema de límite plástico. Fuente: (Propia)*

| Calicata                         | C-01 |
|----------------------------------|------|
| Peso de tara (gr)                |      |
| Peso de tara + suelo húmedo (gr) |      |
| Peso de tara + suelo seco (gr)   |      |
| Límite plástico                  |      |
| Límite plástico promedio         |      |



Tabla 19: Esquema de índice de plasticidad Fuente (Propia)

| Calicatas | Límite líquido (%) | Límite Plástico (%) | Índice de plasticidad (%) |
|-----------|--------------------|---------------------|---------------------------|
| C-01      |                    |                     |                           |
| C-02      |                    |                     |                           |
| C-03      |                    |                     |                           |
| C-04      |                    |                     |                           |

### C.5. Desgaste por abrasión (MTC E207)

Esta norma establece el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores a 37.5 mm (1 1/2 pulg) para determinar su resistencia a la degradación utilizando la máquina los Ángeles.

Para la realización de este ensayo se debe de seleccionar el método y el número de esferas según indican las siguientes tablas:

Tabla 20: Número de esferas por gradación. Fuente: (MTC E207)

| Gradación | Número de esferas | Masa de la carga (grs) |
|-----------|-------------------|------------------------|
| A         | 12                | 5000 ± 25              |
| B         | 11                | 4584 ± 25              |
| C         | 8                 | 3330 ± 20              |
| D         | 6                 | 2500 ± 15              |

Tabla 21: Muestra para el ensayo de abrasión. Fuente: (MTC E207)

| Medida del tamiz (abertura cuadrada) |                | Masa de tamaño indicado (grs) |           |           |           |
|--------------------------------------|----------------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Que pasa                             | Retenido sobre | Gradación                     |           |           |           |
|                                      |                | A                             | B         | C         | D         |
| 1 1/2"                               | 1"             | 1250 ± 25                     |           |           |           |
| 1"                                   | 3/4"           | 1250 ± 25                     |           |           |           |
| 3/4"                                 | 1/2"           | 1250 ± 10                     | 2500 ± 10 |           |           |
| 1/2"                                 | 3/8"           | 1250 ± 10                     | 2500 ± 10 |           |           |
| 3/8"                                 | 1/4"           |                               |           | 2500 ± 10 |           |
| 1/4"                                 | Nº4            |                               |           | 2500 ± 10 |           |
| Nº4                                  | Nº8            |                               |           |           | 5000 ± 10 |
| Total                                |                | 5000 ± 10                     | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 |

- ✓ Se seleccionó 5000 gramos de material, se lavó para eliminar las impurezas y secó en una estufa eléctrica a 110°C durante 24 horas
- ✓ Luego se pesa el material (Pa).

- ✓ Después se Coloca la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones.
- ✓ Luego del número prescrito de revoluciones, se descarga el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al Modo Operativo MTC E 204.
- ✓ Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a  $110 \pm 5$  °C, hasta peso constante y determinar la masa con una aproximación a 1 g (Pb).

*Ecuación 8: Desgaste por abrasión*

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Peso inicial (Pa)} - \text{Peso final (Pb)}}{\text{Peso inicial (Pa)}} \times 100$$

*Tabla 22: Esquema de ensayo de abrasión Fuente (Propia)*

| Parámetros                             | M1 | M2 | M3 |
|--|----|----|----|
| A = Peso tara (g)                      |    |    |    |
| B = P. Muestra seca + P. tara (g)      |    |    |    |
| C= P. Muestra tamiz Nº12 + P. tara (g) |    |    |    |
| Pa = (B-A): P. Muestra seca (g)        |    |    |    |
| Pb = (C-A): P. Muestra tamiz Nº12 (g)  |    |    |    |
| % de Desgaste = ((Pa-Pb)/Pa)x100       |    |    |    |
| <b>Desgaste promedio (%)</b>           |    |    |    |

#### **C.6. Proctor modificado (ASTM D1557) (NPT 339.141) (MTC E115)**

Para este ensayo se utilizará el molde del método C el cual consta de 6 pulgadas de diámetro, utilizando un material que pasa por la malla 19 mm o  $\frac{3}{4}$ ", compactando en 5 capas dando un número de 56 golpes. Teniendo en cuenta que su uso de 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).

- ✓ Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo.
- ✓ Una vez hecho eso se prepara 5 muestras con una determinada cantidad de agua, de tal manera que el contenido de humedad de cada una de ellas varié aproximadamente en 1.5 % entre ellas.

- ✓ Después ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.
- ✓ Seguidamente compactar cada muestra en 5 capas y cada capa darle 56 golpes como indica el método C.
- ✓ Al terminar con la última capa se retira el collar y se enrasa con la espátula donde se determina la densidad húmeda
- ✓ Finalmente se determina el contenido de humedad de cada muestra compactada, utilizando muestras representativas de la parte superior e inferior con lo cual determinaremos finalmente la densidad seca.

*Ecuación 9: Densidad húmeda para proctor modificado*

$$D_h = \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Donde:

$D_h$  = Densidad húmeda del espécimen compactado (Kg/m<sup>3</sup>)

$M_t$  = Masa del espécimen húmedo y molde (Kg)

$M_{md}$  = Masa del molde compactado (Kg)

$V$  = Volumen del molde compactado(m<sup>3</sup>)

*Ecuación 10: Densidad seca para proctor modificado*

$$D_s = \left[ \frac{D_h}{\frac{1 + W\%}{100}} \right]$$

Donde:

$D_s$  = Densidad Seca

$D_h$  = Densidad Húmeda

$W\%$  = Contenido de Humedad

Tabla 23: Esquema para proctor modificado Fuente (Propia)

| CALICATAS | ADITIVO  |                                      |
|-----------|--|--------------------------------------|
|           | % de adición                                     |                                      |
|           | Máxima Densidad Seca (M.D.S.) gr/cm <sup>3</sup> | Óptimo Contenido de Humedad (O.C.H.) |
| C – 01    |  |                                      |
| C – 02    |  |                                      |
| C – 03    |  |                                      |
| C – 04    |  |                                      |

## D. Clasificación del Suelo

En la actualidad los sistemas más utilizados para la clasificación del suelo son el sistema Unified Soil Classification System, conocido como Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) y el de la American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO).

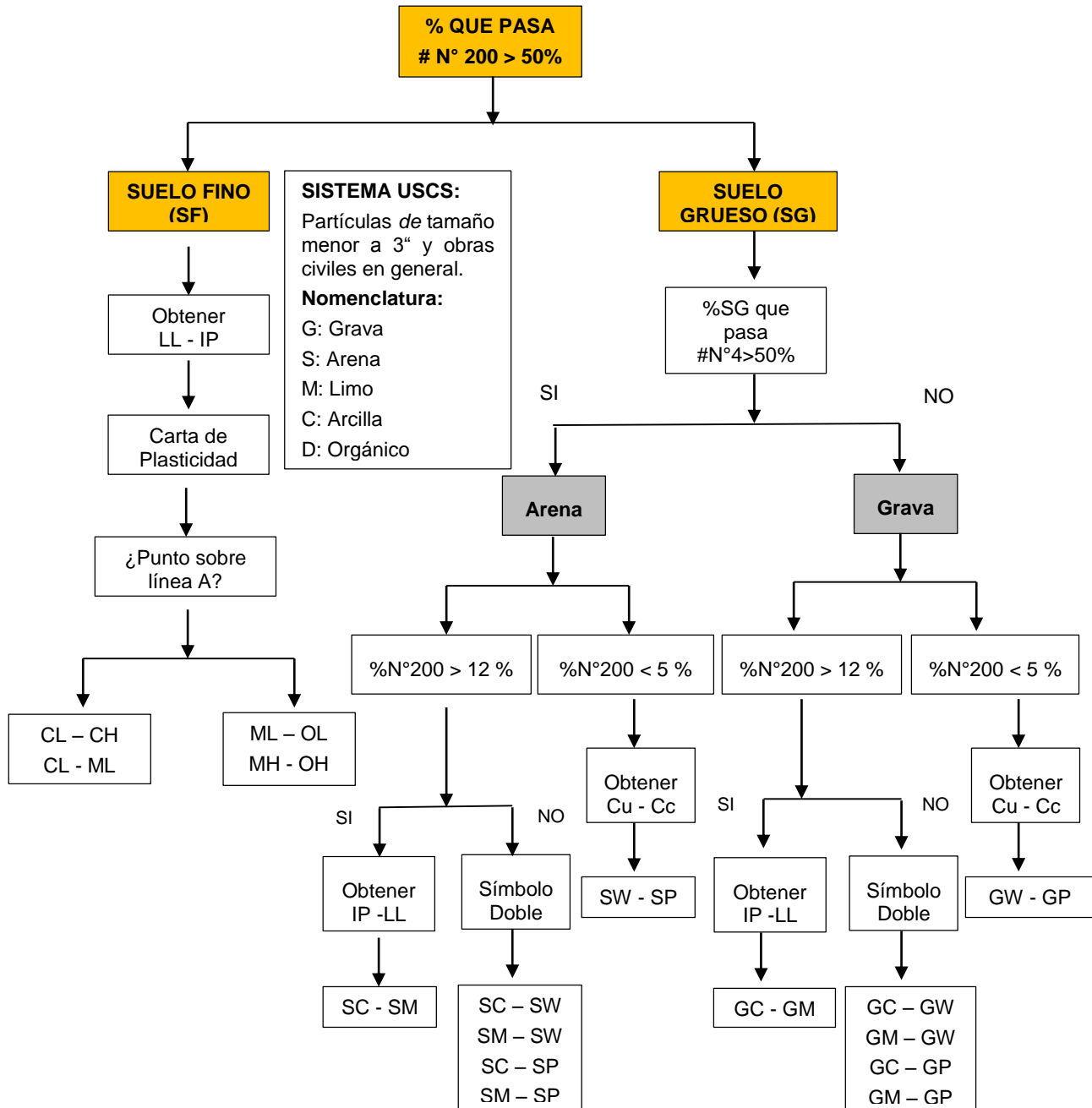
### D.1. Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS)- (ASTM D 2487)

Para este procedimiento se debe de tener el límite líquido y plástico después de ello se calcula el índice de plasticidad. Finalmente, a través de la tabla 25 clasificaremos nuestro material y sabremos qué grupo de suelo es. Asimismo, en la tabla 24 observamos la simbología del suelo según la clasificación SUCS.

Tabla 24: Nomenclatura del sistema SUCS. Fuente: (Bañon Blázquez, 2014)

| Tipo de Suelo | Prefijo | Subgrupo                 | Sufijo |
|---------------|---------|--------------------------|--------|
| Grava         | G       | Bien graduado            | W      |
| Arena         | S       | Pobrementemente graduado | P      |
| Limo          | M       | Limoso                   | M      |
| Arcilla       | C       | Arcilloso                | C      |
| Orgánico      | O       | Alta plasticidad         | L      |
| Turba         | pt      | Baja plasticidad         | H      |

Tabla 25: Clasificación SUCS. Fuente: (Suelos y Pavimentos, 2014)



## D.2. American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO)- (AASHTO M145)

Este procedimiento se basa en determinaciones de laboratorio de Granulometría, Límite, Líquido e Índice de Plasticidad. Es un método realizado principalmente para Obras Viales. Restricción para los finos: %malla n° 200 > 35%. Además, la evaluación se complementa mediante el índice de grupo (IG):

*Ecuación 11 : Índice de grupo*

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

Donde:

F: Porcentaje en peso que pasa por el tamiz Número 200, expresado en número entero

LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad

Luego de obtener el valor del índice de grupo se realiza la clasificación del suelo AASTHO según la tabla 26:

*Tabla 26: Clasificación del suelo AASHTO. Fuente: (AASHTO M145, 2010)*

| Clasificación General | Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla N°200)  |        |            |                                      |        |        |        | Limos y Arcillas (35% pasa la malla N°200) |        |                   |                 |
|-----------------------|--|--------|------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--|--------|-------------------|-----------------|
|                       | A-1  |        | A-3        | A-2                                  |        | A-2    |        | A-4  | A-5    | A-6               | A-7             |
| Subgrupos             | A-1-a  | A-1-b  | A-3        | A-2-4                                | A-2-5  | A-2-6  | A-2-7  |  |        |                   | A-7-5/<br>A-7-6 |
| % que pasa tamiz:     |  |        |            |                                      |        |        |        |  |        |                   |                 |
| N°10                  | 50 máx   |        |            |                                      |        |        |        |  |        |                   |                 |
| N°40                  | 30 máx   | 50 máx | 51min      |                                      |        |        |        |  |        |                   |                 |
| N°200                 | 15 máx   | 25 máx | 10máx      | 35 máx                               | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 36 min                                     | 36 min | 36 min            | 36 min          |
| Cart. Bajo N°40       |  |        |            |                                      |        |        |        |  |        |                   |                 |
| LL                    |  |        |            | 40 máx                               | 41 min | 40 máx | 41 min | 40 máx                                     | 41 min | 40 máx            | 41 min          |
| IP                    | 6 máx  | 6 máx  | NP         | 10 máx                               | 10 máx | 11 min | 11 min | 10 máx                                     | 10 máx | 11 min            | 11 min          |
| IG                    | 0  | 0      | 0          | 0                                    | 0      | 4 máx  | 4 máx  | 8 máx                                      | 12 máx | 16 máx            | 20 máx          |
| Tipo de material      | Gravas y Arenas  |        | Arena fina | Gravas y arenas limosas y arcillosas |        |        |        | Suelos limosos                             |        | Suelos arcillosos |                 |
| Terreno fundación     | Excelente  |        | Excelente  | Excelente o bueno                    |        |        |        | Regular a malo                             |        |                   |                 |
| Datos Adicionales:    | El índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5 es menor o igual a (LL-30)<br>El índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor a (LL-30) |        |            |                                      |        |        |        |  |        |                   |                 |

Asimismo, en la tabla 27 se observa la clasificación según el sistema SUCS y AASHTO y sus similitudes:

Tabla 27: Similitudes de la clasificación SUCS y AASTHO.

| Clasificación de suelos AASTHO (AASTHO M145) | Clasificación de suelos SUCS (ASTM D2487) |
|--|---|
| 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                                |

## E. Ensayos con Material afirmado:

### E.1. CBR (California Bearing Ratio) (ASTM D1883/MTC E132)

El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno.

- ✓ Secar el material al sol o en un horno a una temperatura de 60°C.
- ✓ Desmenuzar los terrones (podemos usar un mazo con cabeza de hule) debemos cuidar de no romper las partículas individuales en la muestra.
- ✓ Obtenemos la muestra por cuarteo.
- ✓ Tamizar por el tamiz ¾". Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19.1 mm (¾"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19.1 mm (¾") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19.1 mm (¾") y de 4.75 mm (No. 4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.
- ✓ Luego se obtiene la humedad natural en ese instante y se lleva a la muestra a un estado de humedad óptima con los valores obtenidos mediante el ensayo de proctor.
- ✓ 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.

- ✓ Llenamos el molde en 5 capas compactamos con los golpes necesarios para cada espécimen, conservar material para verificar la humedad del espécimen.
- ✓ Luego hacemos especímenes para 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la humedad óptima.
- ✓ 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.
- ✓ Después 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.
- ✓ Seguidamente se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se pesa.
- ✓ Luego 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. Además, en ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4,54 kg
- ✓ Consecutivamente, 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 (cubriéndolo por completo) 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). pero se puede dar por terminado cuando se registren valores cero de expansión por un periodo mayor a 24 horas. Haciendo varias lecturas de expansión y además el ensayo por ningún motivo puede tener un periodo de inmersión menor a 24 horas.
- ✓ Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento
- ✓ Después del periodo de inmersión se procede a sacar 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 según el proceso del numeral siguiente.



- ✓ 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 (10Lb).
- ✓ Luego ajustamos el dial de carga y el deformímetro a ceros.
- ✓ Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto.
- ✓ La penetración se lleva hasta una profundidad de penetración de 0.5" y los rangos de registros que se toman se recomienda que sean rangos cada 0,025" o menores. Teniendo en cuenta que entre más registros se tomen, la curva será mucho mejor definida.

*Ecuación 12: Humedad óptima a añadir*

$$A = \frac{H - h}{100 - h} \times 100$$

Donde:

A = % de agua a añadir

H = Humedad prefijada

h = Humedad natural

*Ecuación 13: Porcentaje de expansión*

$$E = \frac{L_f - L_o}{H}$$

Donde:

E = % de expansión

$L_f$  = Lectura final en mm.

$L_o$  = Lectura final en mm

H = Altura del molde en mm (127 mm o 5 pulg.)

*Tabla 28: Esquema de densidad húmeda del CBR. Fuente (Propia)*

| Compactación de Especímenes |          |          |          |
|-----------------------------|----------|----------|----------|
| Molde N°                    | 1        | 2        | 3        |
| N° Capa                     | 5        | 5        | 5        |
| Golpes por capa N°          | 56       | 26       | 12       |
| Cond. de la muestra         | Saturada | Saturada | Saturada |
| Peso molde + Suelo          |          |          |          |
| Peso de molde (g)           |          |          |          |
| Peso del suelo              |          |          |          |
| Volumen del molde           |          |          |          |
| <b>Densidad húmeda</b>      |          |          |          |

Tabla 29: Esquema de densidad seca. Fuente: (Propia)

| Contenido de humedad de los especímenes |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tarro N°                                | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tarro + Suelo húmedo (g)                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Tarro + Suelo seco (g)                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Peso del Agua (g)                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Peso del tarro (g)                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Peso del suelo seco (g)                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Humedad (%)</b>                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Tabla 30: Expansión del CBR. Fuente (Propia)

| Hora | Expansión               |                   |                         |                   |                         |                   |
|------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
|      | Molde de 55 golpes/capa |                   | Molde de 26 golpes/capa |                   | Molde de 12 golpes/capa |                   |
|      | Dial                    | Expansión<br>mm % | Dial                    | Expansión<br>mm % | Dial                    | Expansión<br>mm % |
| 24   |                         |                   |                         |                   |                         |                   |
| 48   |                         |                   |                         |                   |                         |                   |
| 72   |                         |                   |                         |                   |                         |                   |
| 96   |                         |                   |                         |                   |                         |                   |

Tabla 31: Penetración del CBR. (Propia)

| Penetración<br>n<br>mm | Carga<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Penetración             |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|------|----------------------------------|
|                        |                             | Molde de 56 golpes/capa |                                  |      | Molde de 26 golpes/capa          |      |                                  | Molde de 12 golpes/capa |                                  |      |                                  |
|                        |                             | Dial                    | Kgf/cm <sup>2</sup><br>Corregida | Dial | Kgf/cm <sup>2</sup><br>Corregida | Dial | Kgf/cm <sup>2</sup><br>Corregida | Dial                    | Kgf/cm <sup>2</sup><br>Corregida | Dial | Kgf/cm <sup>2</sup><br>Corregida |
| 0.63                   |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
| 1.27                   |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
| 1.90                   |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
| 2.54                   |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
| 3.17                   |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
| 3.81                   |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
| 5.08                   |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
| 7.62                   |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
| 10.16                  |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |
| 12.70                  |                             |                         |                                  |      |                                  |      |                                  |                         |                                  |      |                                  |

## E.2. Compresión inconfiada (ASTM D2166 /AASHTO T208/MTC E121)

Para realizar el ensayo de compresión inconfiada se sigue el siguiente procedimiento:

- ✓ Primero se elabora los especímenes los cuales son de sección circular con dimensiones mínimas de 30 mm de diámetro x 60 mm de altura. Elaborándose probetas de 35 de diámetro x 70 mm de altura respetando la relación diámetro: altura de 1:2 tal como indica la ASTM D2166.

- ✓ La mayor partícula contenida en su interior debe ser, como máxima, igual a 1/10 del diámetro o lado, es por ello que se tamiza a través de la malla N°8 (2.36mm) la cual es menor a 3.5 mm cumpliendo con este requisito.
- ✓ Medir las características físicas y de masa del espécimen (peso, altura y diámetro) con una precisión de 0,1 mm mediante un calibrador con nonio o un objeto análogo.
- ✓ Se pesa la muestra.
- ✓ Luego se coloca la probeta en la prensa de modo que quede perfectamente centrada. Se acciona el dispositivo de avance lo estrictamente necesario para que la probeta toque a la placa superior de la prensa. Se pone en cero el indicador de deformaciones.
- ✓ Se acciona la máquina de carga y se registran lecturas de carga y para los siguientes valores de deformación cuando el deformímetro tenga precisión de 0,01 milímetros.
- ✓ Para el caso de la deformación controlada, se acciona la prensa de modo que la velocidad de deformación unitaria de la probeta esté comprendida entre ½ % y 2% por minuto.
- ✓ Se toman medidas de las deformaciones y de las cargas cada 30 segundos hasta que las cargas comiencen a disminuir o hasta llegar a una deformación axial del 20% (lo que antes suceda). Se escogerá una velocidad (normalmente entre 10 a 15 puntos serán suficientes) en que la rotura ocurra en un lapso entre 1 y 10 minutos.

*Ecuación 14: Deformación unitaria*

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Deformación unitaria axial para la carga dada.

$\Delta L$ = Cambio en longitud de la muestra, igual al cambio entre la lectura inicial y final del indicador de deformación, (mm).

$L_0$ = Longitud inicial de la muestra, (mm).

*Ecuación 15: Área inicial de compresión inconfiada*

$$A_0 = \frac{(A_t + 2 \cdot A_m + A_b)}{4}$$

Donde:

$A_0$ = Área inicial promedio la probeta.

$A_t$ = Área en la parte superior de la probeta.

$A_m$ = Área en la parte media de la probeta

$A_b$ = Área en la parte inferior de la probeta

*Ecuación 16: Sección transversal de compresión inconfínada*

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)}$$

Donde:

$A$  = Sección transversal promedio.

$A_0$  = Área inicial promedio la probeta.

$\varepsilon$  = Deformación unitaria axial para la carga dada.

*Ecuación 17: Esfuerzo a compresión inconfínada*

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

$\sigma_c$  = Esfuerzo a compresión inconfínada.

$P$  = Carga aplicada.

$A$  = Sección transversal promedio.

*Tabla 32: Esquema de deformación para compresión inconfínada*

| 0%               |            | 1.5%             |            | 3%               |            | 4.5%             |            | 6.0%             |            |
|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|
| Deformación (mm) | Carga (Kg) | Deformación (mm) | Carga (Kg) | Deformación (mm) | Carga (Kg) | Deformación (mm) | Carga (Kg) | Deformación (mm) | Carga (Kg) |
|                  |            |                  |            |                  |            |                  |            |                  |            |

Tabla 33: Esquema de compresión No confinada

| % de Adición | Testigo | Dimensiones |               |                         | Fuerza (KN) | Resistencia a Compresión (MPa) | Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------|-------------|---------------|-------------------------|-------------|--------------------------------|--|---|
|              |         | Altura (mm) | Diámetro (mm) | Área (mm <sup>2</sup> ) |             |                                |  |   |
| 0%           | P-1     |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | P-2     |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | P-3     |             |               |                         |             |                                |  |   |
| 1.5%         | E1.5-1  |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | E1.5-2  |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | E1.5-3  |             |               |                         |             |                                |  |   |
| 3.0%         | E3-1    |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | E3-2    |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | E3-3    |             |               |                         |             |                                |  |   |
| 4.5%         | E4.5-1  |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | E4.5-2  |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | E4.5-3  |             |               |                         |             |                                |  |   |
| 6.0%         | E6-1    |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | E6-2    |             |               |                         |             |                                |  |   |
|              | E6-3    |             |               |                         |             |                                |  |   |

## F. Análisis de varianza

### F.1. Media aritmética o promedio

Se suman los datos de cada ensayo por dosificación, marca de acelerante y días de curado según la siguiente formula:

*Ecuación 18: Promedio*

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

$\bar{x}$  = Media Aritmética.

$\Sigma$  = Sumatoria

$x_i$  = Observación de la muestra. Representa cada dato en el conjunto.

$n$  = Tamaño de la muestra. Es el número de términos en el conjunto

## F.2. Varianza

Para poder determinar la varianza de nuestros todos nuestros ensayos, se reemplaza los datos hallados de cada dosificación, marca de aditivo y edad de curado en la siguiente fórmula:

*Ecuación 19: Varianza*

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

$\sigma^2$  = Varianza

$\Sigma$  = Sumatoria.

$\bar{x}$  = Media Aritmética.

$x_i$  = Observación de la muestra. Representa cada dato en el conjunto.

$n$  = Tamaño de la muestra.

## F.3. Desviación estándar

Para hallar la desviación estándar de los ensayos realizados se utiliza los resultados de la varianza en la siguiente fórmula:

*Ecuación 20: Desviación estándar*

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

Donde:

DS = Desviación estándar

$\sigma^2$  = Varianza

## F.4. Coeficiente de variación

Para poder hallar el coeficiente de variación se utiliza la desviación estándar de cada ensayo realizado en la siguiente fórmula:

*Ecuación 21: Coeficiente de variación*

$$CV = \frac{DS}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

CV = Coeficiente de Variación

DS = Desviación estándar

$\bar{x}$  = Media Aritmética

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Resultado de la caracterización del material

##### 4.1.1. Resultado de la caracterización del material en calicatas

Tabla 34: Cuadro de resumen caracterización del material en calicatas del tramo El Pallar-Shalar Fuente: Propia

| Muestra de calicata N° | Humedad a la Profundidad |       | L.L. % | I.P. % | Granulometría | Gs    | Índice de grupo | Clasificación       |        | Compactación |                                   | C.B.R.            |             | Descripción              |                       |
|------------------------|--------------------------|-------|--------|--------|---------------|-------|-----------------|---------------------|--------|--------------|-----------------------------------|-------------------|-------------|--------------------------|-----------------------|
|                        | %                        | Mts.  |        |        |               |       |                 | No.200 (% Que pasa) | AASTHO | SUCS         | Proctor Mod. (g/cm <sup>3</sup> ) | Humeda d óptimo % | Porcentajes |                          |                       |
|                        |                          |       |        |        |               |       |                 |                     |        |              |                                   |                   | 95%         |                          | 100%                  |
| C-1                    | -                        | 0.00  | -      | -      | Ver Tabla 32  | -     | -               | -                   | -      | -            | -                                 | -                 | -           | -                        |                       |
|                        | 5,52                     | -1,50 | 39,62  | 11,12  |               | 37,70 | 2.66            | 1                   | A-6    | SM           | 1,99                              | 10,20             | 10,6        | 12,3                     | Arena Limosa          |
| C-2                    | -                        | 0.00  | -      | -      |               | -     | -               | -                   | -      | -            | -                                 | -                 | -           | -                        | -                     |
|                        | 6,97                     | -1,50 | 48,92  | 15,66  |               | 51,01 | 2.64            | 6                   | A-7-5  | ML           | 1,88                              | 8,40              | 9,00        | 12,70                    | Limo Baja Plasticidad |
| C-3                    | -                        | 0.00  | -      | -      | -             | -     | -               | -                   | -      | -            | -                                 | -                 | -           | -                        |                       |
|                        | 5,12                     | -1,50 | 27,3   | 20,77  | 21,79         | 2.71  | 0               | A-2-4               | GC-GM  | 2,12         | 8,70                              | 13,40             | 23,80       | Grava Arcillosa con Limo |                       |
| C-4                    | -                        | 0.00  | -      | -      | -             | -     | -               | -                   | -      | -            | -                                 | -                 | -           | -                        |                       |
|                        | 5,6                      | -1,50 | 34,2   | 22,42  | 15,84         | 2.73  | 0               | A-2-6               | GC     | 2,13         | 7,60                              | 12,10             | 23,00       | Grava Arcillosa          |                       |

Tabla 35: Granulometría de las calicatas. Fuente: Propia

| TAMIZ    | DIAMETRO (mm) | C-01 (%PASA) | C-02 (%PASA) | C-03 (%PASA) | C-04 (%PASA) |
|----------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 3"       | 76.200        | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00       |
| 2"       | 50.800        | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 90.88        |
| 1 1/2"   | 38.100        | 100.00       | 98.95        | 95.32        | 79.42        |
| 1"       | 25.400        | 98.02        | 97.74        | 88.30        | 73.27        |
| 3/4"     | 19.050        | 97.46        | 96.70        | 83.80        | 68.48        |
| 3/8"     | 9.500         | 96.33        | 94.52        | 71.98        | 57.59        |
| N° 4     | 4.750         | 94.63        | 92.32        | 59.91        | 48.30        |
| N° 10    | 2.000         | 88.42        | 85.99        | 49.56        | 37.36        |
| N° 20    | 0.840         | 75.57        | 75.47        | 39.85        | 28.30        |
| N° 40    | 0.420         | 60.23        | 65.66        | 32.62        | 21.96        |
| N° 80    | 0.180         | 56.00        | 61.49        | 28.79        | 20.02        |
| N° 100   | 0.150         | 45.23        | 56.85        | 24.43        | 17.54        |
| N° 200   | 0.075         | 37.70        | 51.01        | 21.79        | 15.84        |
| < N° 200 | -----         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |



#### 4.1.2. Resultado de la caracterización del material en cantera

Tabla 36: Cuadro de resumen caracterización del material en cantera el Pallar Fuente: Propia

| Muestra           | Humedad % | L.L. % | I.P. % | Granulometría de Suelo<br>No.200<br>(% Que pasa) | Granulometría como Base Granular<br>No.200<br>(% Que pasa) | Granulometría como Afirmado<br>No.200<br>(% Que Pasa) | Desgaste Los Ángeles % | Peso Específico Gs | Porcentaje de Absorción % | Peso Unitario   |          |               |          | Clasificación |       | Compactación                      |                  | C.B.R. |       | Descripción                            |
|-------------------|-----------|--------|--------|--|--|---|------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------|----------|---------------|----------|---------------|-------|-----------------------------------|------------------|--------|-------|--|
|                   |           |        |        |  |  |   |                        |                    |                           | Agregado Grueso |          | Agregado Fino |          | AASTHO        | SUCS  | Proctor Mod. (g/cm <sup>3</sup> ) | Humedad óptimo % | 95%    | 100%  |  |
|                   |           |        |        |  |  |   |                        |                    |                           | Suelto          | Compacto | Suelto        | Compacto |               |       |                                   |                  |        |       |  |
| Cantera El Pallar | 4.21      | 24.55  | 4.00   | 10.99  | 10.99  | 10.99   | 25.83                  | 2.70               | 1.65                      | 1350.48         | 1477.46  | 1676.85       | 1842.60  | A-2-4(0)      | GP-GC | 2.17                              | 6.00             | 34.20  | 62.00 | (GP-GC) GRAVA MAL GRADUADA CON ARCILLA |

Tabla 37: Granulometría de la cantera el Pallar

| Tamiz    | Diámetro (mm) | (% Que pasa )<br>Granulometría del suelo de material de cantera | (% Que pasa )<br>Granulometría por afirmado de material de cantera | (% Que pasa )<br>Granulometría por base granular de material de cantera |
|----------|---------------|---|--|---|
| 3"       | 76.20         | 100,00  | ---  | ---   |
| 2"       | 50.80         | 100,00  | 100,00   | 100,00  |
| 1 1/2"   | 38.10         | 100,00  | --   | --  |
| 1"       | 25.40         | 92.68   | 92.68  | 92.68   |
| 3/4"     | 19.05         | 85.85   | 85.85  | --  |
| 3/8"     | 9.50          | 66.33   | 66.33  | 66.33   |
| N° 4     | 4.75          | 40.88   | 40.88  | 40.88   |
| N° 10    | 2,00          | 29.66   | 29.66  | 29.66   |
| N° 20    | 0.84          | 20.95   | ---  | ---   |
| N° 40    | 0.42          | 17.04   | 17.04  | 17.04   |
| N° 80    | 0.18          | 14.82   | ---  | ---   |
| N° 100   | 0.15          | 12.89   | ---  | ---   |
| N°200    | 0.075         | 10.99   | 10.99  | 10.99   |
| < N° 200 | ----          | 0,00  | 0,00   | 0,00  |

#### 4.2. Resultados del material estabilizado con emulsión asfáltica

##### 4.2.1. Resultados del material de cantera estabilizado con emulsión asfáltica CSS-1H

Tabla 38: Cuadro de resumen del material estabilizado con Emulsión Asfáltica Fuente: Propia

| MUESTRA           | PORCENTAJE DE EMULSION ASFALTICA (%) | COMPACTACION                            |                  | CBR   |       | COMPRESIÓN NO CONFINADA (KPa) |
|-------------------|--------------------------------------|---|------------------|-------|-------|-------------------------------|
|                   |                                      | Proctor Modificado (g/cm <sup>3</sup> ) | Humedad óptimo % | 95%   | 100%  |                               |
| Cantera El Pallar | 1.50 %                               | 2.16                                    | 6.08             | 37.50 | 66.50 | 45.833                        |
|                   | 3.00 %                               | 2.18                                    | 6.10             | 45.20 | 77.60 | 74.678                        |
|                   | 4.50 %                               | 2.21                                    | 5.96             | 49.10 | 83.40 | 100.341                       |
|                   | 6.00 %                               | 2.17                                    | 6.16             | 44.10 | 77.90 | 90.489                        |

#### 4.3. Resultados del Diseño de Vía Afirmada El Pallar – Shalar

Tabla 39. Espesor de cada afirmado

| TRAMO  | ESPEJOR CAPA DE AFIRMADO (mm) |
|--|-------------------------------|
| El Pallar – Shalar estado natural                                  | 250                           |
| El Pallar – Shalar con óptimo de contenido Emulsión Asfáltica 4.5% | 150                           |

#### 4.4. Análisis del Numero de pasadas con Maquinaria en la vía Afirmada

Tabla 40: Selección del tipo de maquinaria en función del tipo de suelo según la clasificación AASHTO (Dujisin y Rutland, 1974)

| TIPO DE MAQUINARIA    | A-1-a | A-1-b | A-3 | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
|-----------------------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|
| Rodillo Liso          | 1     | 2     | 2   | 1     | 1     | 1     | 2     | 2   | 3   | 3   | 4   |
| Rodillo Neumático     | 2     | 2     | 2   | 1     | 1     | 1     | 1     | 2   | 2   | 2   | 3   |
| Rodillo Pata de Cabra | 5     | 5     | 5   | 4     | 4     | 3     | 2     | 2   | 1   | 1   | 1   |
| Piso Impacto          | 2     | 2     | 1   | 2     | 2     | 2     | 4     | 4   | 4   | 4   | 4   |
| Rodillo Vibratorio    | 1     | 1     | 1   | 1     | 1     | 3     | 4     | 3   | 3   | 5   | 5   |

1 Excelente                      3 Regular                      5 Inadecuado  
2 Bueno                              4 Deficiente

- Clasificación AASHTO del Material en Cantera el Pallar es **A - 2 - 4** por lo tanto se utilizara un Rodillo Liso Vibratorio de 10 Tn

*Ecuación 22: Energía de Compactación*

$$Ec = \frac{n \times N \times W \times h}{V}$$

Ec: Energía de Compactación  
n: Número de Golpes  
N: Numero de Capas  
W: Peso de Piston  
h: Altura de caída de Piston  
V: Volumen del molde y muestra

- **Proctor Modificado**

n: 56  
N: 5  
W: 4.5 Kg  
h: 45.7 cm  
V: 2,127 cm<sup>3</sup>

$$Ec = \frac{56 \times 5 \times 4.5 \times 45.7}{2,127}$$

$$Ec = 27.07 \text{ Kg/cm}^2$$

- **Clase de Maquinaria Pesada**

- ✓ Rodillo Liso Vibratorio de 10 Tn cubre las ruedas con presiones de contacto con el suelo de 3.88 Kg/cm<sup>2</sup>

- **Número de Pasadas con Rodillo Liso Vibratorio**

*Ecuación 23: Número de Pasadas*

$$Np = \frac{Ec}{Ec \text{ Maquinaria}}$$

Np: Numero de pasadas  
Ec: Energía de Compactación  
Ec.m: Energía de Compactación de Maquinaria

$$Np = \frac{27.07}{3.88} = 7 \text{ pasadas}$$

#### 4.5. Cuadro comparativo de resultados por dosificación

Tabla 41. Comparación de resultados obtenidos por dosificación

| Afirmado     | DMS (gr/cm3) | Humedad óptima (%) | CBR (%) | Compresión no confinada (KPa) | N° pasadas en obra |
|--------------|--------------|--------------------|---------|-------------------------------|--------------------|
| Sin aditivos | 2.17         | 6.00               | 32.40   | -                             | 8                  |
| 1.5%         | 2.16         | 6.08               | 37.50   | 45.833                        | 7                  |
| 3.0%         | 2.18         | 6.10               | 45.20   | 74.678                        | 7                  |
| 4.5%         | 2.21         | 5.96               | 49.10   | 100.341                       | 7                  |
| 6.0%         | 2.17         | 6.16               | 44.10   | 90.489                        | 7                  |

#### 4.6. Análisis y Evaluación Económica de la Estabilización con Emulsión Asfáltica

Tabla 42: Análisis de Precio Unitario Base en Afirmado

| Partida |                                |  |          |     |               |  | BASE DE AFIRMADO E=0,25         |                 |                   |                    |  |  |  |
|---------|--------------------------------|--|----------|-----|---------------|--|---------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--|--|--|
| Rend:   | m3/DIA                         |  | 357.0000 | EQ. | 357.0000      |  | Costo unitario directo por : m3 |                 |                   | 51.48              |  |  |  |
|         | <b>Descripción Recurso</b>     |  |          |     | <b>Unidad</b> |  | <b>Cuadrilla</b>                | <b>Cantidad</b> | <b>Precio S/.</b> | <b>Parcial S/.</b> |  |  |  |
|         | <b>Mano de Obra</b>            |  |          |     |               |  |                                 |                 |                   |                    |  |  |  |
|         | OPERARIO                       |  |          |     | hh            |  | 1.0000                          | 0.0224          | 21.02             | 0.47               |  |  |  |
|         | PEON                           |  |          |     | hh            |  | 4.0000                          | 0.0896          | 15.47             | 1.39               |  |  |  |
|         |                                |  |          |     |               |  |                                 |                 |                   | <b>1.86</b>        |  |  |  |
|         | <b>Materiales</b>              |  |          |     |               |  |                                 |                 |                   |                    |  |  |  |
|         | AFIRMADO                       |  |          |     | m3            |  |                                 | 1.3000          | 32.00             | 41.60              |  |  |  |
|         | AGUA                           |  |          |     | m3            |  |                                 | 0.2400          | 5.00              | 1.20               |  |  |  |
|         |                                |  |          |     |               |  |                                 |                 |                   | <b>42.80</b>       |  |  |  |
|         | <b>Equipos</b>                 |  |          |     |               |  |                                 |                 |                   |                    |  |  |  |
|         | HERRAMIENTAS MANUALES          |  |          |     | %mo           |  |                                 | 5.0000          | 1.86              | 0.09               |  |  |  |
|         | RODILLO LISO VIBRATORIO 10 TON |  |          |     | hm            |  | 1.0000                          | 0.0224          | 140.00            | 3.14               |  |  |  |
|         | MOTONIVELADORA                 |  |          |     | hm            |  | 1.0000                          | 0.0224          | 160.00            | 3.59               |  |  |  |
|         |                                |  |          |     |               |  |                                 |                 |                   | <b>6.82</b>        |  |  |  |

Tabla 43: Análisis de Precio Unitario Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica

| Partida                              |               |                 |                  |                 |                                 |                    |
|--------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|
| BASE DE AFIRMADO ESTABILIZADA E=0,15 |               |                 |                  |                 |                                 |                    |
| Rend:                                | <b>m3/DIA</b> | <b>300.0000</b> | EQ.              | <b>300.0000</b> | Costo unitario directo por : m3 | <b>59.38</b>       |
| <b>Descripción Recurso</b>           |               | <b>Unidad</b>   | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio S/.</b>               | <b>Parcial S/.</b> |
| <b>Mano de Obra</b>                  |               |                 |                  |                 |                                 |                    |
| OPERARIO                             |               | hh              | 1.0000           | 0.0267          | 21.02                           | 0.56               |
| PEON                                 |               | hh              | 4.0000           | 0.1067          | 15.47                           | 1.65               |
|                                      |               |                 |                  |                 |                                 | <b>2.21</b>        |
| <b>Materiales</b>                    |               |                 |                  |                 |                                 |                    |
| AFIRMADO                             |               | m3              |                  | 1.2000          | 32.00                           | 38.40              |
| AGUA                                 |               | m3              |                  | 0.1200          | 5.00                            | 0.60               |
| EMULSION ASFALTICA CSS-1H            |               | gln             |                  | 1.0800          | 5.65                            | 6.10               |
|                                      |               |                 |                  |                 |                                 | <b>45.10</b>       |
| <b>Equipos</b>                       |               |                 |                  |                 |                                 |                    |
| HERRAMIENTAS MANUALES                |               | %mo             |                  | 3.0000          | 2.21                            | 0.07               |
| RODILLO LISO VIBRATORIO 10 TON       |               | hm              | 1.0000           | 0.0267          | 140.00                          | 3.73               |
| MOTONIVELADORA                       |               | hm              | 1.0000           | 0.0267          | 160.00                          | 4.27               |
| CAMIÓN IMPRIMIDOR                    |               | hm              | 1.0000           | 0.0267          | 150.00                          | 4.00               |
|                                      |               |                 |                  |                 |                                 | <b>12.07</b>       |

#### 4.7. Análisis estadístico

##### 4.7.1. Prueba de normalidad

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los datos son normales.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los datos no son normales.

Tabla 44. Resultados de la prueba de normalidad

| Dosificaciones | Shapiro-Wilk |    |       |
|----------------|--------------|----|-------|
|                | Estadístico  | gl | Sig.  |
| 1.50%          | 0.964        | 3  | 0.637 |
| 3.00%          | 0.995        | 3  | 0.858 |
| 4.50%          | 0.946        | 3  | 0.552 |
| 6.00%          | 0.936        | 3  | 0.512 |

#### 4.7.2. Análisis de Varianza (ANOVA)

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): Las medias de las poblaciones son iguales.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Las medias de las poblaciones son distintas.

Tabla 45. Resultados del Análisis de Varianza

| Fuentes de Variación | Suma de cuadrados | gl        | Media cuadrática | F        | Sig.  |
|----------------------|-------------------|-----------|------------------|----------|-------|
| Entre Grupos         | 5136.928          | 3         | 1712.309         | 7446.061 | 0.000 |
| Dentro de Grupos     | 1.840             | 8         | 0.230            |          |       |
| <b>Total</b>         | <b>5138.768</b>   | <b>11</b> |                  |          |       |

#### 4.7.3. Prueba de Tukey

Tabla 46. Resultados de la Prueba de Tukey

| (I) Grupo | (J) Grupo | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig.  | 95% de intervalo de confianza |                 |
|-----------|-----------|----------------------------|----------------|-------|-------------------------------|-----------------|
|           |           |                            |                |       | Límite inferior               | Límite superior |
|           | 3.0%      | -29,02167*                 | 0.392          | 0.000 | -30.28                        | -27.77          |
| 1.5%      | 4.5%      | -54,61367*                 | 0.392          | 0.000 | -55.87                        | -53.36          |
|           | 6.0%      | -44,96733*                 | 0.392          | 0.000 | -46.22                        | -43.71          |
|           | 1.5%      | 29,02167*                  | 0.392          | 0.000 | 27.77                         | 30.28           |
| 3.0%      | 4.5%      | -25,59200*                 | 0.392          | 0.000 | -26.85                        | -24.34          |
|           | 6.0%      | -15,94567*                 | 0.392          | 0.000 | -17.20                        | -14.69          |
|           | 1.5%      | 54,61367*                  | 0.392          | 0.000 | 53.36                         | 55.87           |
| 4.5%      | 3.0%      | 25,59200*                  | 0.392          | 0.000 | 24.34                         | 26.85           |
|           | 6.0%      | 9,64633*                   | 0.392          | 0.000 | 8.39                          | 10.90           |
|           | 1.5%      | 44,96733*                  | 0.392          | 0.000 | 43.71                         | 46.22           |
| 6.0%      | 3.0%      | 15,94567*                  | 0.392          | 0.000 | 14.69                         | 17.20           |
|           | 4.5%      | -9,64633*                  | 0.392          | 0.000 | -10.90                        | -8.39           |

## CAPITULO V

### 5. DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como propósito hallar una alternativa de solución para mejorar el suelo de la carretera Pallar-Shalar con un material afirmado estabilizado con emulsión asfáltica, en el distrito de Chugay, Provincia de Sanchez Carrión – La Libertad; trayendo consigo beneficios a nivel social y cultural. Además, cada ensayo realizado, fue efectuado y evaluado según lo que establecen las Normas Técnicas Peruanas (NTP), las Normas de la Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM) y las Normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

A continuación, se discutirán los principales hallazgos del estudio.

#### 5.1. Ensayos de las calicatas

Los ensayos realizados en las 4 calicatas que indican 1 calicata por cada Kilómetro de carretera se realizaron a una profundidad de 1.5 metros para la obtención de la muestra.

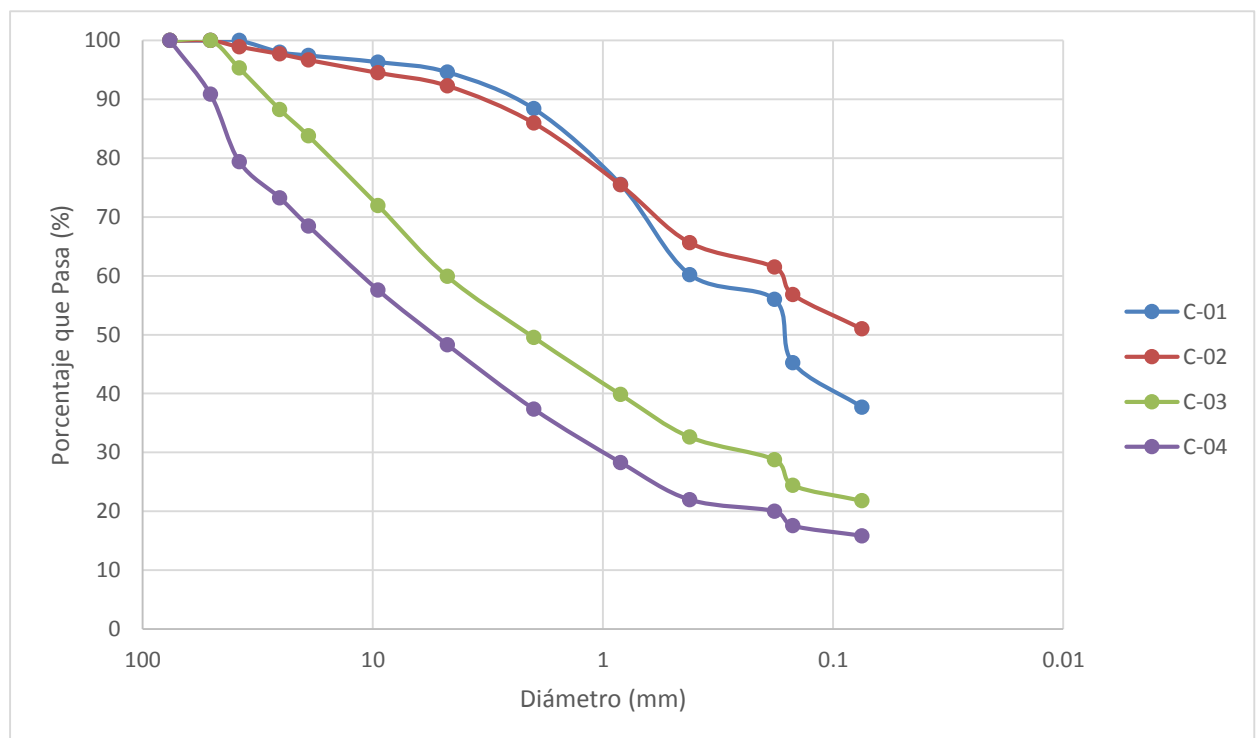


Figura 10: Curvas granulométricas de las calicatas, Fuente: Propia

En la figura 11 se muestra las curvas granulométricas del suelo de la carretera El Pallar-Shalar, las cuales no tienen una distribución adecuada entre sus granos lo que puede ocasionar que tenga una baja resistencia o un valor muy bajo de CBR, además, al tener una mala distribución puede haber poca cohesión entre sus granos.

Asimismo, se puede observar según la distribución granulométrica que para las calicatas 3 y 4, que corresponden al material desde el Km. 2.00 hasta el Km. 4.00, tienen un menor contenido de finos o un menor del valor del porcentaje que pasa la malla número 200 por ello es que en ese tramo de la carretera las características del suelo pueden presentar mejores resultados obteniendo mayor resistencia en el ensayo de CBR.

Por otro lado, en la tabla 34 se observa los resultados de los ensayos aplicados a las muestras de las calicatas en donde se determina que la calicata 3 y 4 tienen un mayor contenido de arcilla al tener un mayor índice de plasticidad.

*Tabla 47: Tamaño de las partículas según el tipo de material, Fuente: Propia*

| TIPO DE MATERIAL                       | TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS        |
|--|---------------------------------|
| <b>Grava</b>                           | 75 mm – 4.75 mm                 |
| <b>Arena</b>                           | Arena Gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm |
|  | Arena Media: 2.00 mm – 0.425 mm |
|  | Arena Fina: 0.425 mm – 0.075 mm |
| <b>Limo</b>                            | 0.075 mm – 0.005 mm             |
| <b>Material Fino</b><br><b>Arcilla</b> | Menor a 0.005 mm                |

Como se observa en la tabla 47 las arcillas y limos tienen diámetros de partículas en tamaños bien pequeños lo cual al ser compactadas puede ayudar a mejorar la cohesión y producir un mejor acomodo de las partículas, sin embargo, se debe tener en cuenta que su contenido no debe ser alto debido a que son absorbentes y no obtienen altas resistencias.

Para la clasificación del suelo de la calicata 1 que corresponde al tramo desde el Km. 0 hasta el Km. 1, se obtiene que es una arena limosa que cuenta con un CBR de 10.6% lo cual es un suelo pobre que puede ser utilizado simplemente como material de subrasante con un rendimiento regular.



En cambio, para la calicata 2 del Km.1 hasta el Km. 2 su clasificación fue de un material de limos con baja plasticidad, esto comprueba que al ser un material limoso conlleva dentro de su composición y gradación partículas muy pequeñas o finas en su mayoría o mayor al 50%, por ello, obtiene un valor de CBR más bajo de 9% y un índice de grupo de 6 siendo clasificado como un material de sub-rasante pero de pobre calidad. Cabe mencionar que en este tramo se presentó el tipo de suelo con el valor de CBR más bajo.

La calicata 3 se realizó en el tramo de la carretera entre el Km. 2 y Km.3, el cual es clasificado como una grava arcillosa con limos. Es el material que presentó el mejor valor de CBR en un 13.4%, debido a que su gradación es variada y contiene tanto partículas de grava como finas, pero con valores tolerables. Asimismo, su índice de grupo es de 0 por lo tanto es apto para un material de sub-rasante con un rendimiento excelente.

Finalmente, la calicata 4 se realizó en el tramo de la carretera entre el Km.3 hasta el Km. 4, clasificándose como una grava arcillosa. Este suelo presentó un CBR de 12.1%, debido a ser un material de grava muy similar al material de la calicata 3, pero al contener partículas muy finas como arcillosas puede disminuir la capacidad de soporte. Sin embargo, se clasifica con un índice de grupo de 0 por lo que es un material muy bueno para sub-rasante.

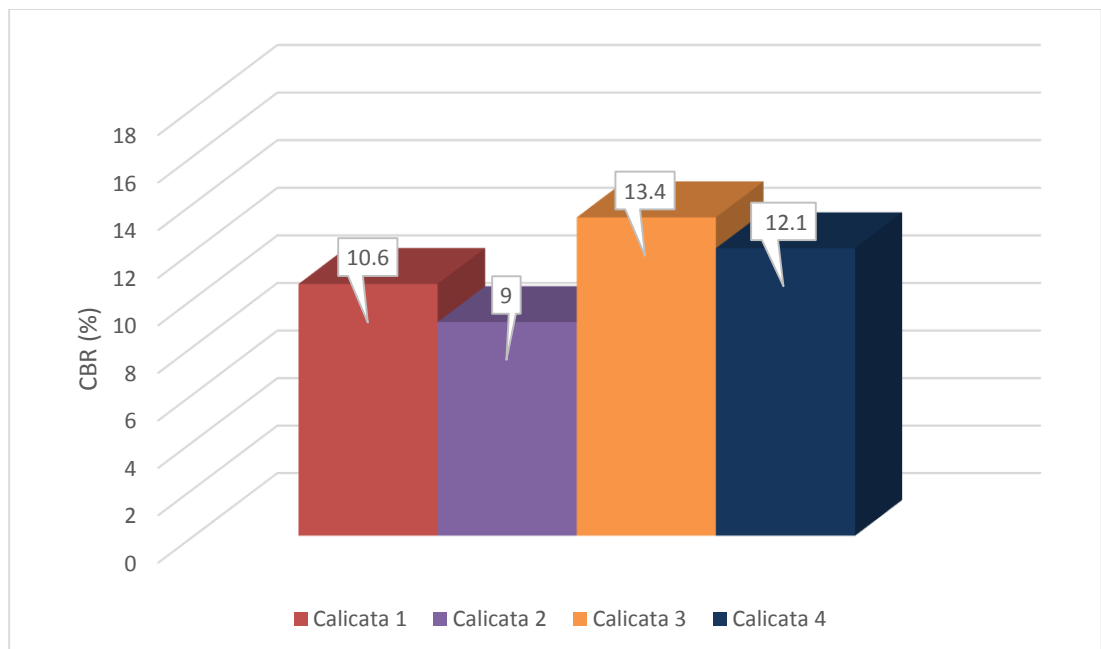


Figura 11: CBR de las calicatas, Fuente: Propia

En la figura 12 observamos los valores de CBR para las calicatas 1, 2, 3 y 4 desde el Kilómetro 0 hasta el Kilómetro 4. En donde se observa que el rango de variación del

suelo de la carretera El Pallar-Shalar desde el Kilómetro 0 hasta el 4 varía entre un valor de CBR del 9%-13.4%.

Tabla 48: Clasificación y uso del suelo según CBR. Fuente: (AssisA., 1998)

| CBR (%)   | Clasificación cualitativa del suelo | Uso          |
|-----------|-------------------------------------|--------------|
| 2 -- 5    | Muy mala                            | Sub -Rasante |
| 5 -- 8    | Mala                                | Sub -Rasante |
| 8 -- 20   | Regular - Buena                     | Sub -Rasante |
| 20 -- 30  | Excelente                           | Sub -Rasante |
| 30 -- 60  | Buena                               | Sub- Base    |
| 60 -- 80  | Buena                               | Base         |
| 80 -- 100 | Excelente                           | Base         |

Tabla 49: Clasificación de la sub-rasante según el índice de grupo

| Índice de Grupo     | Suelo de Subrasante |
|---------------------|---------------------|
| IG > 9              | Muy Pobre           |
| IG está entre 4 a 9 | Pobre               |
| IG está entre 2 a 4 | Regular             |
| IG está entre 1 – 2 | Bueno               |
| IG está entre 0 – 1 | Muy Bueno           |

En la tabla 48 observamos el uso del suelo y su desempeño según los valores de CBR, para los cual el suelo de la carretera El Pallar-Shalar corresponde al rango entre 8%-20%. Con ello se deduce que el material del suelo es apto para la utilización como sub rasante, teniendo un desempeño bueno en este uso.

Asimismo, en la tabla 49 se observa el desempeño del suelo según el índice de grupo para lo cual desde el tramo Kilómetro 2 hasta el 4 presenta un índice de 0 con lo cual tiene un desempeño muy bueno como material de sub-rasante. Además, para las calicatas 1 y 2 desde el tramo kilómetro 0 hasta el 2 tienen un desempeño bueno y regular

respectivamente. Demostrando que el suelo de la carretera El Pallar-Shalar es bueno para un uso de sub-rasante.

## 5.2. Ensayos del material de cantera

El análisis granulométrico es una de las propiedades más importantes en los agregados, porque nos permite observar los diferentes tamaños de las partículas que presenta la muestra, si todas las partículas presentan un mismo tamaño no se tendría un correcto acomodo entre granos, produciendo grandes cantidades de vacíos, lo cual afecta a las propiedades mecánicas según su aplicación.

El agregado extraído del material de la cantera El Pallar será utilizado como material de afirmado para la estabilización del suelo.

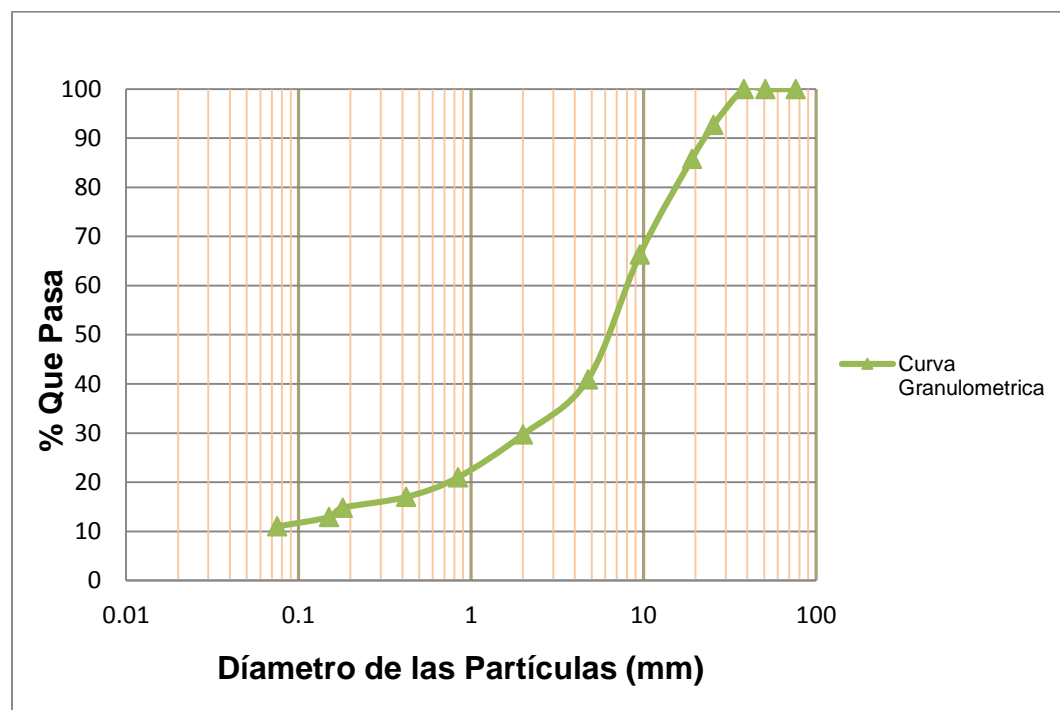


Figura 12: Curva granulométrica del material de cantera, Fuente: Propia

Como se observa en la figura 13 el material de cantera utilizado para material de afirmado tiene una correcta distribución en sus granos lo cual promoverá a un mejor acomodo entre el mismo material generando un incremento de las propiedades mecánicas del afirmado ya sea en su CBR como en su compresión confinada.

Asimismo, este mismo material será propuesto como material de afirmado y base granular para mejorar las propiedades de la carretera El Pallar-Shalar ya que al tener

una buena distribución será un material de excelentes condiciones, buena gradación y excelente resistencia.

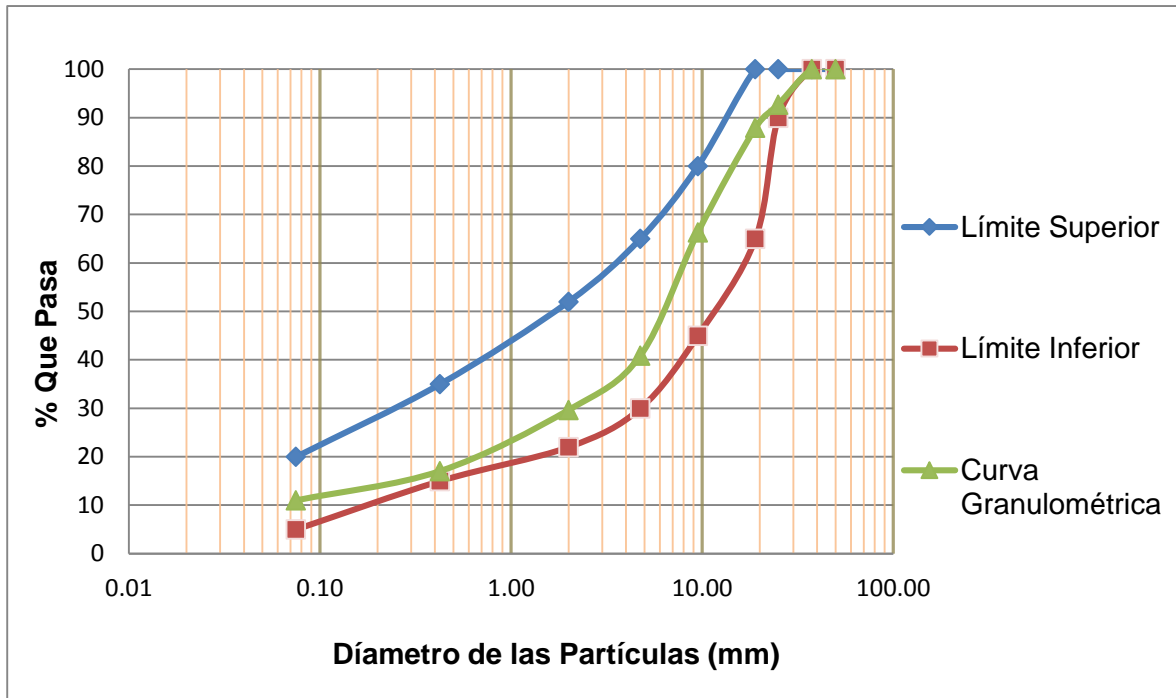


Figura 13: Granulometría del material como afirmado, Fuente Propia

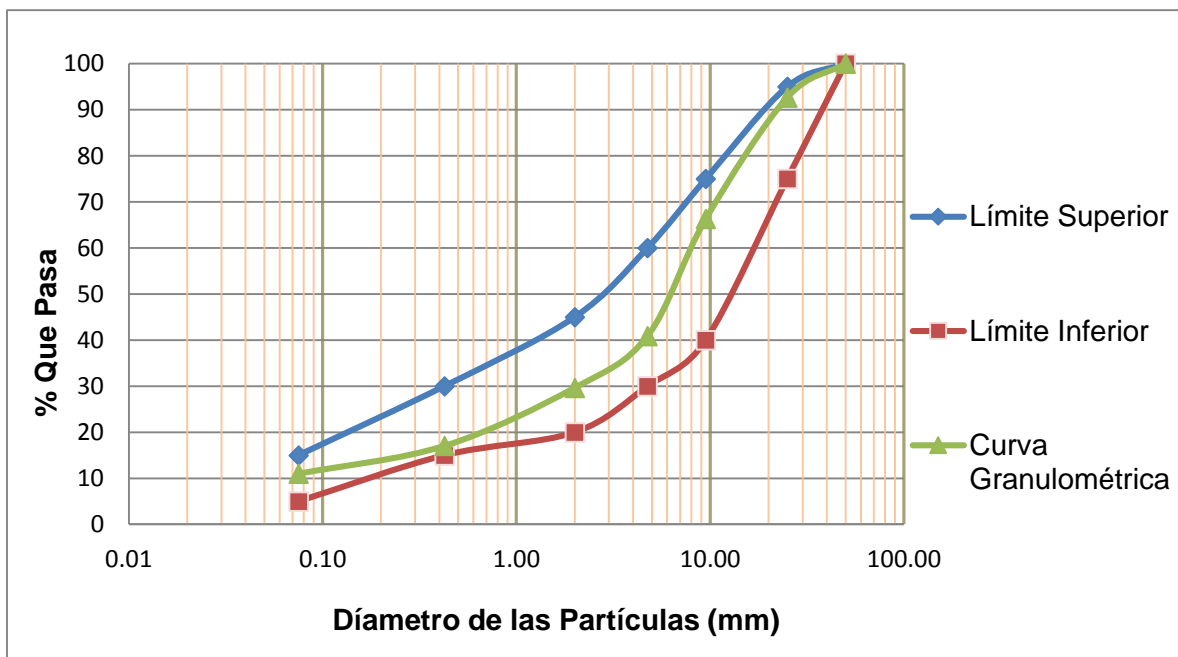


Figura 14: Granulometría del material como base de afirmado

En la figura 14 y 15 se observa la granulometría del material de cantera para la utilización de afirmado y base granular respectivamente en donde se consideró la gradación B debido a que la zona tiene una altitud menor a los 3,000.00 msnm.

Se puede utilizar de manera correcta ya que cumple con los requisitos mínimos según el ministerio de Transporte y comunicaciones para material de afirmado y para base granular cumple con todo menos con CBR por ende se tiene que realizar una mejora para poder cumplir como base granular y así este material sea apto para su utilización además que no se tendrá ninguna repercusión negativa en cuanto a capacidad de soporte o resistencia que presenten debido a su correcta distribución de sus granos.

El peso específico o gravedad específica es la propiedad que nos indica la calidad del agregado, mientras mayor es el peso específico se obtendrá un material con mejor comportamiento. El peso específico del material afirmado es de  $2.70 \text{ gr/cm}^3$  o  $2700 \text{ Kg/m}^3$ , dicho valor se encuentra en el rango que recomienda Rivera L. (2013), ya que el divide en tres rangos el peso específico, ligero menor a  $2.5 \text{ gr/cm}^3$ , normales de  $2.5 - 2.75 \text{ g/cm}^3$  y pesados mayor a  $2.75 \text{ g/cm}^3$ , con lo cual nuestros agregados se encuentran en un rango normal y con un valor elevado, lo cual es óptimo para la elaboración un material de afirmado, sabiendo que a mayor es el peso específico mejor es la calidad del material.

El peso unitario suelto y compactado también conocidos como masa unitaria nos permite tener una idea de su repercusión o influencia, ya sea el primero en el manejo del material y el segundo en el acomodo dentro de la compactación de un material afirmado.

El peso unitario suelto y compactado del agregado fino es de  $1680 \text{ Kg/m}^3$  y  $1850 \text{ Kg/m}^3$  consecutivamente, asimismo, para el agregado grueso el peso unitario suelto y compactado es de  $1350 \text{ Kg/m}^3$  y  $1480 \text{ Kg/m}^3$  respectivamente, los cuales se encuentran en los rangos que recomienda Fernanda Carrasco (2013), ya que divide en tres rangos el peso unitario; mayor a  $2000 \text{ kg/m}^3$  pesados,  $1000 - 2000 \text{ kg/m}^3$  normales, por último, menor a  $1000 \text{ kg/m}^3$  livianos. Por lo tanto, podemos decir que se encuentra en el rango de los normales, esto significa que el agregado se acomoda de tal manera que dentro del molde no dejará muchos vacíos de aire, debido a una buena distribución de sus partículas repercutiendo directamente en las propiedades mecánicas del afirmado.

Por otro lado, el porcentaje de finos para un afirmado no debe de ser de gran medida. La granulometría nos indica que el porcentaje que pasa la malla número 200 es del 11 % lo cual es un valor aceptable para la utilización de un material como base granular lo cual obtendrá buenos resultados según su granulometría.

Además, según la clasificación AASHTO corresponde a un material A-2-4 el cual es un suelo de fundación compuesto por grava con arcilla el cual tiene buenas características ya que es un suelo de fundación clasificado como bueno.

El CBR en una carretera es una de las propiedades más importantes, la cual mide la capacidad de soporte y la calidad del material según un porcentaje. Su medida se da a un 95% de la máxima densidad seca es por ello que puede variar su uso ya sea para base, sub-base, etc.

Tabla 50: Clasificación de suelos según CBR. Fuente: (Joseph Bowles, 2015)

| Valor de CBR | Clasificación general | Usos           |
|--------------|-----------------------|----------------|
| 0 --3        | Muy pobre             | Sub rasante    |
| 3 -- 7       | Pobre                 | Subrasante     |
| 7 -- 20      | Regular               | Sub base       |
| 20 -- 50     | Bueno                 | Sub base, Base |
| > 50         | Excelente             | Base           |

El CBR obtenido del material para afirmado y base granular obtuvo un valor del 34.2 % el cual según la tabla 48 es un material bueno para sub-base, mientras que según la tabla 3-11 también se clasifica como un material bueno que puede ser utilizado para base o sub base. Independientemente de la clasificación es un material el cual otorgará una mayor capacidad de soporte ya que el suelo actual de la carretera El Pallar-Shalar tiene un CBR promedio del 10% con lo cual es un material pobre o regular el cual solo puede ser utilizado como sub rasante. Por ello al utilizar el material de préstamo de la cantera.

El Pallar se mejora la capacidad de soporte aproximadamente 3 veces más logrando beneficiar la transitabilidad de la carretera.

### 5.3. Ensayos con emulsión asfáltica

#### 5.3.1. Proctor Modificado

Como sabemos la compactación es el proceso artificial en el cual se reduce un confinamiento de las partículas obteniendo una reducción de los vacíos entre granos.

Asimismo, se produce un mejoramiento considerable en las propiedades ingenieriles, tanto físicas como mecánicas influyendo en el peso específico, mayor resistencia, etc.

A la vez, con este ensayo se demuestra el mayor peso unitario que puede llegar a obtener una muestra de suelo según una humedad o cantidad de agua, el cual se

convierte en un condicionante en las obras que se requiera manejar suelos o en el uso de carreteras.

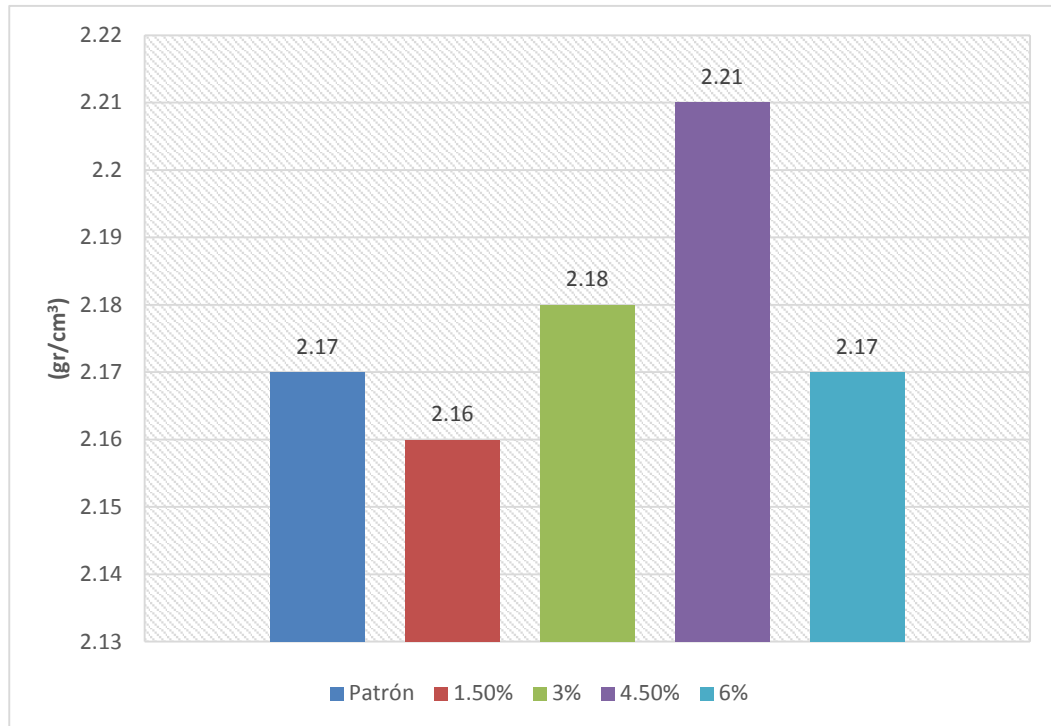


Figura 15: Compactación según el proctor modificado con emulsión asfáltica. Fuente: (Propia)

Como se observa en la Figura 16 al utilizar la emulsión asfáltica C<sub>ss</sub>-1h se incrementa el grado de compactación medido a través del peso unitario. El grado de compactación que mejor resultado obtiene es al utilizar un porcentaje del 4.5% de emulsión asfáltica, ya que llegó a obtener un valor de 2.21 gr/cm<sup>3</sup>, sin embargo, al agregar un mayor contenido de emulsión el grado de compactación se pierde y se reduce produciendo un efecto negativo. Esto quiere decir que al utilizar la emulsión C<sub>ss</sub>-1h a un material afirmado se produce una mayor cohesión y a la vez un incremento de la adherencia entre las partículas reduciendo aún más la cantidad de vacíos al momento de producir una compactación produciendo el aumento del peso unitario del suelo mejorando las propiedades físicas y principalmente las mecánicas las cuales ocasionan que sea un material de mejor calidad, siempre y cuando sea utilizado en su dosificación óptima.

Otro factor importante que se debe tener en cuenta es el contenido de humedad óptimo, obteniendo una mayor compactación con una menor cantidad de agua y utilizando un porcentaje de adición de emulsión C<sub>ss</sub>-1h del 4.5%, lo cual refiere que no es necesario una gran cantidad de agua para una mayor compactación, sino que, la emulsión por si sola agrega una mayor adherencia con una cantidad menor de agua para producir un incremento de gravedad específica, su compactación y su resistencia.

### 5.3.2. California Bearing Ratio (CBR)

La capacidad de soporte de un suelo es una propiedad principal la cual define la calidad y el uso del mismo. Esta propiedad va a ser influenciada ya sea por el tipo de suelo, el tamaño de las partículas, la variedad del suelo, su humedad y otros factores relacionados con su calidad.

El tipo de suelo y los granos que lo conforman son los que van a influenciar en la capacidad de soporte y el uso que se le otorgue al suelo. Este ensayo principalmente se utiliza para evaluar la calidad relativa del suelo y también para determinar su uso ya sea como sub-rasante, sub base influyendo bastante en el diseño de los pavimentos.

Otro punto de vista es que este ensayo mide la resistencia al corte bajo una condición de humedad óptima obteniendo una relación de soporte la cual se define como la fuerza requerida para obtener una penetración significativa en el suelo evaluado a una velocidad normal.

Un CBR alto indica que el suelo es netamente resistente y de buena calidad pudiéndose utilizar como material de base o en varias ocasiones para la estabilización de una trocha o carretera dañada. De la misma forma si se obtiene un CBR bajo indica que el material no es resistente y es de mala calidad con lo cual se tiene que evaluar para ver si se puede utilizar como material de sub-rasante la cual no tiene una función de soporte estructural.

Sin embargo, muchas veces no se encuentra un suelo de buena calidad, es por ello, que se requiere una estabilización, siendo las emulsiones asfálticas uno de los materiales más utilizados para brindar una solución o mejoras a suelos de baja calidad.

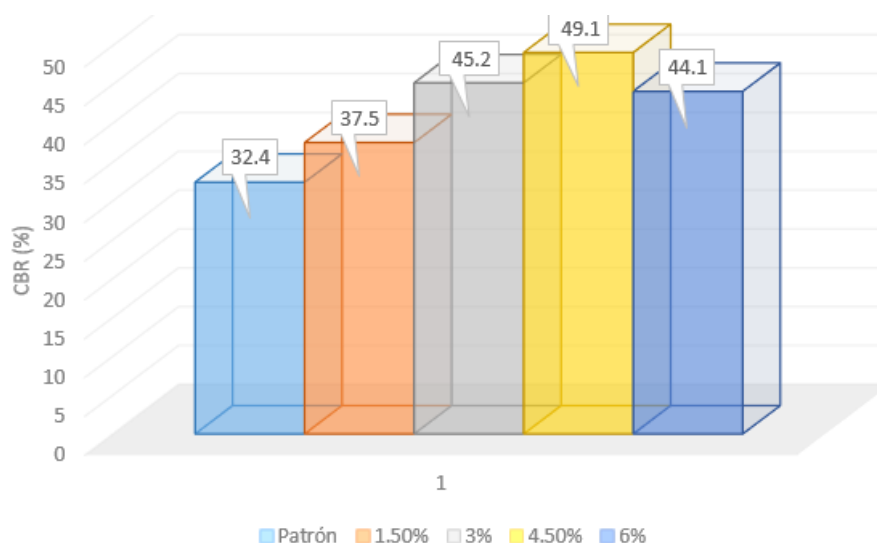


Figura 16: CBR con adición de emulsión asfáltica C<sub>ss</sub>-1h. Fuente: Propia



En la figura 17 se observa que al agregar el material afirmado de cantera el CBR fue incrementado hasta un 32.4%, obteniendo un buen material para sub-base la cual ya se clasifica como de buena calidad. Sin embargo, al adicionar emulsión asfáltica a distintos porcentajes se llega a aumentar aún más la capacidad de soporte.

Como sabemos la emulsión es un esparcimiento muy fino conformado o estabilizado por un líquido las cuales cuenta con partículas muy pequeñas entre 1 a 20 micras dependiendo de la emulsión, además, funciona como un ligante el cual produce una mayor adherencia entre las partículas o granos, ya que están unidos por emulsificantes que generan una unión entre sí.

Por ello al agregar emulsión C<sub>ss</sub>-1h al material afirmado se genera una adherencia entre los granos los cuales hasta cierto porcentaje tiene una repercusión muy positiva, además la emulsión disminuye la porosidad y al dar una mayor fuerza de adherencia esta incrementa la capacidad de soporte o por así decirlo su resistencia.

En la figura 18 se observa que al adicionar emulsión al 1.5% la capacidad de soporte incrementa hasta un 37.5% hasta llegar a una adición del 4.5% en donde encontramos la cantidad óptima con la cual los granos generan una mayor fuerza de adherencia entre sí, obteniendo un valor de 49.1% que es aproximadamente un 50%.

Con ello según la tabla 38 este material se clasifica como uno excelente el cual ya es apropiado para la utilización como base. Por otro lado, al incrementar la cantidad de emulsión mayor al 4.5% está ya no tiene una repercusión positiva debido a que al ser una mezcla casi líquida pierde estabilidad al ser adicionada en grandes cantidades lo cual ya no produce un incremento de la adherencia y disminución de la porosidad si no que provoca que la capacidad de soporte disminuya.

Finalmente se puede decir que para aplicar una emulsión asfáltica se debe tener en cuenta la calidad del material base y su composición, ya que a mayor diversidad de tamaños de granos se producirá un mejor acomodo entre ellos siendo potenciado aún más por la adición de una emulsión asfáltica. Siendo la dosificación del 4.5% la más adecuada para la emulsión C<sub>ss</sub>-1h.

### 5.3.3. Compresión No Confinada

La compresión es una de las propiedades más importantes en un suelo, ya que, mide la resistencia del suelo o capacidad portante la cual nos ayuda para diferentes cálculos ya sea el diseño de cimentaciones o zapatas, etc.

La compresión mientras alcanza valores más altos significa que tiene una mayor resistencia, por ende, alcanza una mayor estabilidad e influye mucho en el diseño de una vía.

La resistencia del suelo va a depender de muchos factores, entre ellos están el tamaño de los granos, su humedad, su cohesión, etc. Sin embargo, existen suelos en los cuales entre sus granos tienen bastante cohesión que no necesitan ser alterados por compactación debido a su alta cohesión entre sus partículas. Por ello al realizar la compresión inconfiada nos permite una rápida obtención de la resistencia del suelo aproximada.

Asimismo, para la elaboración de este ensayo se requiere de partículas o granos que tengan tamaños menores a 1/10 del diámetro de la probeta, es decir, aproximadamente 3 mm, ya que debemos tener en cuenta que a menor tamaños de partículas existirá un mejor acomodo entre los granos dejando menos espacios vacíos.

Otro factor importante a medir es la deformación, ya que podemos saber cuánto es capaz de deformarse o resistir un asentamiento el material en estado suelto sin confinamiento mientras soporta una carga, teniendo en cuenta que a mayor carga exigirá una mayor deformación, pero a la vez provocará alcanzar una resistencia máxima del suelo.

El suelo a medida que obtiene un mayor confinamiento incrementara su resistencia, por ello al utilizar una emulsión asfáltica brinda una mayor cohesión y adherencia entre sus partículas dando mayor estabilidad, mejor resistencia al corte y alcanzando una gran evolución de la resistencia.

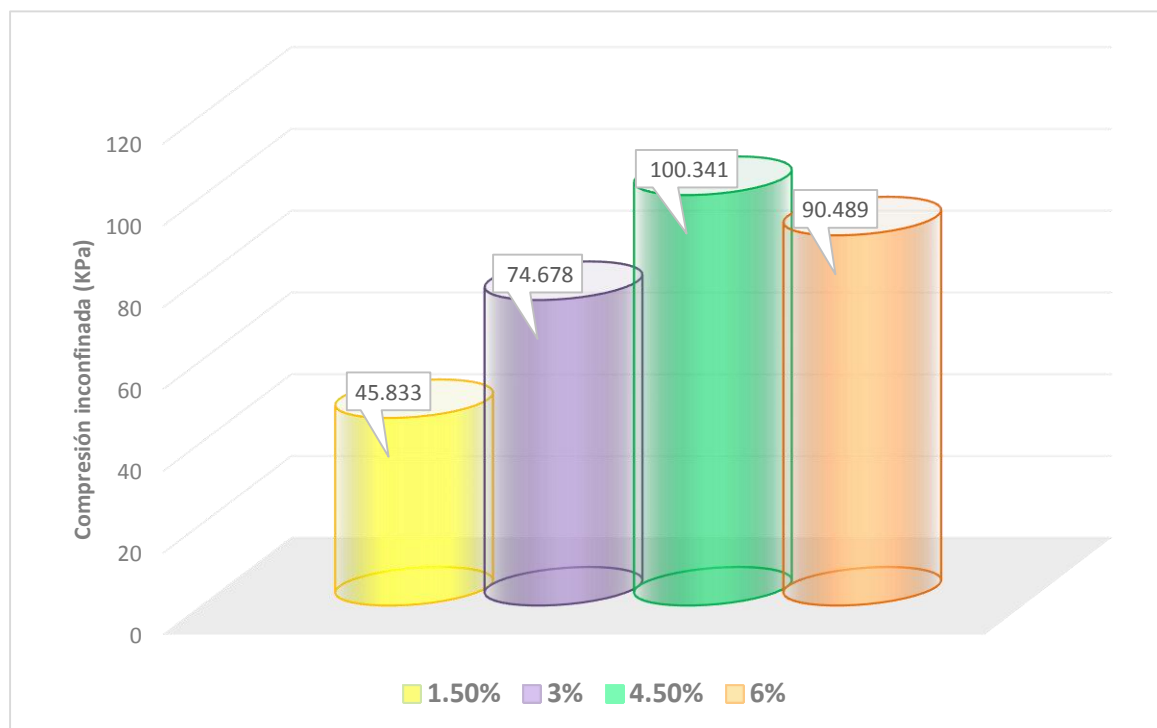


Figura 17: Compresión inconfiada con emulsión asfáltica. Fuente: Propia

En la figura 18 se muestra la evolución de la resistencia según las mejoras que se hicieron en el suelo de la carretera El Pallar-Shalar, que el material afirmado aporta al suelo mejores propiedades físicas y mecánicas además de una buena distribución en sus granos lo cual se corrobora con la curva granulométrica. Luego se pretende estabilizar este suelo mejorado con afirmado adicionando diversos porcentajes de emulsión asfáltica en donde hasta la dosificación del 4.5% se obtiene la más alta resistencia de aproximadamente 100KPa siendo incrementada de manera desmesurada debido al aporte de adherencia que brinda la emulsión a las partículas del afirmado, llegando a obtener una buena cohesión y altas resistencias. Sin embargo, al seguir adicionando más emulsión esta ya no tiene un efecto positivo y por el contrario pierde la adherencia que brinda en su porcentaje óptimo debido a que las partículas con un porcentaje del 4.5% ya se encuentran cubiertas por toda su superficie específica con la emulsión y al incrementar más emulsión pierden la adhesión que la une, concluyendo que la dosificación del 4.5% es la dosificación óptima para el diseño de la vía afirmada.

Asimismo, se requiere ver que tan buena es la calidad del material estabilizado con lo cual se observará las mejoras según la siguiente tabla.

*Tabla 51: Consistencia del suelo según su compresión. Fuente:(MTC,2016)*

| Consistencia del Suelo | Resistencia a la Compresión no Confinada |             |
|------------------------|--|-------------|
|                        | Kg/cm <sup>2</sup>                       | KPa         |
| Muy Blanda             | < 0.25                                   | (< 25)      |
| Blanda                 | 0.25 - 0.50                              | (25 - 50)   |
| Mediana                | 0.50 - 1.00                              | (50 - 100)  |
| Firme                  | 1.00 - 2.00                              | (100 - 200) |
| Muy Firme              | 2.00 - 4.00                              | (200 - 400) |
| Dura                   | > 4.00                                   | (> 400)     |

En la tabla 51 se observa la clasificación del suelo según su compresión no confinada en donde según el MTC el suelo del tramo El Pallar-Shalar en su estado natural tiene una consistencia muy blanda lo cual no es recomendable su uso, sin embargo, al mejorarlo con un material afirmado obtiene una resistencia de 34 KPa lo cual logra alcanzar una consistencia Blanda. Asimismo, al agregar la emulsión C55-1h al 3% alcanza una consistencia media con una resistencia de 74 KPa, conllevando que al agregar la emulsión al 4.5% supera los 100 KPa obteniendo una consistencia

firme la cual es muy adecuada para ser utilizada como un material de base siendo de una excelente calidad y brindando una seguridad en la vía.

Como se demuestra al estabilizar un suelo no solo con un material afirmado, sino que a la vez utilizando una emulsión asfáltica en conjunto se puede mejorar un suelo desde una consistencia muy blanda hasta obtener una firme llegando a repercutir en el diseño de la vía ya que no se necesitara un elevado espesor de vía por el simple hecho de ser un material mejorado, de buena calidad y con una excelente resistencia.

#### 5.4. Análisis y Evaluación Económica de la Estabilización con Emulsión Asfáltica

Se observa que el estabilizar una base cuesta S/. 7.89 más que solo colocar un afirmado. Este precio es compensado por el aumento de vida útil de la vía ya que se ha mejorado su estabilidad ante el agua. Que es la que más afecta a una vía a nivel de afirmado, reduciendo considerablemente su tiempo de vida útil.

*Tabla 52: Comparativo de Costos Unitarios*

| TIPO DE PAVIMENTO                       | UNIDAD         | PRECIO UNITARIO S/. |
|---|----------------|---------------------|
| BASE DE AFIRMADO<br>E=0,25              | M <sup>3</sup> | S/.51.48            |
| BASE DE AFIRMADO<br>ESTABILIZADA E=0,15 | M <sup>3</sup> | S/.59.38            |

#### 5.5. Análisis estadístico

##### 5.5.1. Prueba de normalidad

La prueba de normalidad se hizo mediante el test Shapiro – Wilk. Se establecieron una hipótesis nula y una alternativa. En los resultados de la Tabla 44, se obtuvo valores de significancia superiores a 0.05 para todas las dosificaciones, por lo cual, se acepta la hipótesis nula; es decir, se concluye que los datos provienen de una distribución normal, por lo que se puede realizar el análisis de varianza.

### **5.5.2. Análisis de varianza**

Se establecieron las hipótesis nula y alternativa, donde la nula indica que las medias poblacionales son iguales, es decir que la aplicación de emulsión asfáltica en el material afirmado no influye en su estabilización; mientras que la alternativa nos indica que al menos dos medias poblacionales son distintas.

En la Tabla 45 se resumen los resultados obtenidos, y se aprecia que se obtuvo una significancia de 0.005, menor a 0.05; por lo cual se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que la emulsión asfáltica sí tiene influencia en la estabilización de suelos afirmados.

### **5.5.3. Prueba de Tukey**

Con la prueba de Tukey se determinará en qué niveles de dosificación se encuentran las diferencias significativas que se obtuvieron en el ANOVA.

En la Tabla 46, se aprecia que se obtuvieron significancias menores a 0.05 en todas las combinaciones de dosificaciones. Es decir, cada dosificación posee una diferencia significativa con las demás dosificaciones.

## CONCLUSIONES

- Finalizada la realización de ensayos para determinar la influencia de estabilizar suelos con 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de emulsión asfáltica C<sub>ss</sub>-1h, se concluyó que este estabilizante mejoró todas las propiedades del suelo en estado natural, ya que incrementó su capacidad de soporte y su resistencia a la compresión no confinada. Con la dosificación óptima de 4.5% de emulsión, el CBR aumentó de 32.4% a 49.1%.

En el caso del ensayo de compresión no confinado, con la misma dosificación se obtuvieron valores superiores a 100 KPa, lo que indica que se obtuvo una consistencia de suelo firme, adecuado para ser utilizado como material de base de una vía.
- Se realizaron las calicatas correspondientes para identificar las propiedades del suelo en estado natural del tramo El Pallar – Shalar. Se realizaron 4 calicatas para un adecuado y correcto cálculo de las propiedades del suelo del tramo El Pallar-Shalar con tramos de 1 calicata por cada Kilómetro de carretera. De ello, se obtuvo una humedad que oscila entre 5.12% a 6.97% a 1.50 m de profundidad, una densidad seca máxima entre 1.88 a 2.13 g/cm<sup>3</sup>, y una humedad óptima entre 7.60% a 10.20%.
- Se realizaron los ensayos de caracterización del agregado utilizado para el afirmado de la cantera El Pallar, demostrando que tiene una correcta distribución granulométrica y buenas propiedades físicas como mecánicas para una buena estabilización del suelo. De los ensayos de caracterización de suelo, se obtuvo que el suelo que conforma la carretera El Pallar – Shalar está conformado por arena limosa, limo de baja plasticidad, grava arcillosa con limo, y grava arcillosa. En el caso del material de cantera, se obtuvo una grava mal graduada con arcilla.
- Se verificó que al utilizar el material de afirmado de la cantera El Pallar el suelo mejora sus propiedades mejorando su calidad en más del 50% con la dosificación adecuada, siendo corroborado en los ensayos de CBR y compresión no confinada. Del ensayo CBR, se obtuvo una capacidad de soporte del 32.40% para el suelo sin aditivos, del 37.5% con la adición de 1.5%, del 45.2% con la adición de 3%, del 49.1% con la adición de 4.5%, y del 44.1% con la adición de 6%. En el caso del ensayo de compresión no confinada se obtuvo que con 1.5% de emulsión asfáltica, se alcanza una resistencia de 45.833 KPa, con 3% una resistencia de 74.678 KPa, con 4.5% una resistencia de 100.341 KPa, y con 6% una resistencia de 90.489 KPa.
- Se determinó que la dosificación adecuada de emulsión asfáltica C<sub>ss</sub>-1h es del 4.5%, con la cual se obtuvieron los mejores resultados para la evaluación de las propiedades mecánicas del suelo estabilizado con afirmado y emulsión.

- A través de los ensayos de CBR y compresión no confinada, se compararon los resultados obtenidos para los diferentes porcentajes de adición de emulsión asfáltica que se estudiaron en la presente investigación. En el caso del ensayo CBR, con la adición de 1.5%, se obtuvo un incremento del 15.7%; con la adición de 3.0%, un incremento de 39.5%; con la adición de 4.5%, un incremento de 54.5%; y con la adición de 6.0%, un incremento de 36.1%. En el caso del ensayo de compresión no confinada, con la adición de 1.5% de emulsión asfáltica, se obtiene una consistencia blanda del suelo; con la adición de 3.0% y 6.0%, se obtiene una consistencia mediana; y con 4.5%, se obtiene una consistencia firme, lo cual es adecuado para el uso como base de una vía.
- Se comparó los resultados de los ensayos de CBR y compresión no confinada de una muestra estabilizada con afirmado y otra añadiendo un emulsificante, siendo la emulsión una pieza clave en cuanto a las mejoras de las propiedades de un suelo, tanto en la resistencia de la capacidad de soporte y consistencia del suelo.

## RECOMENDACIONES

- ♦ Se recomienda a las empresas constructoras encargadas de ejecutar el mejoramiento de este tramo, realizar un estudio de otras canteras cercanas a la zona y ver si tienen una mejor calidad de un afirmado.
- ♦ Efectuar los ensayos sobre la emulsión asfáltica y ver sus distintas propiedades que presenta.
- ♦ Para futuras investigaciones, se recomienda estudiar otras emulsiones asfálticas de diferentes empresas y comparar con los resultados obtenidos verificando que emulsión presenta mejores resultados.
- ♦ En caso de realizar el mejoramiento de esta vía con los planteamientos de esta tesis, se recomienda a la empresa encargada de su ejecución, utilizar la emulsión CSS-1h al 4.5%, ya que es la que mejores resultados presentó.
- ♦ Para futuras líneas de investigación, se recomienda complementar el estudio en cuanto a los porcentajes de adición de emulsión, ya sea al 5% o 5.5% basados en los resultados obtenidos en esta investigación.
- ♦ Investigar otros métodos de estabilización de suelos y comparar con el uso de una emulsión asfáltica.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Federal Highway Administration. (2006). Geotechnical Aspects of Pavements. *Bridges & Structures*.
- Choque Sánchez, H. M. (2012). *Evaluación de Aditivos Químicos en la Eficiencia de la Conservación de Superficies de Rodadura en Carreteras no Pavimentadas*. Lima - Perú.
- Chugay, M. D. (2018). *Municipalidad Distrital de Chugay*. Obtenido de <http://www.munichugay.gob.pe/>
- De La Cruz Salcedo, D. R. (2010). *Diseño y evaluación de un afirmado estabilizado con emulsión asfáltica, aplicación-carretera Cañete - Chupaca*. Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Programa Cybertesis PERÚ.
- Gutiérrez Montes, C. A. (2010). *Gutiérrez MonEstabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del Cloruro de Magnesio (Bischofita) frente al Cloruro de Calcio*. Lima - Perú.
- Jarrín, I. (2012). *Conceptos básicos de Estadística I*. Madrid: Escuela Nacional del Sanidad.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (18 de Febrero de 2013). Obtenido de [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4515.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf)
- Norma CE.020 - Suelos y Taludes. (2012). Obtenido de [http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/titulo\\_ii\\_habilitaciones%20urbanas/ii.2%20componentes%20estructurales/ce.020%20suelos%20y%20taludes%20ds%20n%c2%b0%20017-2012.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/titulo_ii_habilitaciones%20urbanas/ii.2%20componentes%20estructurales/ce.020%20suelos%20y%20taludes%20ds%20n%c2%b0%20017-2012.pdf)
- Pérez Collantes, R. d. (2012). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*. Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rodríguez, D., & Valldeoriola, J. (s.f.). *Metodología de la investigación*. Cataluña: Universidad Oberta de Catalunya. Obtenido de <http://myuvmcollege.com/uploads/lectura2011-09/Metodolog%C3%ADa%20de%20investigaci%C3%B3n-2064.pdf>
- Rolando Franco, F. E. (2012). *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y emulsión*. Pieru - Perú.
- Rosero Alvarado, F. D. (2013). *Bases estabilizadas con emulsión asfáltica para pavimentos (aplicación calle nogales parroquia nayòn l= 1.0 km)*. Quito: Quito: UCE.
- Sarmiento Otálora, M. A. (2012). *Estudio del Comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada con emulsión*. Bogotá - Colombia.
- Villa Chaman, V. M. (2007). *Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas: aplicación: colegio FAP Manuel Polo Jiménez*. Lima - Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

## APÉNDICE

### APÉNDICE N° 1: Perfiles estratigráficos

Tabla 53: Perfil Estratigráfico Calicata N° 1 Fuente: (Propia)

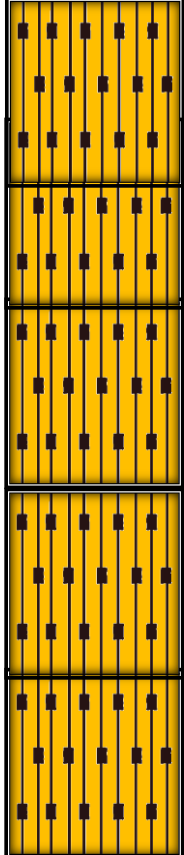
| LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS |   |                 |  |                    |                      |   |
|-----------------------------------|---|-----------------|--|--------------------|----------------------|---|
| <b>TESIS:</b>                     | INFLUENCIA DE LA ESTABILIZACIÓN CON 1.5%, 3%, 4.5% Y 6% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES DE UN MATERIAL AFIRMADO PARA EL DISEÑO DE LA VÍA EL PALLAR – SHALAR, LA LIBERTAD, 2018 |                 |  |                    |                      |   |
| <b>TESISTAS:</b>                  | CUBAS GUZMAN, Víctor Alonso<br>QUIROZ MONTENEGRO, Álvaro Jair   |                 |  |                    |                      |   |
| <b>CALICATA:</b>                  | N° 1  | <b>MUESTRA:</b> |  |                    | E-1                  |   |
| <b>UBICACIÓN:</b>                 | <b>DEPARTAMENTO</b>   | LA LIBERTAD     | <b>PROVINCIA</b>   | SÁNCHEZ CARRIÓN    |                      |   |
| <b>FECHA:</b>                     | OCTUBRE   | 2017            | <b>DISTRITO</b>  | CHUGAY             |                      |   |
| PERFIL ESTRATIGRAFICO             |   |                 |  |                    |                      |   |
| Prof. Mts                         | Tipo de Excavación  | Muestra         | Descripción del Material   | Clasificación SUCS | Clasificación AASHTO | Símbolo   |
| 0,10                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 0,20                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 0,30                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 0,40                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 0,50                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 0,60                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 0,70                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 0,80                              | CALICATA N° 1   | E-1             | ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS ARENA Y LIMO, COLOR MARRON OSCURO; MATERIAL QUE PASA EL 37,70 % EN LA MALLA N° 200 | SM                 | A-6(1)               |   |
| 0,90                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 1,00                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 1,10                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 1,20                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 1,30                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 1,40                              |   |                 |  |                    |                      |   |
| 1,50                              |   |                 |  |                    |                      |   |

Tabla 47: Perfil Estratigráfico Calicata N° 2 Fuente: (Propia)

| LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS |   |                |   |                    |                      |         |
|-----------------------------------|---|----------------|---|--------------------|----------------------|---------|
| <b>TESIS:</b>                     | INFLUENCIA DE LA ESTABILIZACIÓN CON 1.5%, 3%, 4.5% Y 6% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES DE UN MATERIAL AFIRMADO PARA EL DISEÑO DE LA VÍA EL PALLAR – SHALAR, LA LIBERTAD, 2018 |                |   |                    |                      |         |
| <b>TESISTAS:</b>                  | CUBAS GUZMAN, Víctor Alonso<br>QUIROZ MONTENEGRO, Álvaro Jair   |                |   |                    |                      |         |
| <b>CALICATA:</b>                  | N° 2  | <b>MUESTRA</b> |   |                    |                      | E-2     |
| <b>UBICACIÓN:</b>                 | <b>DEPARTAMENTO</b>   | LA LIBERTAD    | <b>PROVINCIA</b>  | SÁNCHEZ CARRIÓN    |                      |         |
| <b>FECHA:</b>                     | OCTUBRE   | 2017           | <b>DISTRITO</b>   | CHUGAY             |                      |         |
| PERFIL ESTRATIGRAFICO             |   |                |   |                    |                      |         |
| Prof. Mts                         | Tipo de Excavación  | Muestra        | Descripción del Material  | Clasificación SUCS | Clasificación AASHTO | Símbolo |
| 0,10                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 0,20                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 0,30                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 0,40                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 0,50                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 0,60                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 0,70                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 0,80                              | CALICATA N° 2   | E-2            | LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD, COLOR MARRON OSCURO; MATERIAL QUE PASA EL 51.00 % EN LA MALLA N° 200 | ML                 | A-7-5(6)             |         |
| 0,90                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 1,00                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 1,10                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 1,20                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 1,30                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 1,40                              |   |                |   |                    |                      |         |
| 1,50                              |   |                |   |                    |                      |         |

Tabla 48: Perfil Estratigráfico Calicata N° 3 Fuente: (Propia)

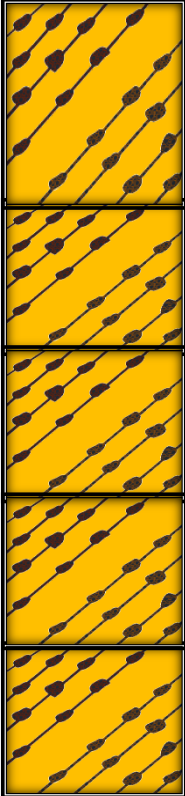
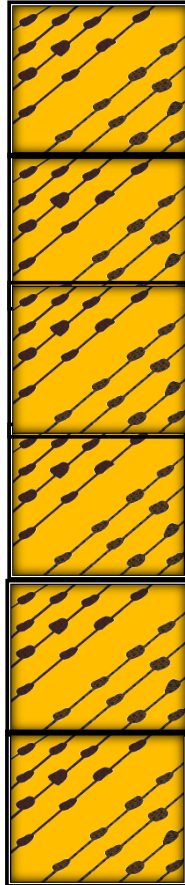
| LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS |   |                 |   |                    |                      |  |
|-----------------------------------|---|-----------------|---|--------------------|----------------------|--|
| <b>TESIS:</b>                     | INFLUENCIA DE LA ESTABILIZACIÓN CON 1.5%, 3%, 4.5% Y 6% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES DE UN MATERIAL AFIRMADO PARA EL DISEÑO DE LA VÍA EL PALLAR – SHALAR, LA LIBERTAD, 2018 |                 |   |                    |                      |  |
| <b>TESISTAS:</b>                  | CUBAS GUZMAN, Víctor Alonso<br>QUIROZ MONTENEGRO, Alvaro Jair   |                 |   |                    |                      |  |
| <b>CALICATA:</b>                  | N° 3  | <b>MUESTRA:</b> |   |                    | E-3                  |  |
| <b>UBICACIÓN:</b>                 | <b>DEPARTAMENTO</b>   | LA LIBERTAD     | <b>PROVINCIA</b>  |                    | SÁNCHEZ CARRIÓN      |  |
| <b>FECHA:</b>                     | OCTUBRE   | 2017            | <b>DISTRITO</b>   |                    | CHUGAY               |  |
| PERFIL ESTRATIGRAFICO             |   |                 |   |                    |                      |  |
| Prof. Mts                         | Tipo de Excavación  | Muestra         | Descripción del Material  | Clasificación SUCS | Clasificación AASHTO | Símbolo  |
| 0,10                              | CALICATA N° 3   | E-3             | GRAVA ARCILLOSA CON LIMO, COLOR MARRON CLARO; MATERIAL QUE PASA EL 21.80 % EN LA MALLA N° 200 | GC-GM              | A-2-4(0)             |  |
| 0,20                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 0,30                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 0,40                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 0,50                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 0,60                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 0,70                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 0,80                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 0,90                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 1,00                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 1,10                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 1,20                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 1,30                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 1,40                              |   |                 |   |                    |                      |  |
| 1,50                              |   |                 |   |                    |                      |  |

Tabla 49: Perfil Estratigráfico Calicata N° 4 Fuente: (Propia)

| LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS |   |                 |  |                    |                      |  |
|-----------------------------------|---|-----------------|--|--------------------|----------------------|--|
| <b>TESIS:</b>                     | INFLUENCIA DE LA ESTABILIZACIÓN CON 1.5%, 3%, 4.5% Y 6% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS PROPIEDADES DE UN MATERIAL AFIRMADO PARA EL DISEÑO DE LA VÍA EL PALLAR – SHALAR, LA LIBERTAD, 2018 |                 |  |                    |                      |  |
| <b>TESISTAS:</b>                  | CUBAS GUZMAN, Victor Alonso<br>QUIROZ MONTENEGRO, Alvaro Jair   |                 |  |                    |                      |  |
| <b>CALICATA:</b>                  | N° 4  | <b>MUESTRA:</b> |  | E-4                |                      |  |
| <b>UBICACIÓN:</b>                 | <b>DEPARTAMENTO</b>   | LIBERTAD        | <b>PROVINCIA</b>   | SÁNCHEZ CARRIÓN    |                      |  |
| <b>FECHA:</b>                     | OCTUBRE   | 2017            | <b>DISTRITO</b>  | CHUGAY             |                      |  |
| PERFIL ESTRATIGRAFICO             |   |                 |  |                    |                      |  |
| Prof. Mts                         | Tipo de Excavación  | Muestra         | Descripción del Material   | Clasificación SUCS | Clasificación AASHTO | Símbolo  |
| 0,10                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 0,20                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 0,30                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 0,40                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 0,50                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 0,60                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 0,70                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 0,80                              | CALICATA N° 4   | E-4             | GRAVA ARCILLOSA, COLOR MARRON CLARO; MATERIAL QUE PASA EL 15.80 % EN LA MALLA N° 200 | GC                 | A-2-6(0)             |  |
| 0,90                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 1,00                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 1,10                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 1,20                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 1,30                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 1,40                              |   |                 |  |                    |                      |  |
| 1,50                              |   |                 |  |                    |                      |  |

## APÉNDICE Nº 2: Resultados de Caracterización del Material

### APÉNDICE Nº 2.1: Resultados Caracterización de las Calicatas

#### ➤ Análisis Granulométrico ASTM D422 / NTP 339.160 / MTC E108

Tabla 54: Granulometría de Suelo del Material de Calicata N°1 Fuente: (Propia)

| Malla    | Tamiz<br>Abert.(mm) | Serie | Peso<br>Retenido<br>(g) | Porcentaje<br>Retenido<br>Parcial (%) | Porcentaje<br>Retenido<br>Acumulado (%) | Porcentaje que<br>Pasa (%) |
|----------|---------------------|-------|-------------------------|---------------------------------------|---|----------------------------|
| 3"       | 76,200              | 32854 | 0,0                     | 0,0                                   | 0,0                                     | 100,0                      |
| 2"       | 50,800              | 33708 | 0,0                     | 0,0                                   | 0,0                                     | 100,0                      |
| 1 1/2"   | 38,100              | 42260 | 0,0                     | 0,0                                   | 0,0                                     | 100,0                      |
| 1"       | 25,400              | 42774 | 679,0                   | 2,0                                   | 2,0                                     | 98,0                       |
| 3/4"     | 19,050              | 46118 | 190,0                   | 0,6                                   | 2,5                                     | 97,5                       |
| 3/8"     | 9,500               | 42967 | 390,0                   | 1,1                                   | 3,7                                     | 96,3                       |
| Nº 4     | 4,750               | 34993 | 580,4                   | 1,7                                   | 5,4                                     | 94,6                       |
| Nº 10    | 2,000               | 45806 | 2130,6                  | 6,2                                   | 11,6                                    | 88,4                       |
| Nº 20    | 0,840               | 45149 | 4404,9                  | 12,9                                  | 24,4                                    | 75,6                       |
| Nº 40    | 0,420               | 43661 | 5256,4                  | 15,3                                  | 39,8                                    | 60,2                       |
| Nº 80    | 0,180               | 34874 | 1452,5                  | 4,2                                   | 44,0                                    | 56,0                       |
| Nº 100   | 0,150               | 34875 | 3689,2                  | 10,8                                  | 54,8                                    | 45,2                       |
| Nº 200   | 0,075               | 44659 | 2583,6                  | 7,5                                   | 62,3                                    | 37,7                       |
| < Nº 200 |                     |       | 12921,4                 | 37,7                                  | 100,0                                   | 0,0                        |

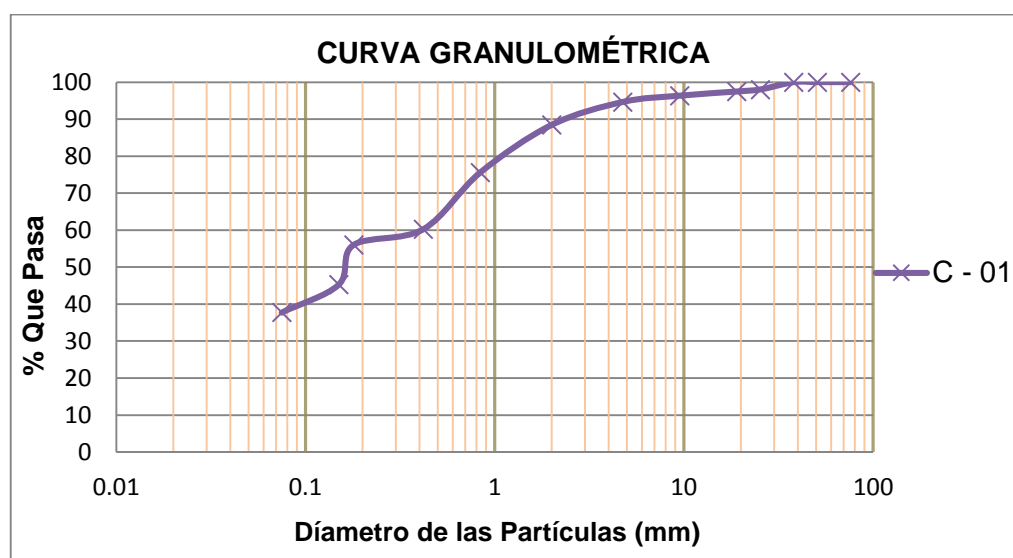


Figura 18: Curva Granulométrica de la Calicata N°1 Fuente: (Propia)

Tabla 55: Granulometría de Suelo del Material de Calicata N°2 Fuente: (Propia)

| Malla    | Tamiz<br>Abert.(mm) | Serie | Peso<br>Retenido<br>(g) | Porcentaje<br>Retenido<br>Parcial (%) | Porcentaje<br>Retenido<br>Acumulado<br>(%) | Porcentaje que<br>Pasa (%) |
|----------|---------------------|-------|-------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|
| 3"       | 76,200              | 32854 | 0,0                     | 0,0                                   | 0,0  | 100,0                      |
| 2"       | 50,800              | 33708 | 0,0                     | 0,0                                   | 0,0  | 100,0                      |
| 1 1/2"   | 38,100              | 42260 | 419,0                   | 1,1                                   | 1,1  | 98,9                       |
| 1"       | 25,400              | 42774 | 478,0                   | 1,2                                   | 2,3  | 97,7                       |
| 3/4"     | 19,050              | 46118 | 413,0                   | 1,0                                   | 3,3  | 96,7                       |
| 3/8"     | 9,500               | 42967 | 868,0                   | 2,2                                   | 5,5  | 94,5                       |
| N° 4     | 4,750               | 34993 | 873,9                   | 2,2                                   | 7,7  | 92,3                       |
| N° 10    | 2,000               | 45806 | 2511,9                  | 6,3                                   | 14,0                                       | 86,0                       |
| N° 20    | 0,840               | 45149 | 4179,3                  | 10,5                                  | 24,5                                       | 75,5                       |
| N° 40    | 0,420               | 43661 | 3897,7                  | 9,8                                   | 34,3                                       | 65,7                       |
| N° 80    | 0,180               | 34874 | 1652,5                  | 4,2                                   | 38,5                                       | 61,5                       |
| N° 100   | 0,150               | 34875 | 1845,5                  | 4,6                                   | 43,2                                       | 56,8                       |
| N° 200   | 0,075               | 44659 | 2319,4                  | 5,8                                   | 49,0                                       | 51,0                       |
| < N° 200 |                     |       | 20258,9                 | 51,0                                  | 100,0                                      | 0,0                        |

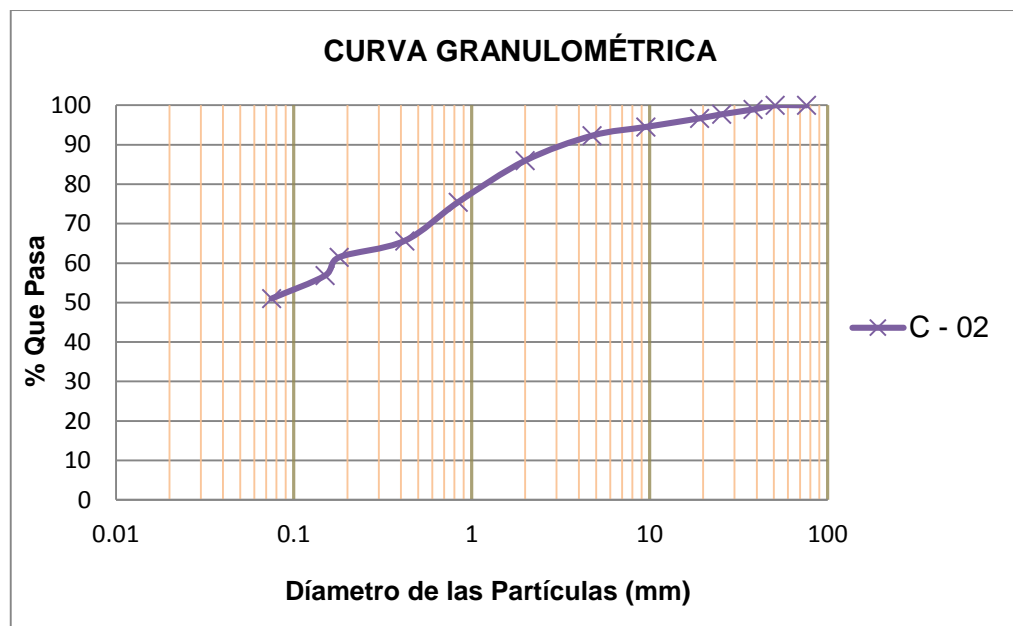


Figura 19: Curva Granulométrica de la Calicata N°2 Fuente: (Propia)

Tabla 56: Granulometría de Suelo del Material de Calicata N°3 Fuente: (Propia)

| Malla    | Tamiz<br>Abert.(mm) | Serie | Peso<br>Retenido<br>(g) | Porcentaje<br>Retenido<br>Parcial (%) | Porcentaje<br>Retenido<br>Acumulado (%) | Porcentaje que<br>Pasa (%) |
|----------|---------------------|-------|-------------------------|---------------------------------------|---|----------------------------|
| 3"       | 76,200              | 32854 | 0,0                     | 0,0                                   | 0,0                                     | 100,0                      |
| 2"       | 50,800              | 33708 | 0,0                     | 0,0                                   | 0,0                                     | 100,0                      |
| 1 1/2"   | 38,100              | 42260 | 2130,0                  | 4,7                                   | 4,7                                     | 95,3                       |
| 1"       | 25,400              | 42774 | 3192,0                  | 7,0                                   | 11,7                                    | 88,3                       |
| 3/4"     | 19,050              | 46118 | 2048,0                  | 4,5                                   | 16,2                                    | 83,8                       |
| 3/8"     | 9,500               | 42967 | 5382,0                  | 11,8                                  | 28,0                                    | 72,0                       |
| Nº 4     | 4,750               | 34993 | 5489,1                  | 12,1                                  | 40,1                                    | 59,9                       |
| Nº 10    | 2,000               | 45806 | 4708,7                  | 10,3                                  | 50,4                                    | 49,6                       |
| Nº 20    | 0,840               | 45149 | 4420,9                  | 9,7                                   | 60,2                                    | 39,8                       |
| Nº 40    | 0,420               | 43661 | 3290,5                  | 7,2                                   | 67,4                                    | 32,6                       |
| Nº 80    | 0,180               | 34874 | 1741,2                  | 3,8                                   | 71,2                                    | 28,8                       |
| Nº 100   | 0,150               | 34875 | 1983,5                  | 4,4                                   | 75,6                                    | 24,4                       |
| Nº 200   | 0,075               | 44659 | 1203,8                  | 2,6                                   | 78,2                                    | 21,8                       |
| < Nº 200 |                     |       | 9913,3                  | 21,8                                  | 100,0                                   | 0,0                        |

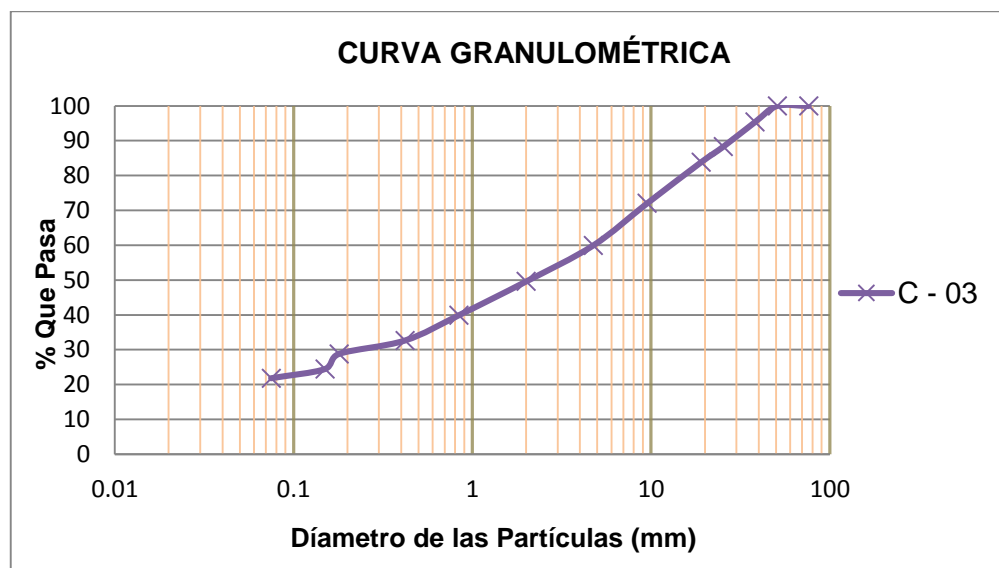


Figura 20: Curva Granulométrica de Suelo - Calicata N°3 Fuente: (Propia)



Tabla 57: Granulometría de Suelo del Material de Calicata N°4 Fuente: (Propia)

| Malla    | Tamiz Abert.(m m) | Serie | Peso Retenido (g) | Porcentaje Retenido Parcial (%) | Porcentaje Retenido Acumulado (%) | Porcentaje que Pasa (%) |
|----------|-------------------|-------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 3"       | 76,200            | 32854 | 0,0               | 0,0                             | 0,0                               | 100,0                   |
| 2"       | 50,800            | 33708 | 4740,0            | 9,1                             | 9,1                               | 90,9                    |
| 1 1/2"   | 38,100            | 42260 | 5962,0            | 11,5                            | 20,6                              | 79,4                    |
| 1"       | 25,400            | 42774 | 3196,0            | 6,1                             | 26,7                              | 73,3                    |
| 3/4"     | 19,050            | 46118 | 2492,0            | 4,8                             | 31,5                              | 68,5                    |
| 3/8"     | 9,500             | 42967 | 5662,0            | 10,9                            | 42,4                              | 57,6                    |
| N° 4     | 4,750             | 34993 | 4829,3            | 9,3                             | 51,7                              | 48,3                    |
| N° 10    | 2,000             | 45806 | 5690,9            | 10,9                            | 62,6                              | 37,4                    |
| N° 20    | 0,840             | 45149 | 4706,1            | 9,1                             | 71,7                              | 28,3                    |
| N° 40    | 0,420             | 43661 | 3297,7            | 6,3                             | 78,0                              | 22,0                    |
| N° 80    | 0,180             | 34874 | 1012,2            | 1,9                             | 80,0                              | 20,0                    |
| N° 100   | 0,150             | 34875 | 1288,4            | 2,5                             | 82,5                              | 17,5                    |
| N° 200   | 0,075             | 44659 | 880,4             | 1,7                             | 84,2                              | 15,8                    |
| < N° 200 |                   |       | 8238,0            | 15,8                            | 100,0                             | 0,0                     |

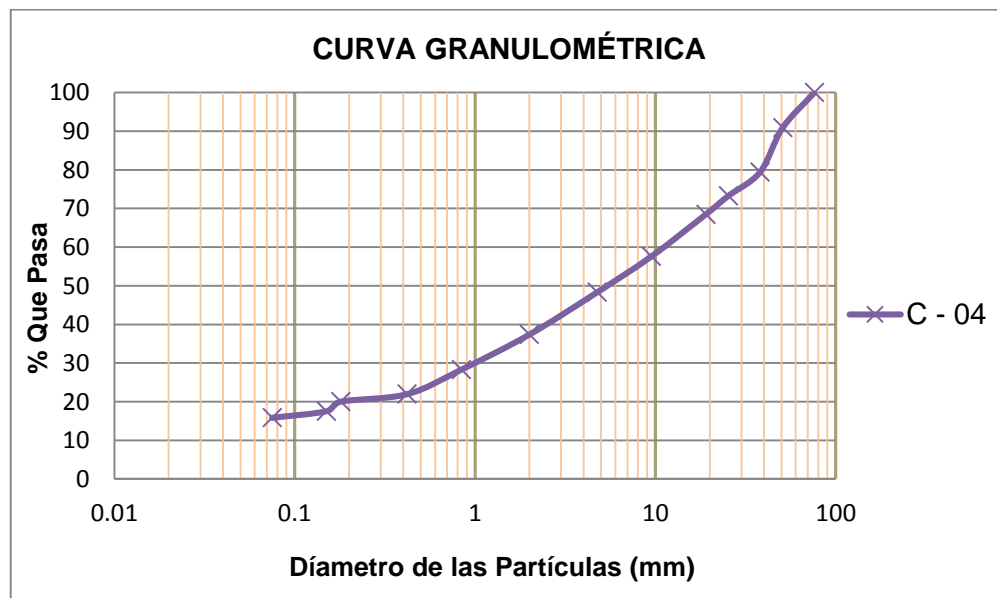


Figura 21: Curva Granulométrica de la Calicata N°4 Fuente: (Propia)

➤ **Contenido de Humedad (ASTM D2216/MTC E108)**

*Tabla 58: Contenido de Humedad de Calicata N° 1 Fuente: (Propia)*

| DESCRIPCIÓN                  |            | M-1    | M-2         | M-3    |
|------------------------------|------------|--------|-------------|--------|
| Peso de Tarro                | (g)        | 25.74  | 16.18       | 20.96  |
| Peso de Tarro + Suelo Húmedo | (g)        | 165.15 | 157.94      | 161.55 |
| Peso de Tarro + Suelo Seco   | (g)        | 157.89 | 150.49      | 154.19 |
| Peso de Suelo Seco           | (g)        | 132.15 | 134.31      | 133.23 |
| Peso de Agua                 | (g)        | 7.26   | 7.45        | 7.36   |
| % de Humedad                 | (%)        | 5.49   | 5.55        | 5.52   |
| <b>% de Humedad Promedio</b> | <b>(%)</b> |        | <b>5.52</b> |        |

*Tabla 59: Contenido de Humedad de Calicata N° 2 Fuente: (Propia)*

| DESCRIPCIÓN                  |            | M-1    | M-2         | M-3    |
|------------------------------|------------|--------|-------------|--------|
| Peso de Tarro                | (g)        | 23.84  | 20.56       | 17.28  |
| Peso de Tarro + Suelo Húmedo | (g)        | 162.28 | 160.50      | 158.71 |
| Peso de Tarro + Suelo Seco   | (g)        | 153.34 | 151.38      | 149.42 |
| Peso de Suelo Seco           | (g)        | 129.50 | 130.82      | 132.14 |
| Peso de Agua                 | (g)        | 8.94   | 9.12        | 9.29   |
| % de Humedad                 | (%)        | 6.90   | 6.97        | 7.03   |
| <b>% de Humedad Promedio</b> | <b>(%)</b> |        | <b>6.97</b> |        |

*Tabla 60: Contenido de Humedad de Calicata N° 3 Fuente: (Propia)*

| DESCRIPCIÓN                  |            | M-1    | M-2         | M-3    |
|------------------------------|------------|--------|-------------|--------|
| Peso de Tarro                | (g)        | 36.75  | 37.02       | 38.81  |
| Peso de Tarro + Suelo Húmedo | (g)        | 204.62 | 211.10      | 224.67 |
| Peso de Tarro + Suelo Seco   | (g)        | 196.37 | 202.64      | 215.70 |
| Peso de Suelo Seco           | (g)        | 159.62 | 165.62      | 176.89 |
| Peso de Agua                 | (g)        | 8.25   | 8.46        | 8.97   |
| % de Humedad                 | (%)        | 5.17   | 5.11        | 5.07   |
| <b>% de Humedad Promedio</b> | <b>(%)</b> |        | <b>5.12</b> |        |

*Tabla 61: Contenido de Humedad de Calicata N° 4 Fuente: (Propia)*

| DESCRIPCIÓN                  |            | M-1    | M-2         | M-3    |
|------------------------------|------------|--------|-------------|--------|
| Peso de Tarro                | (g)        | 34.52  | 36.95       | 35.75  |
| Peso de Tarro + Suelo Húmedo | (g)        | 178.25 | 166.02      | 172.15 |
| Peso de Tarro + Suelo Seco   | (g)        | 170.55 | 159.25      | 164.91 |
| Peso de Suelo Seco           | (g)        | 136.03 | 122.30      | 129.16 |
| Peso de Agua                 | (g)        | 7.70   | 6.77        | 7.24   |
| % de Humedad                 | (%)        | 5.66   | 5.54        | 5.61   |
| <b>% de Humedad Promedio</b> | <b>(%)</b> |        | <b>5.60</b> |        |

➤ **Peso Especifico**

*Tabla 62: Peso Específico de la Calicata N° 1*

| MUESTRA                      | M-01        | M-02  |
|------------------------------|-------------|-------|
| Peso Inicial Muestra (g)     | 192.0       | 196.0 |
| Peso Frasco volumétrico      | 154.3       | 145.2 |
| Peso Frasco + Agua           | 639.4       | 642.5 |
| Peso Frasco + Muestra        | 346.3       | 341.2 |
| Peso Frasco + Muestra + Agua | 759.4       | 764.9 |
| Gs                           | 2.667       | 2.663 |
| <b>Gs promedio</b>           | <b>2.66</b> |       |

*Tabla 63: Peso Específico de la Calicata N° 2*

| MUESTRA                      | M-01        | M-02  |
|------------------------------|-------------|-------|
| Peso Inicial Muestra (g)     | 182.3       | 189.0 |
| Peso Frasco volumétrico      | 156.2       | 141.2 |
| Peso Frasco + Agua           | 641.6       | 631.1 |
| Peso Frasco + Muestra        | 338.5       | 330.2 |
| Peso Frasco + Muestra + Agua | 754.9       | 748.5 |
| Gs                           | 2.642       | 2.640 |
| <b>Gs promedio</b>           | <b>2.64</b> |       |

*Tabla 64: Peso Específico de la Calicata N° 3*

| MUESTRA                      | M-01        | M-02  |
|------------------------------|-------------|-------|
| Peso Inicial Muestra (g.)    | 200.0       | 195.0 |
| Peso Frasco volumétrico      | 158.2       | 152.4 |
| Peso Frasco + Agua           | 642.5       | 647.2 |
| Peso Frasco + Muestra        | 358.2       | 347.4 |
| Peso Frasco + Muestra + Agua | 768.8       | 770.4 |
| Gs                           | 2.714       | 2.716 |
| <b>Gs promedio</b>           | <b>2.71</b> |       |

Tabla 65: Peso Específico de la Calicata N° 4

| MUESTRA                      | M-01        | M-02  |
|------------------------------|-------------|-------|
| Peso Inicial Muestra (gr.)   | 198.1       | 196.4 |
| Peso Frasco volumétrico      | 151.4       | 148.5 |
| Peso Frasco + Agua           | 639.8       | 652.3 |
| Peso Frasco + Muestra        | 349.5       | 344.9 |
| Peso Frasco + Muestra + Agua | 765.4       | 776.7 |
| Gs                           | 2.732       | 2.728 |
| <b>Gs promedio</b>           | <b>2.73</b> |       |

➤ Límites de Atterberg (ASTM D 4318-84) (NTP 339.19) (MTC E110 E111)

Tabla 66: Límites de Atterberg de la Calicata N° 1 Fuente: (Propia)

| LIMITES DE CONSISTENCIA      | LIMITE LIQUIDO |       |       | LIMITE PLASTICO |       |
|------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|
| Nº de Golpes                 | 16             | 23    | 27    | -----           | ----- |
| Peso Tara (g)                | 11.03          | 8.59  | 10.57 | 11.04           | 10.74 |
| Peso Tara + Suelo Húmedo (g) | 35.30          | 30.26 | 34.51 | 13.78           | 13.32 |
| Peso Tara + Suelo Seco (g)   | 28.05          | 24.03 | 27.78 | 13.17           | 12.75 |
| Humedad %                    | 42.60          | 40.35 | 39.11 | 28.64           | 28.36 |
| Límites                      | 39.62          |       |       | 28.50           |       |

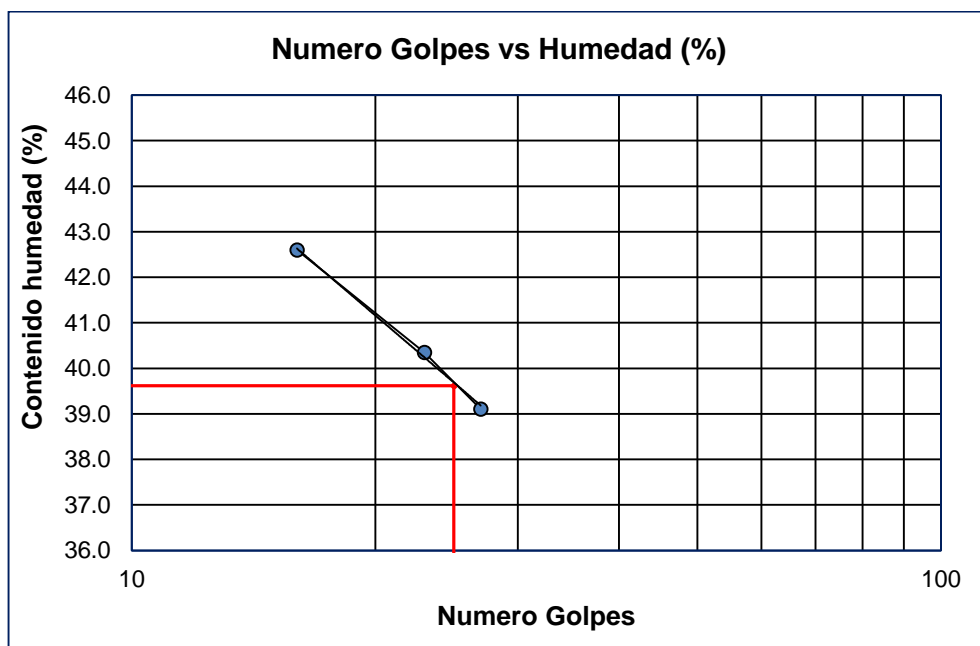


Figura 22: Diagrama de Fluidez de la Calicata N° 1 Fuente: (Propia)

Tabla 67: Límites de Atterberg de la Calicata N° 2 Fuente: (Propia)

| LÍMITES DE CONSISTENCIA      | LÍMITE LIQUIDO |       |       | LÍMITE PLASTICO |       |
|------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|
| N° de Golpes                 | 18             | 23    | 28    | -----           | ----- |
| Peso Tara (g)                | 9.52           | 10.74 | 10.57 | 10.48           | 9.94  |
| Peso Tara + Suelo Húmedo (g) | 33.88          | 38.01 | 39.08 | 13.37           | 13.06 |
| Peso Tara + Suelo Seco (g)   | 25.57          | 28.95 | 29.82 | 12.65           | 12.28 |
| Humedad %                    | 51.78          | 49.75 | 48.10 | 33.18           | 33.33 |
| Límites                      | 48.92          |       |       | 33.26           |       |

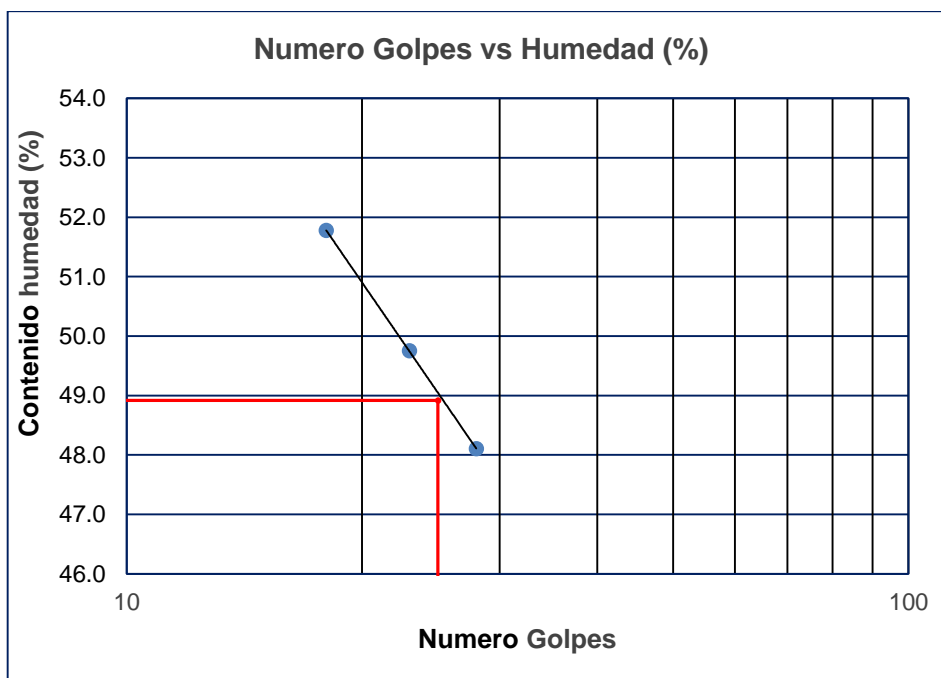


Figura 23: Diagrama de Fluidez de la Calicata N° 2 Fuente: (Propia)

Tabla 68: Límites de Atterberg de la Calicata N° 3 Fuente: (Propia)

| LIMITES DE CONSISTENCIA      | LIMITE LIQUIDO |       |       | LIMITE PLASTICO |       |
|------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|
| Nº de Golpes                 | 17             | 23    | 29    | -----           | ----- |
| Peso Tara (g)                | 11.03          | 11.16 | 9.05  | 11.59           | 9.52  |
| Peso Tara + Suelo Húmedo (g) | 33.41          | 31.43 | 30.31 | 15.58           | 13.32 |
| Peso Tara + Suelo Seco (g)   | 28.37          | 27.03 | 25.83 | 14.89           | 12.67 |
| Humedad %                    | 29.07          | 27.73 | 26.70 | 20.91           | 20.63 |
| Límites                      | 27.30          |       |       | 20.77           |       |

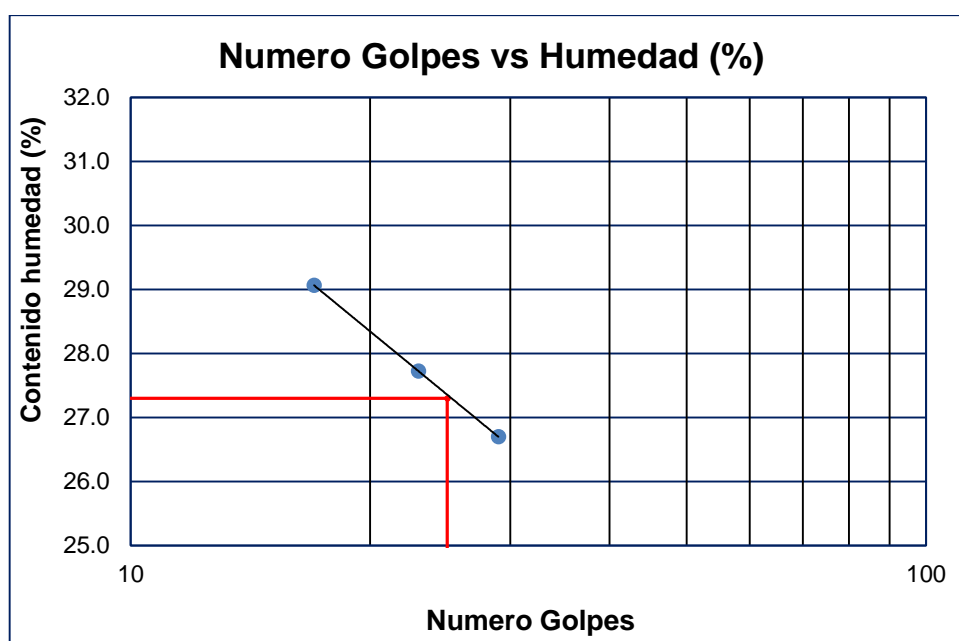


Figura 24: Diagrama de Fluidez de la Calicata N° 3 Fuente: (Propia)

Tabla 69: Límites de Atterberg de la Calicata N° 4 Fuente: (Propia)

| LIMITES DE CONSISTENCIA      | LIMITE LIQUIDO |       |       | LIMITE PLASTICO |       |
|------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|
| Nº de Golpes                 | 23             | 24    | 28    | -----           | ----- |
| Peso Tara (g)                | 9.74           | 9.45  | 9.19  | 10.83           | 10.41 |
| Peso Tara + Suelo Húmedo (g) | 39.40          | 36.51 | 38.09 | 13.69           | 13.12 |
| Peso Tara + Suelo Seco (g)   | 31.76          | 29.59 | 30.82 | 13.17           | 12.62 |
| Humedad %                    | 34.70          | 34.36 | 33.61 | 22.22           | 22.62 |
| Límites                      | 34.20          |       |       | 22.42           |       |

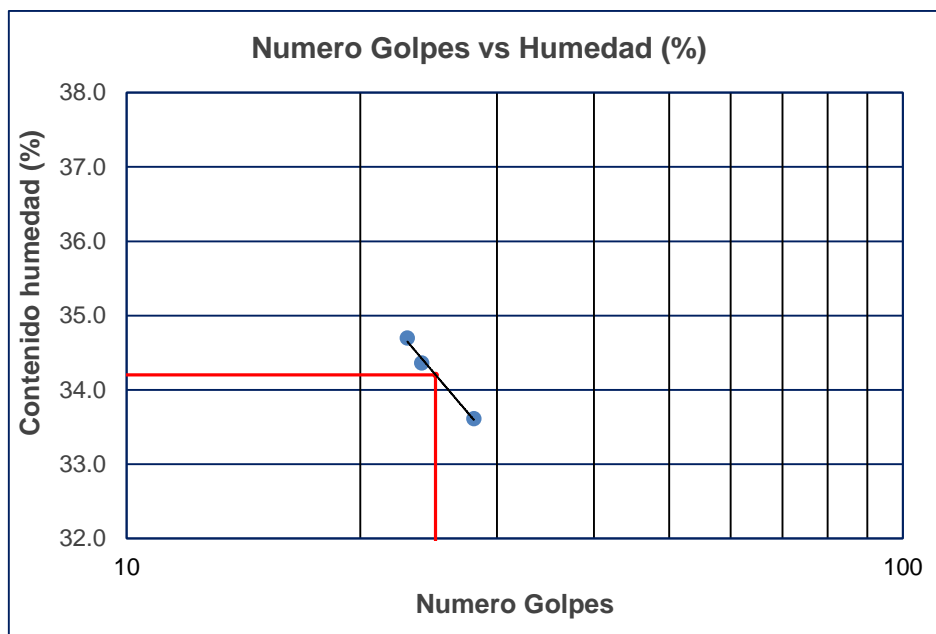


Figura 25: Diagrama de Fluidez de la Calicata N° 4 Fuente: (Propia)

Tabla 70: Índice de Plasticidad de Calicatas

| Calicatas | Límite Líquido (%) | Límite Plástico (%) | Índice de Plasticidad (%) |
|-----------|--------------------|---------------------|---------------------------|
| C-01      | 39.62              | 28.50               | 11.12                     |
| C-02      | 48.92              | 33.26               | 15.66                     |
| C-03      | 27.30              | 20.77               | 6.53                      |
| C-04      | 34.20              | 22.42               | 11.78                     |

➤ **Proctor Modificado (ASTM D1557) (NPT 339.141) (MTC E115)**

Tabla 71: Ensayo Proctor Modificado de la Calicata N° 1 Fuente: (Propia)

| Determinación del Contenido de Humedad   |     |             |             |        |        |              |        |              |        |
|--|-----|-------------|-------------|--------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| Muestra N°                               |     | 1           | 2           | 3      | 4      |              |        |              |        |
| Peso de lata + suelo húmedo              | (g) | 156.20      | 155.40      | 135.50 | 138.10 | 142.90       | 136.50 | 132.70       | 140.20 |
| Peso de lata + suelo seco                | (g) | 149.80      | 149.10      | 128.90 | 131.80 | 134.60       | 128.50 | 123.40       | 130.10 |
| Peso de lata                             | (g) | 41.50       | 45.50       | 46.60  | 51.80  | 52.20        | 50.50  | 46.80        | 45.90  |
| Peso de suelo seco                       | (g) | 108.30      | 103.60      | 82.30  | 80.00  | 82.40        | 78.00  | 76.60        | 84.20  |
| Peso de agua                             | (g) | 6.40        | 6.30        | 6.60   | 6.30   | 8.30         | 8.00   | 9.30         | 10.10  |
| Contenido de humedad                     | (%) | 5.91        | 6.08        | 8.02   | 7.87   | 10.07        | 10.26  | 12.14        | 12.00  |
| <b>Contenido de humedad promedio (%)</b> |     | <b>6.00</b> | <b>7.95</b> |        |        | <b>10.16</b> |        | <b>12.07</b> |        |

| Determinación de la Densidad        |                           |         |         |               |         |
|-------------------------------------|---------------------------|---------|---------|---------------|---------|
| Contenido de humedad                | (%)                       | 6.00    | 7.95    | 10.16         | 12.07   |
| Peso del proctor + suelo compactado | (g)                       | 5746.00 | 5838.00 | 5901.00       | 5815.00 |
| Peso del proctor                    | (g)                       | 3860.00 | 3860.00 | 3860.00       | 3860.00 |
| Peso de suelo compactado            | (g)                       | 1886.00 | 1978.00 | 2041.00       | 1955.00 |
| Densidad húmeda                     | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.035   | 2.135   | 2.203         | 2.110   |
| Densidad seca                       | (g/cm <sup>3</sup> )      | 1.920   | 1.978   | 1.999         | 1.883   |
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> |         |         | <b>1.999</b>  |         |
| <b>Optimo Contenido de Humedad</b>  | <b>(%)</b>                |         |         | <b>10.165</b> |         |



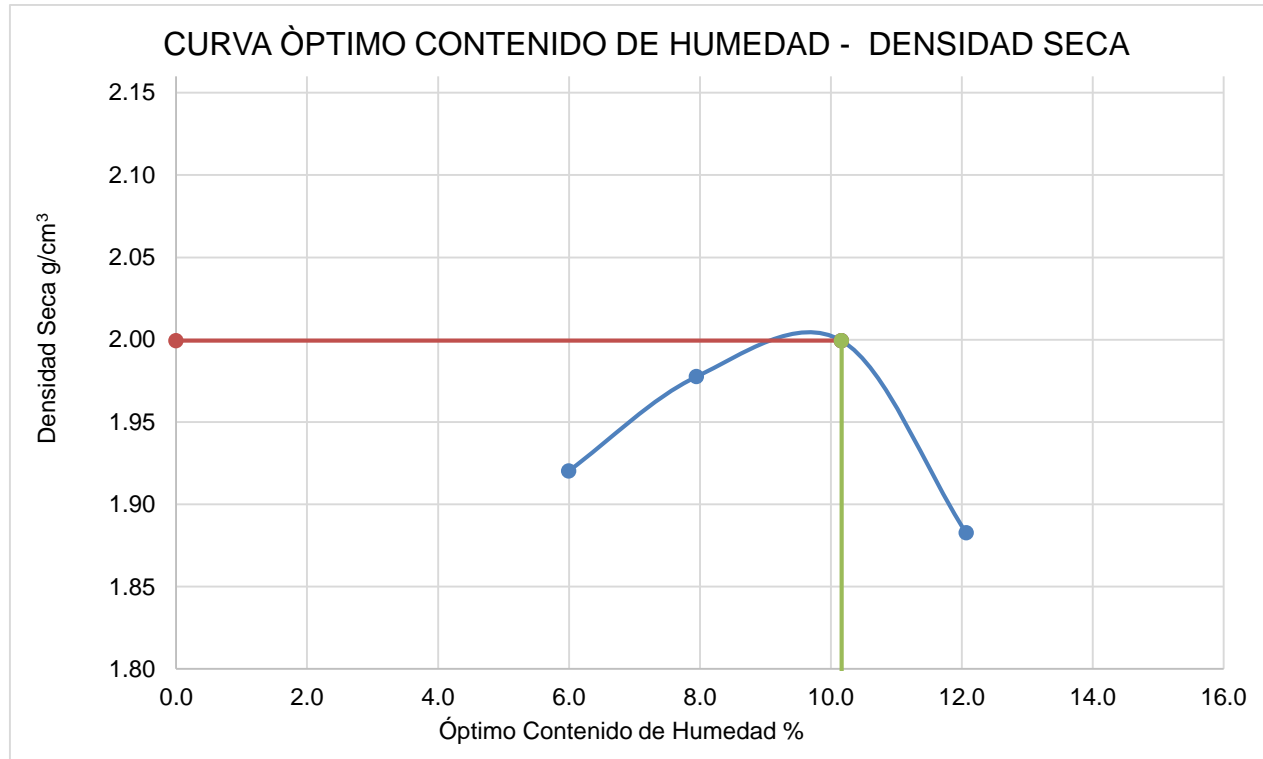


Figura 26: Curva Óptimo Contenido de Humedad - Densidad Seca de la Calicata N° 1 Fuente: (Propia)

Tabla 72: Ensayo Proctor Modificado de la Calicata N° 2 Fuente: (Propia)

| Determinación del Contenido de Humedad   |     |             |        |             |        |              |        |              |        |
|--|-----|-------------|--------|-------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| Muestra N°                               |     | 1           | 2      | 3           | 4      |              |        |              |        |
| Peso de lata + suelo húmedo              | (g) | 142.50      | 149.20 | 152.50      | 138.20 | 143.90       | 150.70 | 141.60       | 135.90 |
| Peso de lata + suelo seco                | (g) | 136.50      | 142.70 | 144.60      | 131.20 | 134.90       | 141.10 | 125.10       | 125.70 |
| Peso de lata                             | (g) | 42.60       | 39.70  | 51.20       | 47.60  | 48.40        | 50.10  | 18.20        | 43.90  |
| Peso de suelo seco                       | (g) | 93.90       | 103.00 | 93.40       | 83.60  | 86.50        | 91.00  | 109.90       | 81.80  |
| Peso de agua                             | (g) | 6.00        | 6.50   | 7.90        | 7.00   | 9.00         | 9.60   | 13.50        | 10.20  |
| Contenido de humedad                     | (%) | 6.39        | 6.31   | 8.46        | 8.37   | 10.40        | 10.55  | 12.28        | 12.47  |
| <b>Contenido de humedad promedio (%)</b> |     | <b>6.35</b> |        | <b>8.42</b> |        | <b>10.48</b> |        | <b>12.38</b> |        |

| Determinación de la Densidad        |                           |         |         |              |         |
|-------------------------------------|---------------------------|---------|---------|--------------|---------|
| Contenido de humedad                | (%)                       | 6.35    | 8.42    | 10.48        | 12.38   |
| Peso del proctor + suelo compactado | (g)                       | 5598.00 | 5757.00 | 5754.00      | 5736.00 |
| Peso del proctor                    | (g)                       | 3860.00 | 3860.00 | 3860.00      | 3860.00 |
| Peso de suelo compactado            | (g)                       | 1738.00 | 1897.00 | 1894.00      | 1876.00 |
| Densidad húmeda                     | (g/cm <sup>3</sup> )      | 1.876   | 2.047   | 2.044        | 2.025   |
| Densidad seca                       | (g/cm <sup>3</sup> )      | 1.764   | 1.888   | 1.850        | 1.802   |
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> |         |         | <b>1.888</b> |         |
| <b>Óptimo Contenido de Humedad</b>  | <b>(%)</b>                |         |         | <b>8.416</b> |         |

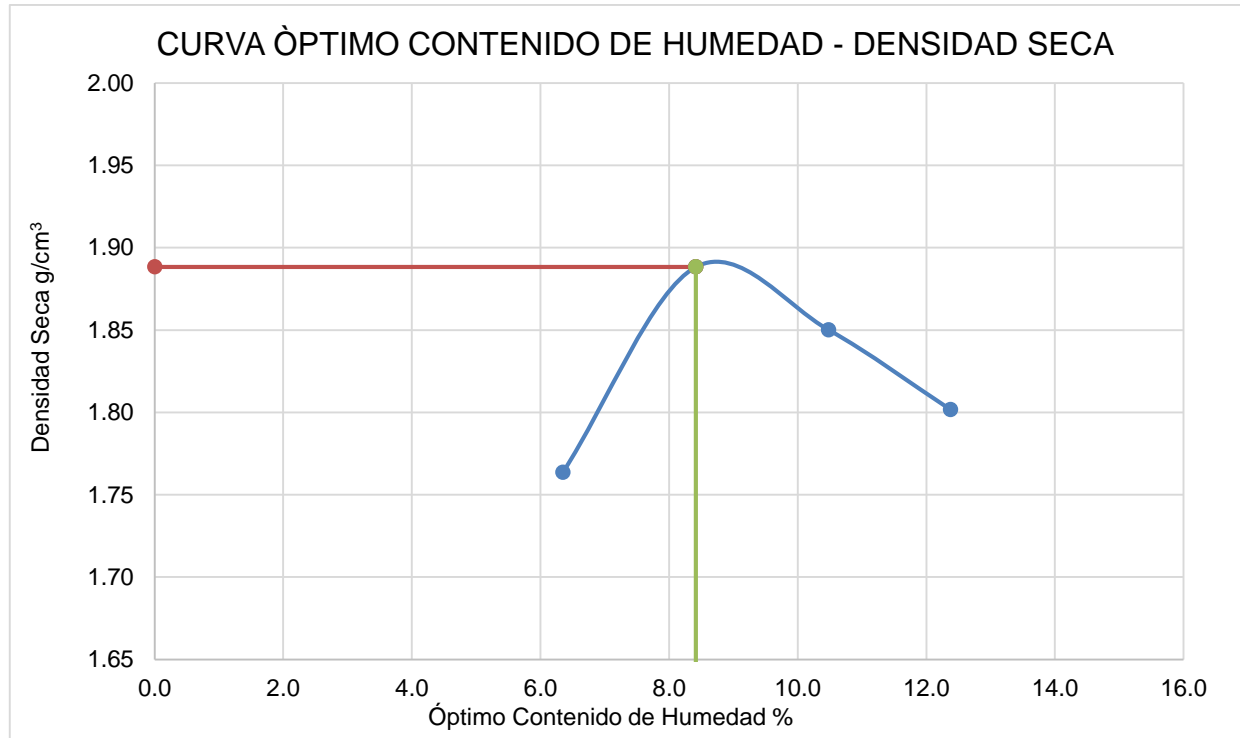


Figura 27: Curva Óptimo de Contenido de Humedad - Densidad Seca de la Calicata N° 2 Fuente: (Propia)

Tabla 73: Ensayo Proctor Modificado de la Calicata N° 3 Fuente: (Propia)

| Determinación del Contenido de Humedad   |     |             |        |             |        |             |        |              |        |
|--|-----|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|--------------|--------|
| Muestra N°                               |     | 1           | 2      | 3           | 4      |             |        |              |        |
| Peso de lata + suelo húmedo              | (g) | 146.90      | 145.20 | 147.50      | 152.60 | 141.70      | 143.50 | 138.20       | 151.60 |
| Peso de lata + suelo seco                | (g) | 142.50      | 140.60 | 141.30      | 146.00 | 133.90      | 135.80 | 129.10       | 141.90 |
| Peso de lata                             | (g) | 45.60       | 41.70  | 50.90       | 48.30  | 44.60       | 47.10  | 43.20        | 50.90  |
| Peso de suelo seco                       | (g) | 96.90       | 98.90  | 90.40       | 97.70  | 89.30       | 88.70  | 85.90        | 91.00  |
| Peso de agua                             | (g) | 4.40        | 4.60   | 6.20        | 6.60   | 7.80        | 7.70   | 9.10         | 9.70   |
| Contenido de humedad                     | (%) | 4.54        | 4.65   | 6.86        | 6.76   | 8.73        | 7.68   | 10.59        | 10.66  |
| <b>Contenido de humedad promedio (%)</b> |     | <b>4.60</b> |        | <b>6.81</b> |        | <b>8.71</b> |        | <b>10.63</b> |        |

| Determinación de la Densidad        |                      |          |          |              |          |
|-------------------------------------|----------------------|----------|----------|--------------|----------|
| Contenido de humedad                | (%)                  | 6.60     | 6.81     | 8.71         | 10.63    |
| Peso del proctor + suelo compactado | (g)                  | 10801.00 | 10974.00 | 11182.00     | 11125.00 |
| Peso del proctor                    | (g)                  | 6340.00  | 6340.00  | 6340.00      | 6340.00  |
| Peso de suelo compactado            | (g)                  | 4461.00  | 4634.00  | 4842.00      | 4785.00  |
| Densidad húmeda                     | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.121    | 2.204    | 2.303        | 2.275    |
| Densidad seca                       | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.028    | 2.063    | 2.118        | 2.057    |
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | (g/cm <sup>3</sup> ) |          |          | <b>2.118</b> |          |
| <b>Optimo Contenido de Humedad</b>  | (%)                  |          |          | <b>8.710</b> |          |

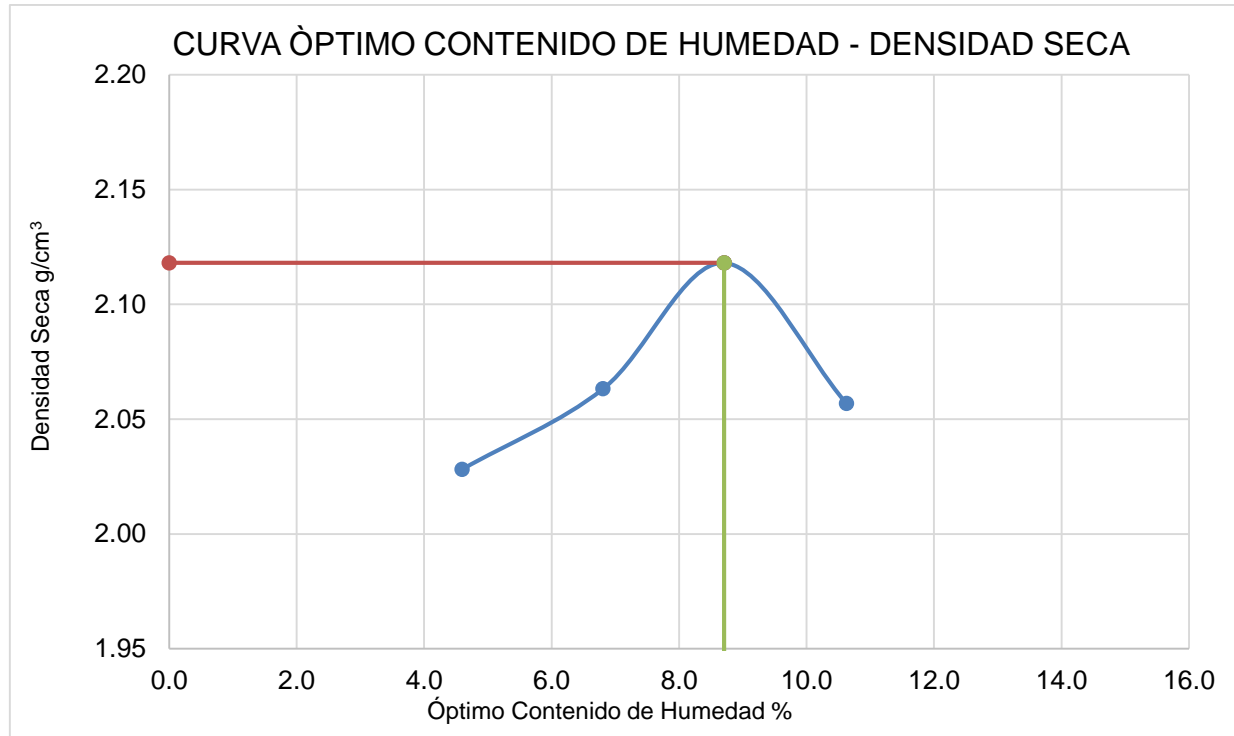


Figura 28: Curva Óptimo Contenido de Humedad - Densidad Seca de la Calicata N° 3 Fuente: (Propia)

Tabla 74: Ensayo Proctor Modificado de la Calicata N° 4 Fuente: (Propia)

| Determinación del Contenido de Humedad   |     |             |             |        |        |             |        |              |        |
|--|-----|-------------|-------------|--------|--------|-------------|--------|--------------|--------|
| Muestra N°                               |     | 1           | 2           | 3      | 4      |             |        |              |        |
| Peso de lata + suelo húmedo              | (g) | 150.63      | 147.25      | 141.69 | 144.17 | 143.72      | 140.34 | 137.55       | 145.98 |
| Peso de lata + suelo seco                | (g) | 144.80      | 141.50      | 134.60 | 137.10 | 134.50      | 131.70 | 127.70       | 135.10 |
| Peso de lata                             | (g) | 38.26       | 40.71       | 42.95  | 42.52  | 39.68       | 41.05  | 43.84        | 39.47  |
| Peso de suelo seco                       | (g) | 106.54      | 100.79      | 91.65  | 94.58  | 94.82       | 90.65  | 83.86        | 95.63  |
| Peso de agua                             | (g) | 5.83        | 5.75        | 7.09   | 7.07   | 9.22        | 8.64   | 9.85         | 10.88  |
| Contenido de humedad                     | (%) | 5.47        | 5.70        | 7.74   | 7.48   | 9.72        | 9.53   | 11.75        | 11.38  |
| <b>Contenido de humedad promedio (%)</b> |     | <b>5.59</b> | <b>7.61</b> |        |        | <b>9.63</b> |        | <b>11.56</b> |        |

| Determinación de la Densidad        |                           |          |          |              |          |
|-------------------------------------|---------------------------|----------|----------|--------------|----------|
| Contenido de humedad                | (%)                       | 5.59     | 7.61     | 9.63         | 11.56    |
| Peso del proctor + suelo compactado | (g)                       | 11022.00 | 11170.00 | 11187.00     | 11226.00 |
| Peso del proctor                    | (g)                       | 6340.00  | 6340.00  | 6340.00      | 6340.00  |
| Peso de suelo compactado            | (g)                       | 4682.00  | 4830.00  | 4847.00      | 4886.00  |
| Densidad húmeda                     | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.226    | 2.297    | 2.305        | 2.323    |
| Densidad seca                       | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.109    | 2.134    | 2.102        | 2.083    |
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> |          |          | <b>2.134</b> |          |
| <b>Optimo Contenido de Humedad</b>  | <b>(%)</b>                |          |          | <b>7.610</b> |          |

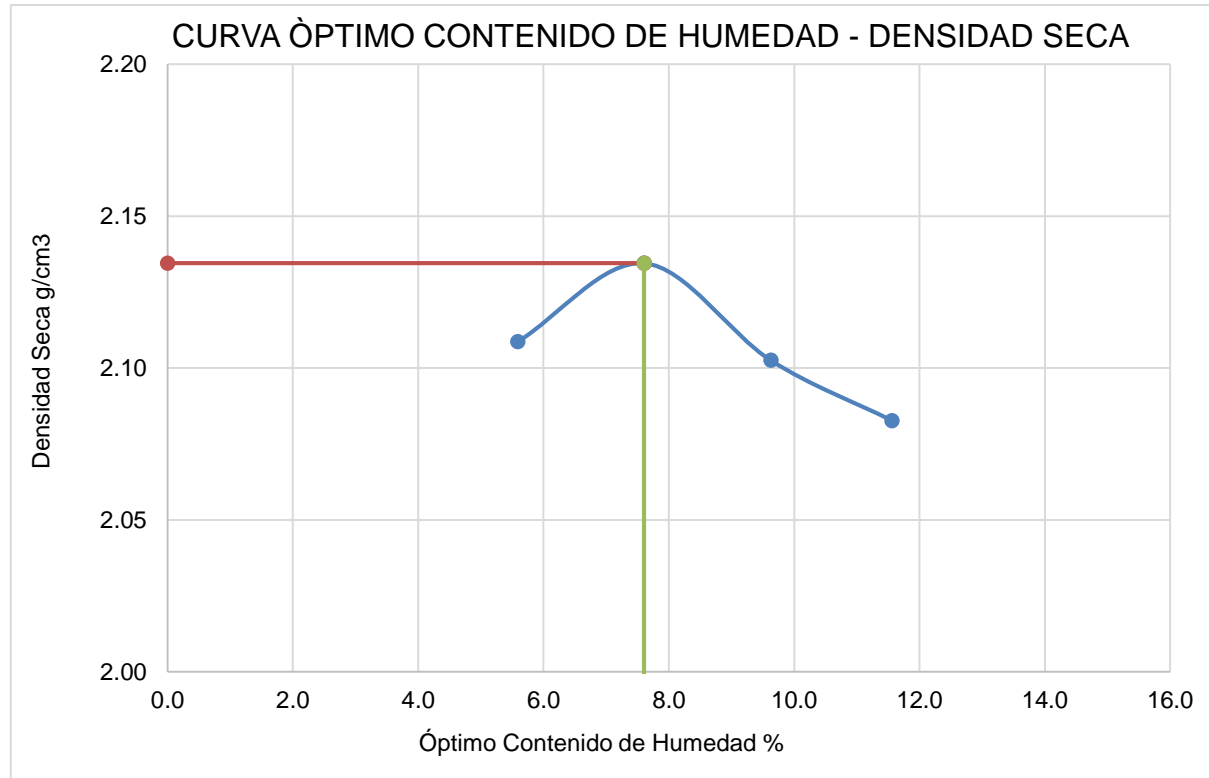


Figura 29: Curva Óptimo Contenido de Humedad - Densidad Seca de la Calicata N° 4 Fuente: (Propia)

➤ **California Bearing Ratio (CBR) (ASTM D1883/MTC E132)**

Tabla 75: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) Tramo El Pallar -Shalar Km +0.00 – Km +3.00 Fuente: (Propia)

| Compactación de Especímenes |                           |           |           |           |  |  |
|-----------------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|--|--|
| Molde N°                    |                           | 1         | 2         | 3         |  |  |
| N° Capa                     |                           | 5         | 5         | 5         |  |  |
| Golpes por capa N°          |                           | 56        | 26        | 12        |  |  |
| Cond. de la muestra         |                           | Saturada  | Saturada  | Saturada  |  |  |
| Peso molde + Suelo húmedo   | (g)                       | 12,468.00 | 12,668.00 | 12,479.00 |  |  |
| Peso de molde               | (g)                       | 8,031.00  | 8,172.00  | 8,308.00  |  |  |
| Peso del suelo húmedo       | (g)                       | 4,437.00  | 4,496.00  | 4,171.00  |  |  |
| Volumen del molde           | (cm <sup>3</sup> )        | 2,022.00  | 2,122.00  | 2,110.00  |  |  |
| <b>Densidad húmeda</b>      | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.19      | 2.12      | 1.98      |  |  |

| Contenido de humedad de los especímenes |                           |        |        |        |        |        |        |
|---|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tarro N°                                |                           | 1      | 2      | 1      | 2      | 1      | 2      |
| Tarro + Suelo húmedo                    | (g)                       | 121.14 | 104.96 | 107.28 | 114.61 | 111.52 | 125.37 |
| Tarro + Suelo seco                      | (g)                       | 112.04 | 97.77  | 99.74  | 106.24 | 103.50 | 116.00 |
| Peso del Agua                           | (g)                       | 9.10   | 7.19   | 7.54   | 8.37   | 8.02   | 9.37   |
| Peso del tarro                          | (g)                       | 23.50  | 26.51  | 24.85  | 25.14  | 23.93  | 24.76  |
| Peso del suelo seco                     | (g)                       | 88.54  | 71.26  | 74.89  | 81.10  | 79.57  | 91.24  |
| <b>Humedad</b>                          | <b>(%)</b>                | 10.28  | 10.09  | 10.07  | 10.32  | 10.08  | 10.27  |
| <b>Densidad seca</b>                    | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> | 1.99   |        | 1.92   |        | 1.79   |        |



| Hora | Expansión               |           |      |                         |           |      |                         |           |      |
|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|
|      | Molde de 56 golpes/capa |           |      | Molde de 26 golpes/capa |           |      | Molde de 12 golpes/capa |           |      |
|      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      |
|      | mm                      | %         | mm   | %                       | mm        | %    | mm                      | %         |      |
| 24   | 20.00                   | 0.05      | 0.04 | 27.00                   | 0.07      | 0.05 | 33.00                   | 0.08      | 0.07 |
| 48   | 33.00                   | 0.08      | 0.07 | 39.00                   | 0.10      | 0.08 | 48.00                   | 0.12      | 0.10 |
| 72   | 48.00                   | 0.12      | 0.10 | 58.00                   | 0.15      | 0.12 | 67.00                   | 0.17      | 0.13 |
| 96   | 59.00                   | 0.15      | 0.12 | 67.00                   | 0.17      | 0.13 | 81.00                   | 0.21      | 0.16 |

| Penetración<br>mm | Carga<br>Estándar<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Penetración             |                    |           |                         |                    |           |                         |                    |           |
|-------------------|---|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|
|                   |   | Molde de 56 golpes/capa |                    |           | Molde de 26 golpes/capa |                    |           | Molde de 12 golpes/capa |                    |           |
|                   |   | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida |
| 0.63              |   | 36.00                   | 1.78               |           | 16.00                   | 0.79               |           | 20.00                   | 0.99               |           |
| 1.27              |   | 84.00                   | 4.16               |           | 37.00                   | 1.83               |           | 32.00                   | 1.58               |           |
| 1.90              |   | 116.00                  | 5.75               |           | 81.00                   | 4.01               |           | 62.00                   | 3.07               |           |
| 2.54              | 70.31                                   | 167.00                  | 8.27               | 8.63      | 111.00                  | 5.50               | 7.82      | 86.00                   | 4.26               | 4.49      |
| 3.17              |   | 217.00                  | 10.75              |           | 133.00                  | 6.59               |           | 105.00                  | 5.20               |           |
| 3.81              |   | 240.00                  | 11.89              |           | 162.00                  | 8.02               |           | 128.00                  | 6.34               |           |
| 5.08              | 105.46                                  | 330.00                  | 16.34              | 17.26     | 240.00                  | 11.89              | 15.64     | 189.00                  | 9.36               | 8.97      |
| 7.62              |   | 503.00                  | 24.91              |           | 410.00                  | 20.31              |           | 236.00                  | 11.69              |           |
| 10.16             |   | 710.00                  | 35.17              |           | 574.00                  | 28.43              |           | 296.00                  | 14.66              |           |
| 12.70             |   | 908.00                  | 44.97              |           | 697.00                  | 34.52              |           | 356.00                  | 17.63              |           |

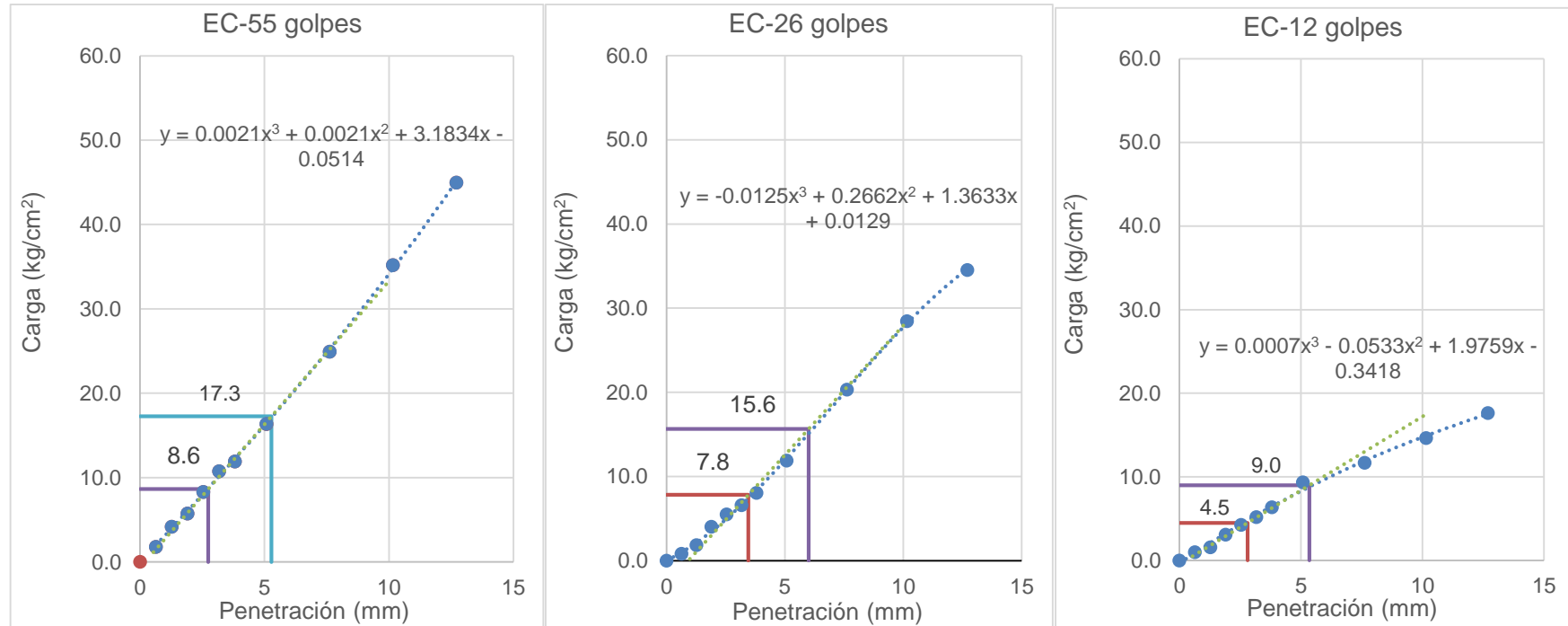


Figura 30: Curvas de Carga vs. Penetración Tramo El Pallar -Shalar Km +0.00 – Km +3.00 Fuente: (Propia)

| Proctor / Densidad Natural / O.C.H. |                      |              |
|-------------------------------------|----------------------|--------------|
| Máxima Dens. Seca                   | (g/cm <sup>3</sup> ) | <b>1.992</b> |
| 95% de la M.D.S.                    | (g/cm <sup>3</sup> ) | <b>1.892</b> |
| Optimo Humedad                      | (%)                  | 10.20%       |

| Nº golpes | C.B.R. (1") | C.B.R. (2") | Densidad |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| 55        | 12.3        | 16.4        | 1.992    |
| 26        | 11.1        | 14.8        | 1.923    |
| 12        | 6.4         | 8.5         | 1.794    |

| RESULTADOS DE C.B.R. (1")   |             |
|-----------------------------|-------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 12.3        |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>10.6</b> |

| RESULTADOS DE C.B.R. (2")   |             |
|-----------------------------|-------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 16.4        |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>14.0</b> |

| % de Expansión | Bajo |
|----------------|------|
|----------------|------|

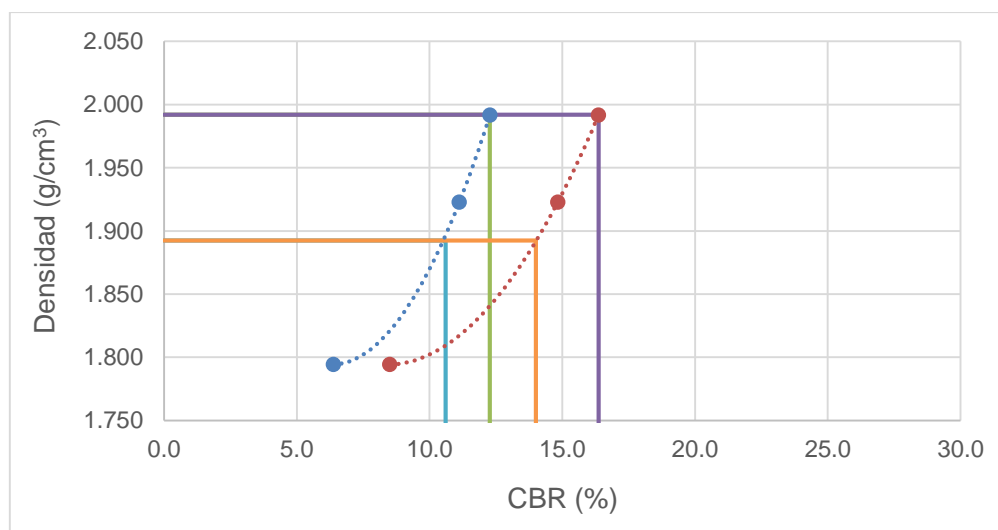


Figura 31: Relación CBR vs Densidad Seca Tramo El Pallar -Shalar Km +0.00 – Km +3.00 Fuente: (Propia)

Tabla 76: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) Tramo El Pallar -Shalar Km +3.00 – Km +4.00 Fuente: (Propia)

| Compactación de Especímenes             |                           |           |           |           |        |        |
|---|---------------------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
| Molde N°                                |                           | 1         | 2         | 3         |        |        |
| N° Capa                                 |                           | 5         | 5         | 5         |        |        |
| Golpes por capa N°                      |                           | 56        | 26        | 12        |        |        |
| Cond. de la muestra                     |                           | Saturada  | Saturada  | Saturada  |        |        |
| Peso molde + Suelo húmedo               | (g)                       | 12,661.00 | 12,868.00 | 12,782.00 |        |        |
| Peso de molde                           | (g)                       | 8,031.00  | 8,172.00  | 8,308.00  |        |        |
| Peso del suelo húmedo                   | (g)                       | 4,630.00  | 4,696.00  | 4,474.00  |        |        |
| Volumen del molde                       | (cm <sup>3</sup> )        | 2,022.00  | 2,122.00  | 2,110.00  |        |        |
| <b>Densidad húmeda</b>                  | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.29      | 2.21      | 2.12      |        |        |
| Contenido de humedad de los especímenes |                           |           |           |           |        |        |
| Tarro N°                                |                           | 1         | 2         | 1         | 2      | 1      |
| Tarro + Suelo húmedo                    | (g)                       | 114.28    | 112.62    | 107.47    | 119.95 | 103.17 |
| Tarro + Suelo seco                      | (g)                       | 108.01    | 106.52    | 101.78    | 113.46 | 97.68  |
| Peso del Agua                           | (g)                       | 6.27      | 6.10      | 5.69      | 6.49   | 5.49   |
| Peso del tarro                          | (g)                       | 25.12     | 26.95     | 27.45     | 27.47  | 24.63  |
| Peso del suelo seco                     | (g)                       | 82.89     | 79.57     | 74.33     | 85.99  | 73.05  |
| <b>Humedad</b>                          | <b>(%)</b>                | 7.56      | 7.67      | 7.66      | 7.55   | 7.52   |
| <b>Densidad seca</b>                    | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.13      |           | 2.06      |        | 1.97   |

| Hora | Expansión               |      |      |                         |      |      |                         |      |      |
|------|-------------------------|------|------|-------------------------|------|------|-------------------------|------|------|
|      | Molde de 56 golpes/capa |      |      | Molde de 26 golpes/capa |      |      | Molde de 12 golpes/capa |      |      |
|      | Dial                    | mm   | %    | Dial                    | mm   | %    | Dial                    | mm   | %    |
| 24   | 17                      | 0.04 | 0.03 | 23.00                   | 0.06 | 0.05 | 29.00                   | 0.07 | 0.06 |
| 48   | 31                      | 0.08 | 0.06 | 36.00                   | 0.09 | 0.07 | 46.00                   | 0.12 | 0.09 |
| 72   | 43                      | 0.11 | 0.09 | 48.00                   | 0.12 | 0.10 | 54.00                   | 0.14 | 0.11 |
| 96   | 55                      | 0.14 | 0.11 | 61.00                   | 0.15 | 0.12 | 71.00                   | 0.18 | 0.14 |

| Penetración<br>mm | Carga<br>Estándar<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Penetración             |                    |           |                         |                    |           |                         |                    |           |
|-------------------|---|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|
|                   |   | Molde de 56 golpes/capa |                    |           | Molde de 26 golpes/capa |                    |           | Molde de 12 golpes/capa |                    |           |
|                   |   | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida |
| 0.63              |   | 21.00                   | 1.04               |           | 15.00                   | 0.74               |           | 11.00                   | 0.54               |           |
| 1.27              |   | 66.00                   | 3.27               |           | 36.00                   | 1.78               |           | 33.00                   | 1.63               |           |
| 1.90              |   | 125.00                  | 6.19               |           | 63.00                   | 3.12               |           | 60.00                   | 2.97               |           |
| 2.54              | 70.31                                   | 204.00                  | 10.10              | 16.20     | 112.00                  | 5.55               | 9.53      | 100.00                  | 4.95               | 6.94      |
| 3.17              |   | 307.00                  | 15.21              |           | 146.00                  | 7.23               |           | 145.00                  | 7.18               |           |
| 3.81              |   | 436.00                  | 21.59              |           | 234.00                  | 11.59              |           | 204.00                  | 10.10              |           |
| 5.08              | 105.46                                  | 592.00                  | 29.32              | 32.40     | 387.00                  | 19.17              | 19.05     | 302.00                  | 14.96              | 13.87     |
| 7.62              |   | 778.00                  | 38.53              |           | 485.00                  | 24.02              |           | 375.00                  | 18.57              |           |
| 10.16             |   | 1012.00                 | 50.12              |           | 608.00                  | 30.11              |           | 468.00                  | 23.18              |           |
| 12.70             |   | 1246.00                 | 61.71              |           | 778.00                  | 38.53              |           | 624.00                  | 30.91              |           |

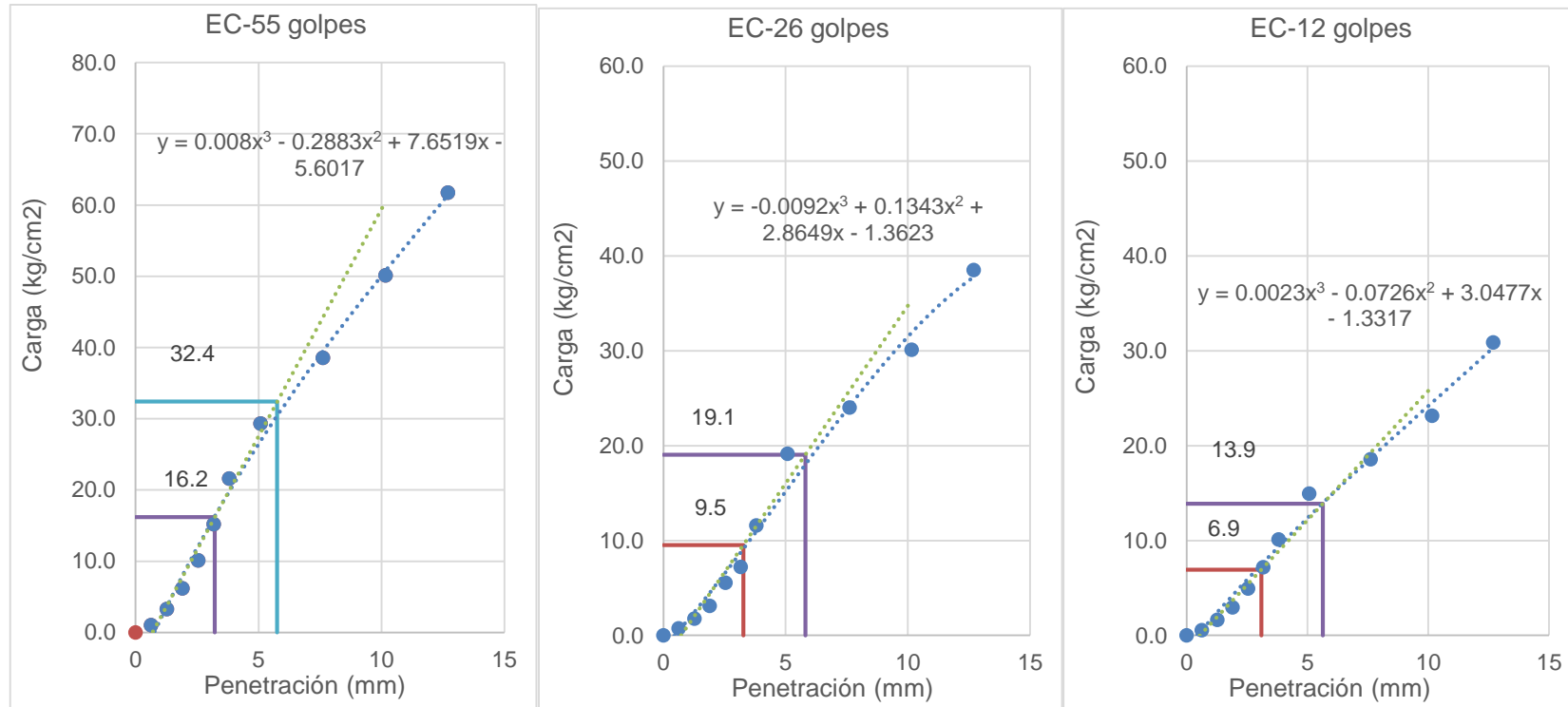


Figura 32: Curvas de Carga vs. Penetración Tramo El Pallar -Shalar Km +3.00 – Km +4.00 Fuente: (Propia)

Tabla 77: California Bearing Ratio (CBR) Tramo El Pallar -Shalar Km +3.00 – Km +4.00 Fuente: (Propia)

| Proctor / Densidad Natural / O.C.H. |                      |  |              |
|-------------------------------------|----------------------|--|--------------|
| Máxima Dens. Seca                   | (g/cm <sup>3</sup> ) |  | <b>2.130</b> |
| 95% de la M.D.S.                    | (g/cm <sup>3</sup> ) |  | <b>2.024</b> |
| Optimo Humedad                      | (%)                  |  | 7.60%        |

| Nº golpes | C.B.R. (1") | C.B.R. (2") | Densidad |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| 55        | 23.00       | 30.70       | 2.128    |
| 26        | 13.50       | 18.10       | 2.057    |
| 12        | 9.90        | 13.20       | 1.971    |

| RESULTADOS DE C.B.R. (1")   |              |
|-----------------------------|--------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 23.00        |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>12.10</b> |

| RESULTADOS DE C.B.R. (2")   |              |
|-----------------------------|--------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 30.70        |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>15.70</b> |

| % de Expansión |      |
|----------------|------|
|                | Bajo |

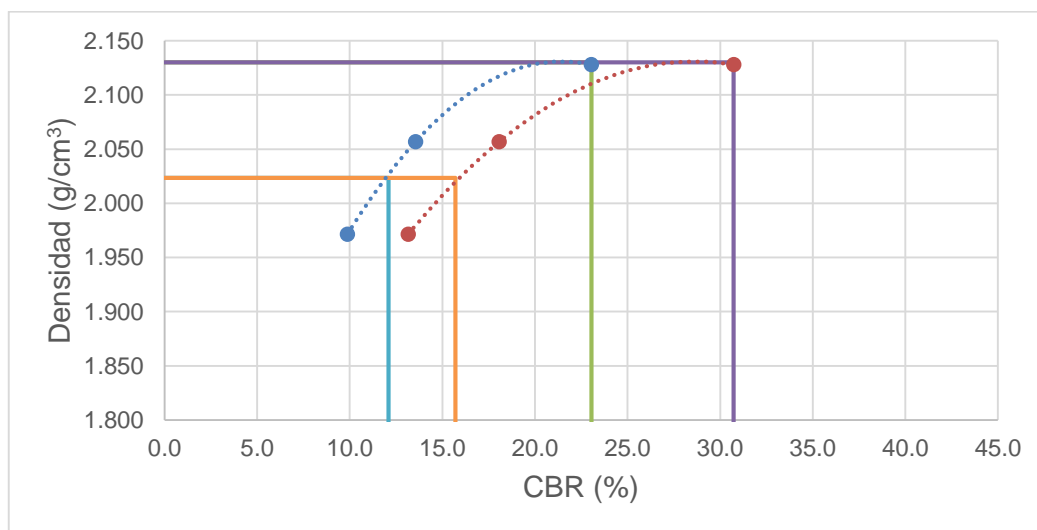


Figura 33: Relación CBR vs Densidad Seca Tramo El Pallar -Shalar Km +3.00 – Km +4.00 Fuente: (Propia)

## APÉNDICE Nº 2.2: Resultados Caracterización de Material Afirmado

### ➤ Análisis Granulométrico (ASTM D422/NTP 339.160/MTC E108)

Tabla 78: Granulometría de Suelo del Material de Cantera El Pallar Fuente: (Propia)

| Malla    | Tamiz<br>Abert.(mm) | Serie | Peso<br>Retenido<br>(g) | Porcentaje<br>Retenido<br>Parcial (%) | Porcentaje<br>Retenido<br>Acumulado<br>(%) | Porcentaje que<br>Pasa (%) |
|----------|---------------------|-------|-------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|
| 3"       | 76.200              | 32854 | 0.0                     | 0.0                                   | 0.0  | 100.0                      |
| 2"       | 50.800              | 33708 | 0.0                     | 0.0                                   | 0.0  | 100.0                      |
| 1 1/2"   | 38.100              | 42260 | 0.0                     | 0.0                                   | 0.0  | 100.0                      |
| 1"       | 25.400              | 42774 | 3795.0                  | 7.3                                   | 7.3  | 92.7                       |
| 3/4"     | 19.050              | 46118 | 3540.0                  | 6.8                                   | 14.2                                       | 85.8                       |
| 3/8"     | 9.500               | 42967 | 10115.0                 | 19.5                                  | 33.7                                       | 66.3                       |
| Nº 4     | 4.750               | 34993 | 13185.0                 | 25.4                                  | 59.1                                       | 40.9                       |
| Nº 10    | 2.000               | 45806 | 5817.3                  | 11.2                                  | 70.3                                       | 29.7                       |
| Nº 20    | 0.840               | 45149 | 4510.0                  | 8.7                                   | 79.0                                       | 21.0                       |
| Nº 40    | 0.420               | 43661 | 2027.1                  | 3.9                                   | 83.0                                       | 17.0                       |
| Nº 80    | 0.180               | 34874 | 1148.6                  | 2.2                                   | 85.2                                       | 14.8                       |
| Nº 100   | 0.150               | 34875 | 1004.0                  | 1.9                                   | 87.1                                       | 12.9                       |
| Nº 200   | 0.075               | 44659 | 981.4                   | 1.9                                   | 89.0                                       | 11.0                       |
| < Nº 200 |                     |       | 5696.7                  | 11.0                                  | 100.0                                      | 0.0                        |

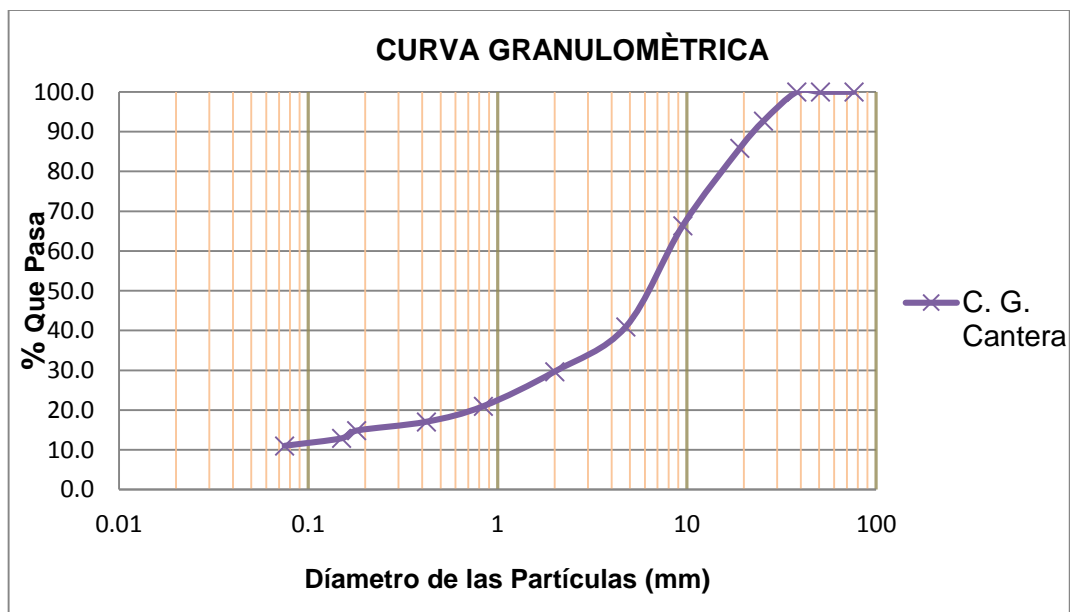


Figura 34: Curva Granulométrica de Suelo - Cantera El Pallar Fuente: (Propia)



Tabla 79: Granulometría por Afirmado del Material de Cantera El Pallar Fuente: (Propia)

| Tamiz   | Abertura (mm) | Límites Granulométricos NTP 400.037 |     | Pesos Retenidos (g) | % Pesos Retenidos | % Pesos Retenidos Acumulados | % Que Pasa |
|---------|---------------|-------------------------------------|-----|---------------------|-------------------|------------------------------|------------|
|         |               | MIN                                 | MAX |                     |                   |                              |            |
| 2"      | 50.00         | 100                                 | 100 | 0.00                | 0.00              | 0.00                         | 100.00     |
| 1 1/2"  | 37.50         | 100                                 | 100 | 0.00                | 0.00              | 0.00                         | 100.00     |
| 1"      | 25.00         | 90                                  | 100 | 3,795.00            | 7.32              | 7.32                         | 92.68      |
| 3/4"    | 19.00         | 65                                  | 100 | 2,473.00            | 4.77              | 12.10                        | 87.90      |
| 3/8"    | 9.50          | 45                                  | 80  | 11,182.00           | 21.58             | 33.67                        | 66.33      |
| Nº04    | 4.75          | 30                                  | 65  | 13,185.00           | 25.44             | 59.12                        | 40.88      |
| Nº10    | 2.00          | 22                                  | 52  | 5,817.30            | 11.23             | 70.34                        | 29.66      |
| Nº40    | 0.425         | 15                                  | 35  | 6,537.10            | 12.62             | 82.96                        | 17.04      |
| Nº200   | 0.075         | 5                                   | 20  | 3,133.90            | 6.05              | 89.01                        | 10.99      |
| Bandeja |               |                                     |     | 5,696.70            | 10.99             | 100.00                       | 0.00       |
| Σ       |               |                                     |     | 51,820.00           | 100.00            | -                            | -          |
| TMN     |               |                                     |     |                     |                   | 1"                           |            |

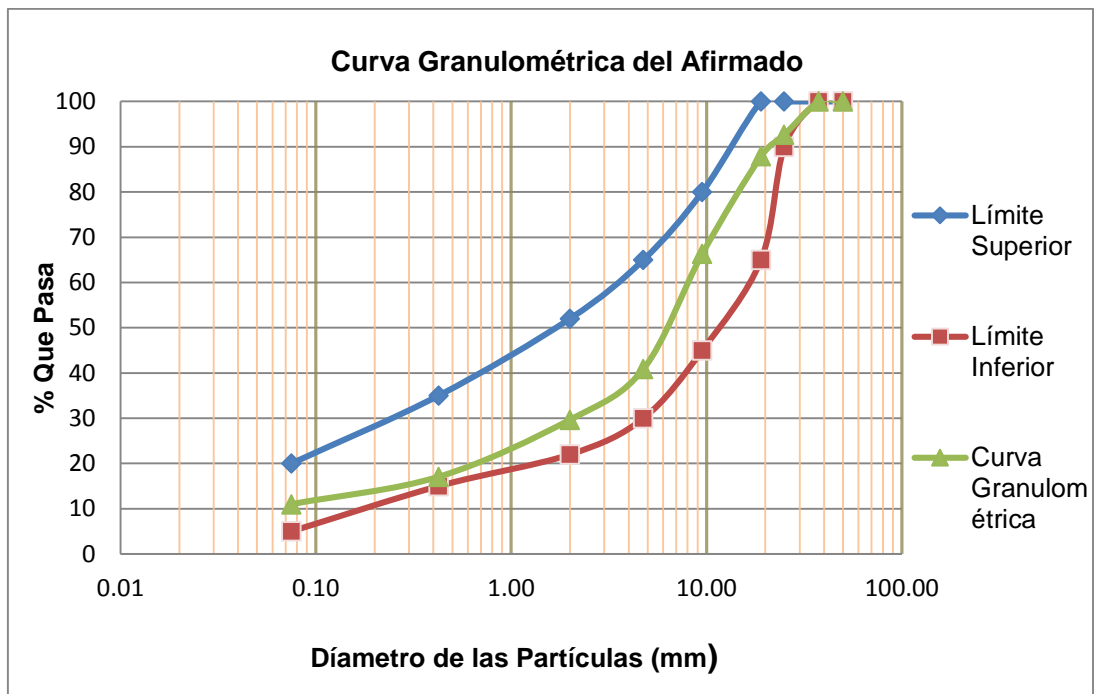


Figura 35: Curva Granulométrica por Afirmado de Cantera El Pallar Fuente: (Propia)

Tabla 80: Granulometría por Base Granular del Material de Cantera El Pallar Fuente: (Propia)

| Tamiz | Abertura (mm) | Límites Granulométricos NTP 400.037 |     | Pesos Retenidos (g) | % Pesos Retenidos | % Pesos Retenidos Acumulados | % Que Pasa |
|-------|---------------|-------------------------------------|-----|---------------------|-------------------|------------------------------|------------|
|       |               | MIN                                 | MAX |                     |                   |                              |            |
| 2"    | 50.00         | 100                                 | 100 | 0.00                | 0.00              | 0.00                         | 100.00     |
| 1"    | 25.00         | 75                                  | 95  | 3,795.00            | 7.32              | 7.32                         | 92.68      |
| 3/8"  | 9.50          | 40                                  | 75  | 13,655.00           | 26.35             | 33.67                        | 66.33      |
| Nº04  | 4.75          | 30                                  | 60  | 13,185.00           | 25.44             | 59.12                        | 40.88      |
| Nº10  | 2.00          | 20                                  | 45  | 5,817.30            | 11.23             | 70.34                        | 29.66      |
| Nº40  | 0.425         | 15                                  | 30  | 6,537.10            | 12.62             | 82.96                        | 17.04      |
| Nº200 | 0.075         | 5                                   | 15  | 3,133.90            | 6.05              | 89.01                        | 10.99      |
|       | Bandeja       |                                     |     | 5,696.70            | 10.99             | 100.00                       | 0.00       |
|       | Σ             |                                     |     | 51,820.00           | 100.00            | -                            | -          |
|       | TMN           |                                     |     |                     |                   | 1"                           |            |

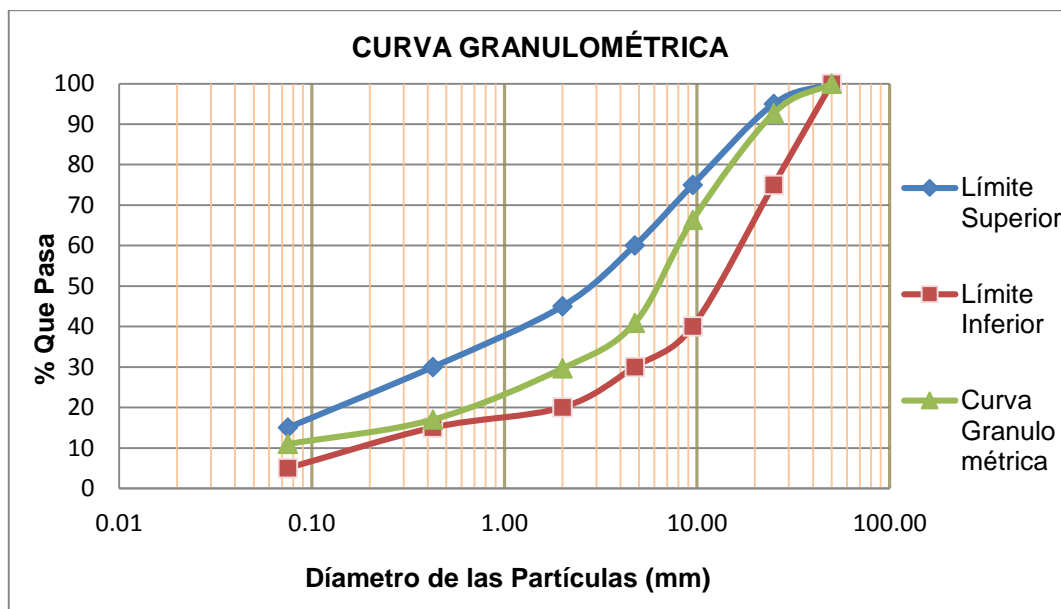


Figura 36: Curva Granulométrica por Base Granular de Cantera El Pallar Fuente: (Propia)

➤ **Contenido de Humedad (ASTM D2216/MTC E108)**

Tabla 81: Contenido de Humedad de Material Cantera Fuente: (Propia)

| DESCRIPCIÓN                  |            | M-1    | M-2         | M-3    |
|------------------------------|------------|--------|-------------|--------|
| Peso de Tarro                | (g)        | 65.00  | 71.50       | 68.70  |
| Peso de Tarro + Suelo Húmedo | (g)        | 245.60 | 269.70      | 250.60 |
| Peso de Tarro + Suelo Seco   | (g)        | 238.20 | 261.80      | 243.27 |
| Peso de Suelo Seco           | (g)        | 173.20 | 190.30      | 174.57 |
| Peso de Agua                 | (g)        | 7.40   | 7.90        | 7.33   |
| % de Humedad                 | (%)        | 4.27   | 4.15        | 4.20   |
| <b>% de Humedad Promedio</b> | <b>(%)</b> |        | <b>4.21</b> |        |

➤ **Peso específico (ASTM D854/AASHTO T-100/MTC E113)**

Tabla 82: Peso Específico de la Cantera el Pallar

| MUESTRA                      | M-01  | M-02        |
|------------------------------|-------|-------------|
| Peso Inicial Muestra (gr.)   | 192.4 | 195.8       |
| Peso Frasco volumétrico      | 151.7 | 145.9       |
| Peso Frasco + Agua           | 645.3 | 642.7       |
| Peso Frasco + Muestra        | 344.1 | 341.7       |
| Peso Frasco + Muestra + Agua | 766.5 | 766.1       |
| Gs                           | 2.702 | 2.704       |
| <b>Gs promedio=</b>          |       | <b>2.70</b> |

➤ **Absorción (ASTM D854/AASHTO T-100/MTC E113)**

| MUESTRA                                 | M-01    | M-02        |
|---|---------|-------------|
| Peso Recipiente 1:                      | 940.00  | 940.00      |
| Peso Rec + Muestra Sat Sup Seca(aire) : | 4225.00 | 4255.00     |
| Peso Muestra Sat Sup Seca :             | 3285.00 | 3315.00     |
| Peso Recipiente 2:                      | 940.00  | 940.00      |
| Peso Rec + Muestra Seca :               | 4172.00 | 4201.00     |
| Peso Muestra Seca :                     | 3232.00 | 3261.00     |
| % Absorción =                           | 1.64    | 1.66        |
| <b>% Absorción =</b>                    |         | <b>1.65</b> |

➤ **Peso Unitario y vacíos de los agregados (MTC E203)**

Tabla 83: *Peso Volumétrico - Agregado Grueso Fuente: (Propia)*

| DESCRIPCION                   | Agregado Grueso |                 |           |            |                 |           |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|------------|-----------------|-----------|
|                               | Suelto          |                 |           | Compactado |                 |           |
| Muestras                      | M-1             | M-2             | M-3       | M-1        | M-2             | M-3       |
| Peso molde (g)                | 7,285.00        | 7,285.00        | 7,285.00  | 7,285.00   | 7,285.00        | 7,285.00  |
| Peso molde + muestra (g)      | 20,002.00       | 19,980.00       | 19,985.00 | 21,184.50  | 21,176.00       | 21,190.00 |
| Peso molde + agua (g)         | 16,692.00       | 16,692.00       | 16,692.00 | 16,692.00  | 16,692.00       | 16,692.00 |
| Peso muestra (g)              | 12,717.00       | 12,695.00       | 12,700.00 | 13,899.50  | 13,891.00       | 13,905.00 |
| Volumen molde                 | 9.41            | 9.41            | 9.41      | 9.41       | 9.41            | 9.41      |
| Peso Volumétrico              | 1,351.87        | 1,349.53        | 1,350.06  | 1,477.57   | 1,476.67        | 1,478.15  |
| <b>Peso Volumétrico Prom.</b> |                 | <b>1,350.48</b> |           |            | <b>1,477.46</b> |           |

Tabla 84: *Peso Volumétrico - Agregado Fino Fuente: (Propia)*

| DESCRIPCION                   | Agregado Fino |                 |          |            |                 |          |
|-------------------------------|---------------|-----------------|----------|------------|-----------------|----------|
|                               | Suelto        |                 |          | Compactado |                 |          |
| Muestras                      | M-1           | M-2             | M-3      | M-1        | M-2             | M-3      |
| Peso molde (g)                | 2,740.00      | 2,740.00        | 2,740.00 | 2,740.00   | 2,740.00        | 2,740.00 |
| Peso molde + muestra (g)      | 7,387.00      | 7,419.00        | 7,415.00 | 7,869.00   | 7,864.00        | 7,872.00 |
| Peso molde + agua (g)         | 5,523.20      | 5,523.20        | 5,523.20 | 5,523.20   | 5,523.20        | 5,523.20 |
| Peso muestra (g)              | 4,647.00      | 4,679.00        | 4,675.00 | 5,129.00   | 5,124.00        | 5,132.00 |
| Volumen molde                 | 2.78          | 2.78            | 2.78     | 2.78       | 2.78            | 2.78     |
| Peso Volumétrico              | 1,669.66      | 1,681.16        | 1,679.72 | 1,842.84   | 1,841.05        | 1,843.92 |
| <b>Peso Volumétrico Prom.</b> |               | <b>1,676.85</b> |          |            | <b>1,842.60</b> |          |

➤ **Límites de Atterberg (ASTM D 4318-84) (NTP 339.19) (MTC E110 E111)**

Tabla 85: *Limites de Atterberg de Material Cantera Fuente: (Propia)*

| LIMITES DE CONSISTENCIA      | LIMITE LIQUIDO |       |       | LIMITE PLASTICO |       |
|------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|
| Nº de Golpes                 | 24             | 26    | 31    | -----           | ----- |
| Peso Tara (g)                | 15.10          | 23.00 | 23.70 | 38.50           | 28.70 |
| Peso Tara + Suelo Húmedo (g) | 24.70          | 34.70 | 32.10 | 45.21           | 33.20 |
| Peso Tara + Suelo Seco (g)   | 22.71          | 32.06 | 30.80 | 44.07           | 32.43 |
| Humedad %                    | 26.15          | 29.14 | 18.36 | 20.47           | 20.64 |
| Limites                      |                | 24.55 |       | 20.56           |       |
| Índice de Plasticidad        |                |       | 4.00  |                 |       |

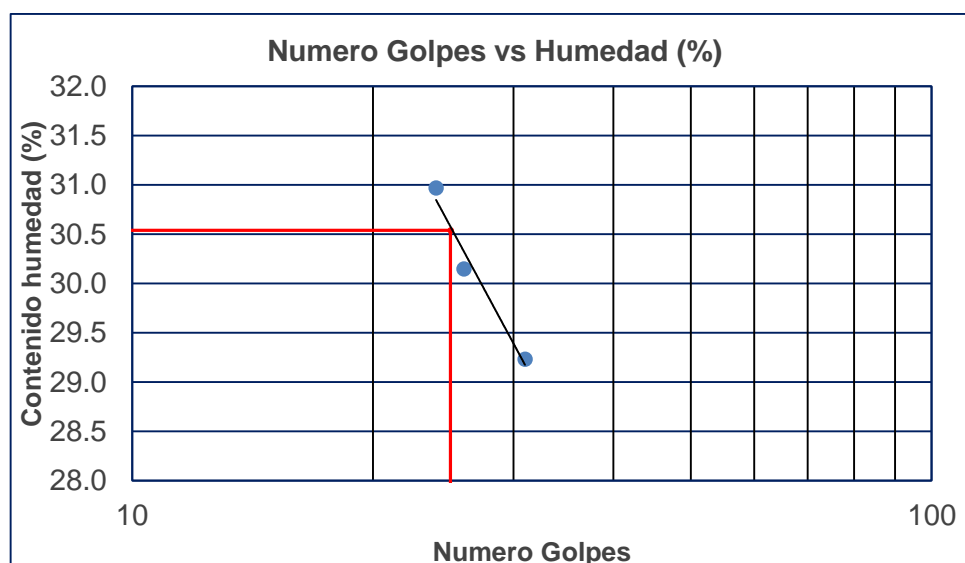


Figura 37: Diagrama de Fluidez de Material Cantera Fuente: (Propia)

➤ **Desgaste por abrasión (MTC E207)**

Tabla 86: Ensayo Desgaste por Abrasión Material de Cantera Fuente: (Propia)

| Parámetros                             | M1      | M2           | M3      |
|--|---------|--------------|---------|
| A = Peso tara (g)                      | 1750.00 | 1500.00      | 1750.00 |
| B = P. Muestra seca + P. tara (g)      | 6750.00 | 6495.00      | 6755.00 |
| C= P. Muestra tamiz N°12 + P. tara (g) | 5458.40 | 5208.40      | 5458.40 |
| Pa = (B-A): P. Muestra seca (g)        | 5000.00 | 4995.00      | 5005.00 |
| Pb = (C-A): P. Muestra tamiz N°12 (g)  | 3708.40 | 3708.40      | 3708.40 |
| % de Desgaste = ((Pa-Pb)/Pa)x100       | 25.83   | 25.76        | 25.91   |
| <b>Desgaste promedio (%)</b>           |         | <b>25.83</b> |         |

➤ **Proctor Modificado (ASTM D1557) (NPT 339.141) (MTC E115)**

Tabla 87: Ensayo Proctor Modificado con Material de Cantera. Fuente:(Propia)

| Determinación del Contenido de Humedad   |     |             |        |             |        |             |        |              |        |
|--|-----|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|--------------|--------|
| Muestra N°                               |     | 1           | 2      | 3           | 4      |             |        |              |        |
| Peso de lata + suelo húmedo              | (g) | 161.20      | 155.40 | 122.90      | 139.40 | 137.40      | 149.60 | 115.10       | 125.70 |
| Peso de lata + suelo seco                | (g) | 157.10      | 151.90 | 118.40      | 135.10 | 131.30      | 142.00 | 110.50       | 120.60 |
| Peso de lata                             | (g) | 52.70       | 67.50  | 44.20       | 62.80  | 56.10       | 48.30  | 64.90        | 51.60  |
| Peso de suelo seco                       | (g) | 104.40      | 84.40  | 74.20       | 72.30  | 75.20       | 93.70  | 45.60        | 69.00  |
| Peso de agua                             | (g) | 4.10        | 3.50   | 4.50        | 4.30   | 6.10        | 7.60   | 4.60         | 7.10   |
| Contenido de humedad                     | (%) | 3.93        | 4.15   | 6.06        | 5.95   | 8.11        | 8.11   | 10.09        | 10.29  |
| <b>Contenido de humedad promedio (%)</b> |     | <b>4.04</b> |        | <b>6.01</b> |        | <b>8.11</b> |        | <b>10.19</b> |        |

| Determinación de la Densidad        |                           |         |         |              |         |
|-------------------------------------|---------------------------|---------|---------|--------------|---------|
| Contenido de humedad                | (%)                       | 4.04    | 6.01    | 8.11         | 10.19   |
| Peso del proctor + suelo compactado | (g)                       | 7567.60 | 7838.00 | 7795.40      | 7660.30 |
| Peso del proctor                    | (g)                       | 2986.00 | 2986.00 | 2986.00      | 2986.00 |
| Peso de suelo compactado            | (g)                       | 4581.60 | 4852.00 | 4809.40      | 4674.30 |
| Densidad húmeda                     | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.167   | 2.295   | 2.275        | 2.211   |
| Densidad seca                       | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.083   | 2.165   | 2.104        | 2.007   |
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> |         |         | <b>2.165</b> |         |
| <b>Optimo Contenido de Humedad</b>  | <b>(%)</b>                |         |         | <b>6.010</b> |         |

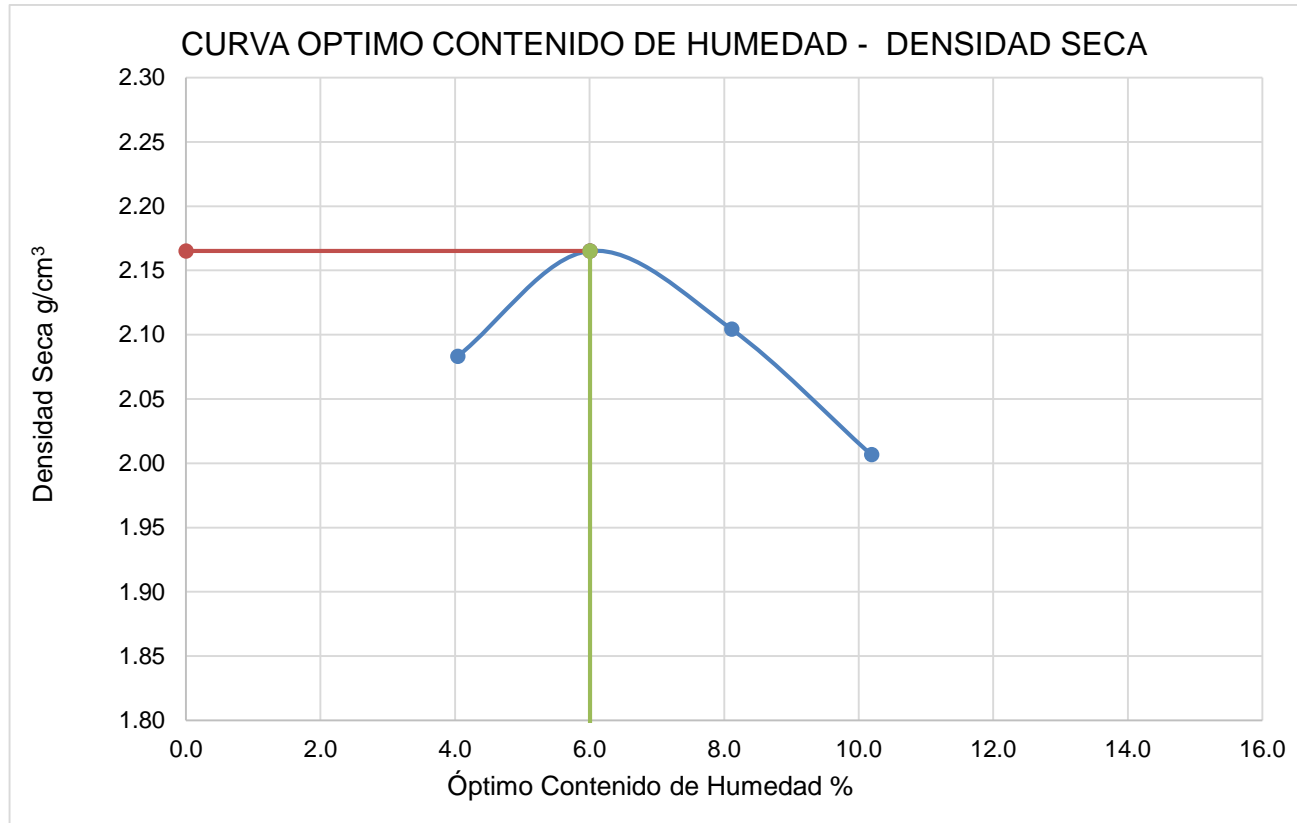


Figura 38: Curva de Optimo Contenido de Humedad vs Densidad Seca de Material Cantera Fuente: (Propia)

➤ **California Bearing Ratio (CBR) (ASTM D1883/MTC E132)**

Tabla 88: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera Fuente: (Propia)

| Compactación de Especímenes             |                           |           |        |           |        |           |        |
|---|---------------------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| Molde N°                                |                           | 1         |        | 2         |        | 3         |        |
| N° Capa                                 |                           | 5         |        | 5         |        | 5         |        |
| Golpes por capa N°                      |                           | 56        |        | 26        |        | 12        |        |
| Cond. de la muestra                     |                           | Saturada  |        | Saturada  |        | Saturada  |        |
| Peso molde + Suelo húmedo               | (g)                       | 12,677.00 |        | 12,848.00 |        | 12,822.00 |        |
| Peso de molde                           | (g)                       | 8,031.00  |        | 8,172.00  |        | 8,308.00  |        |
| Peso del suelo húmedo                   | (g)                       | 4,646.00  |        | 4,676.00  |        | 4,514.00  |        |
| Volumen del molde                       | (cm <sup>3</sup> )        | 2,022.00  |        | 2,122.00  |        | 2,110.00  |        |
| <b>Densidad húmeda</b>                  | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.30      |        | 2.20      |        | 2.14      |        |
| Contenido de humedad de los especímenes |                           |           |        |           |        |           |        |
| Tarro N°                                |                           | 1         | 2      | 1         | 2      | 1         | 2      |
| Tarro + Suelo húmedo                    | (g)                       | 104.15    | 432.46 | 101.11    | 140.73 | 104.19    | 215.53 |
| Tarro + Suelo seco                      | (g)                       | 99.52     | 409.80 | 96.78     | 134.20 | 100.05    | 204.81 |
| Peso del Agua                           | (g)                       | 4.63      | 22.66  | 4.33      | 6.53   | 4.14      | 10.72  |
| Peso del tarro                          | (g)                       | 22.97     | 26.74  | 25.63     | 24.69  | 30.69     | 27.42  |
| Peso del suelo seco                     | (g)                       | 76.55     | 383.06 | 71.15     | 109.51 | 69.36     | 177.39 |
| <b>Humedad</b>                          | <b>(%)</b>                | 6.05      | 5.92   | 6.09      | 5.96   | 5.97      | 6.04   |
| <b>Densidad seca</b>                    | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.17      |        | 2.08      |        | 2.02      |        |



| Hora | Expansión               |           |      |                         |           |      |                         |           |      |
|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|
|      | Molde de 56 golpes/capa |           |      | Molde de 26 golpes/capa |           |      | Molde de 12 golpes/capa |           |      |
|      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      |
|      |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |
| 24   | 14                      | 0.04      | 0.03 | 20.00                   | 0.05      | 0.04 | 27.00                   | 0.07      | 0.05 |
| 48   | 22                      | 0.06      | 0.04 | 32.00                   | 0.08      | 0.06 | 38.00                   | 0.10      | 0.08 |
| 72   | 34                      | 0.09      | 0.07 | 46.00                   | 0.12      | 0.09 | 53.00                   | 0.13      | 0.11 |
| 96   | 45                      | 0.11      | 0.09 | 58.00                   | 0.15      | 0.12 | 68.00                   | 0.17      | 0.14 |

| Penetración<br>mm | Carga<br>Estándar<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Penetración             |                    |           |                         |                    |           |                         |                    |           |
|-------------------|---|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|
|                   |   | Molde de 56 golpes/capa |                    |           | Molde de 26 golpes/capa |                    |           | Molde de 12 golpes/capa |                    |           |
|                   |   | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida |
| 0.63              |   | 99.00                   | 5.12               |           | 67.00                   | 3.46               |           | 45.00                   | 2.33               |           |
| 1.27              |   | 203.00                  | 10.49              |           | 141.00                  | 7.29               |           | 100.00                  | 5.17               |           |
| 1.90              |   | 454.00                  | 23.46              |           | 250.00                  | 12.92              |           | 202.00                  | 10.44              |           |
| 2.54              | 70.31                                   | 692.00                  | 35.75              | 43.60     | 480.00                  | 24.80              | 25.98     | 366.00                  | 18.91              | 19.36     |
| 3.17              |   | 903.00                  | 46.66              |           | 550.00                  | 28.42              |           | 415.00                  | 21.44              |           |
| 3.81              |   | 1106.00                 | 56.83              |           | 738.00                  | 38.13              |           | 605.00                  | 31.26              |           |
| 5.08              | 105.46                                  | 1555.00                 | 80.34              | 87.20     | 1007.00                 | 52.03              | 51.96     | 790.00                  | 40.82              | 38.73     |
| 7.62              |   | 2280.00                 | 117.80             |           | 1338.00                 | 69.13              |           | 1045.00                 | 53.99              |           |
| 10.16             |   | 3032.00                 | 156.55             |           | 1790.00                 | 92.48              |           | 1396.00                 | 72.13              |           |
| 12.70             |   | 3307.00                 | 170.50             |           | 2234.00                 | 115.42             |           | 1820.00                 | 94.03              |           |

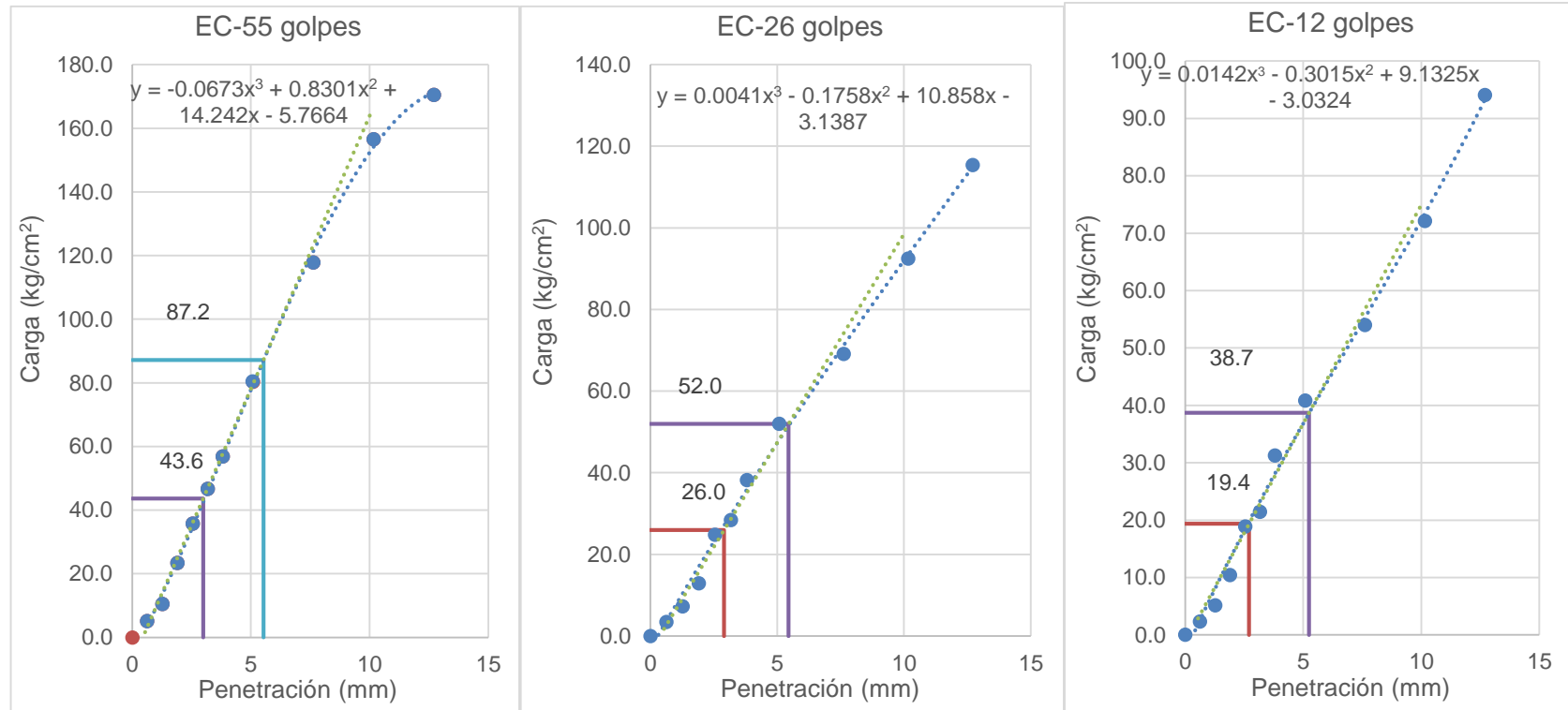


Figura 39: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera Fuente: (Propio)

| Proctor / Densidad Natural / O.C.H. |                      |  |       |
|-------------------------------------|----------------------|--|-------|
| Máxima Dens. Seca                   | (g/cm <sup>3</sup> ) |  | 2.170 |
| 95% de la M.D.S.                    | (g/cm <sup>3</sup> ) |  | 2.062 |
| Optimo Humedad                      | (%)                  |  | 6.00  |

| Nº golpes | C.B.R. (1") | C.B.R. (2") | Densidad |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| 55        | 62.0        | 82.7        | 2.168    |
| 26        | 36.9        | 49.3        | 2.078    |
| 12        | 27.5        | 36.7        | 2.018    |

| RESULTADOS DE C.B.R. (1")   |      |
|-----------------------------|------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 62.0 |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | 34.2 |

| RESULTADOS DE C.B.R. (2")   |      |
|-----------------------------|------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 82.7 |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | 45.8 |

| % de Expansión |      |
|----------------|------|
|                | Bajo |

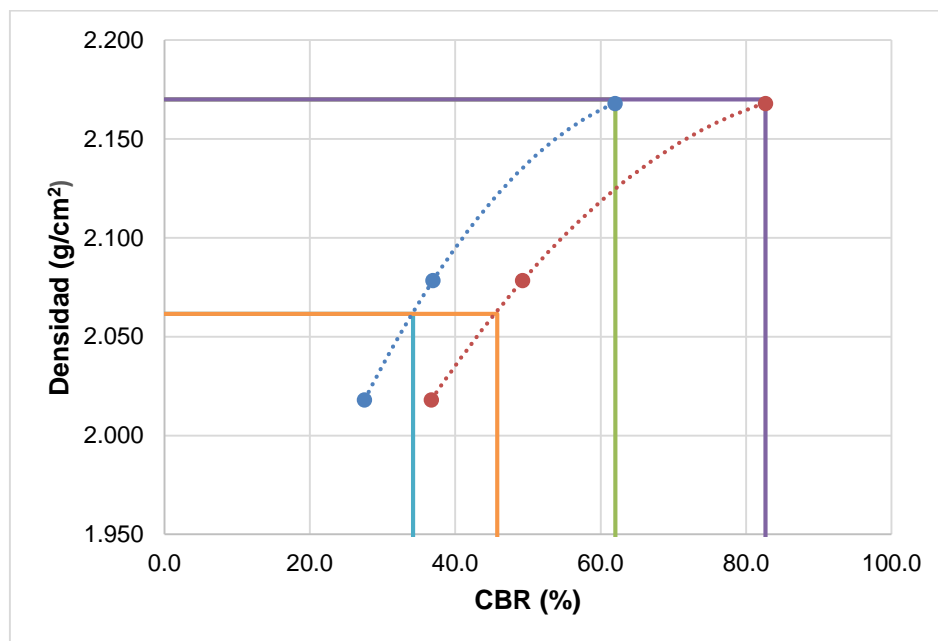


Figura 40: Relación CBR vs Densidad Seca del Material de Canteras Fuente: (Propia)

## APÉNDICE Nº 2.3: Resultados del Material Afirmado Estabilizado con Emulsión Asfáltica CSS-1H

### ➤ Proctor Modificado (ASTM D1557) (NPT 339.141) (MTC E115)

Tabla 89: Ensayo Proctor Modificado al 1.5% de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Determinación del Contenido de Humedad   |     |             |             |        |        |             |        |             |        |
|--|-----|-------------|-------------|--------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| Muestra Nº                               |     | 1           | 2           | 3      | 4      |             |        |             |        |
| Peso de lata + suelo húmedo              | (g) | 161.20      | 153.20      | 122.40 | 139.00 | 136.60      | 148.80 | 111.70      | 126.10 |
| Peso de lata + suelo seco                | (g) | 158.80      | 151.50      | 119.30 | 135.90 | 132.10      | 142.90 | 108.20      | 120.60 |
| Peso de lata                             | (g) | 52.70       | 67.50       | 44.20  | 62.80  | 56.10       | 48.30  | 64.90       | 51.60  |
| Peso de suelo seco                       | (g) | 106.10      | 84.00       | 75.10  | 73.10  | 76.00       | 94.60  | 43.30       | 69.00  |
| Peso de agua                             | (g) | 2.40        | 1.70        | 3.10   | 3.10   | 4.50        | 5.90   | 3.50        | 5.50   |
| Contenido de humedad                     | (%) | 2.26        | 2.02        | 4.13   | 4.24   | 5.92        | 6.24   | 8.08        | 7.97   |
| <b>Contenido de humedad promedio (%)</b> |     | <b>2.14</b> | <b>4.18</b> |        |        | <b>6.08</b> |        | <b>8.03</b> |        |

| Determinación de la Densidad        |                           |         |         |              |         |
|-------------------------------------|---------------------------|---------|---------|--------------|---------|
| Contenido de humedad                | (%)                       | 2.14    | 4.18    | 6.08         | 8.03    |
| Peso del proctor + suelo compactado | (g)                       | 7307.60 | 7488.60 | 7633.00      | 7658.00 |
| Peso del proctor                    | (g)                       | 2764.90 | 2764.90 | 2764.90      | 2764.90 |
| Peso de suelo compactado            | (g)                       | 4542.70 | 4723.70 | 4868.10      | 4893.10 |
| Densidad húmeda                     | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.139   | 2.224   | 2.292        | 2.304   |
| Densidad seca                       | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.094   | 2.135   | 2.161        | 2.133   |
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> |         |         | <b>2.161</b> |         |
| <b>Optimo Contenido de Humedad</b>  | <b>(%)</b>                |         |         | <b>6.080</b> |         |

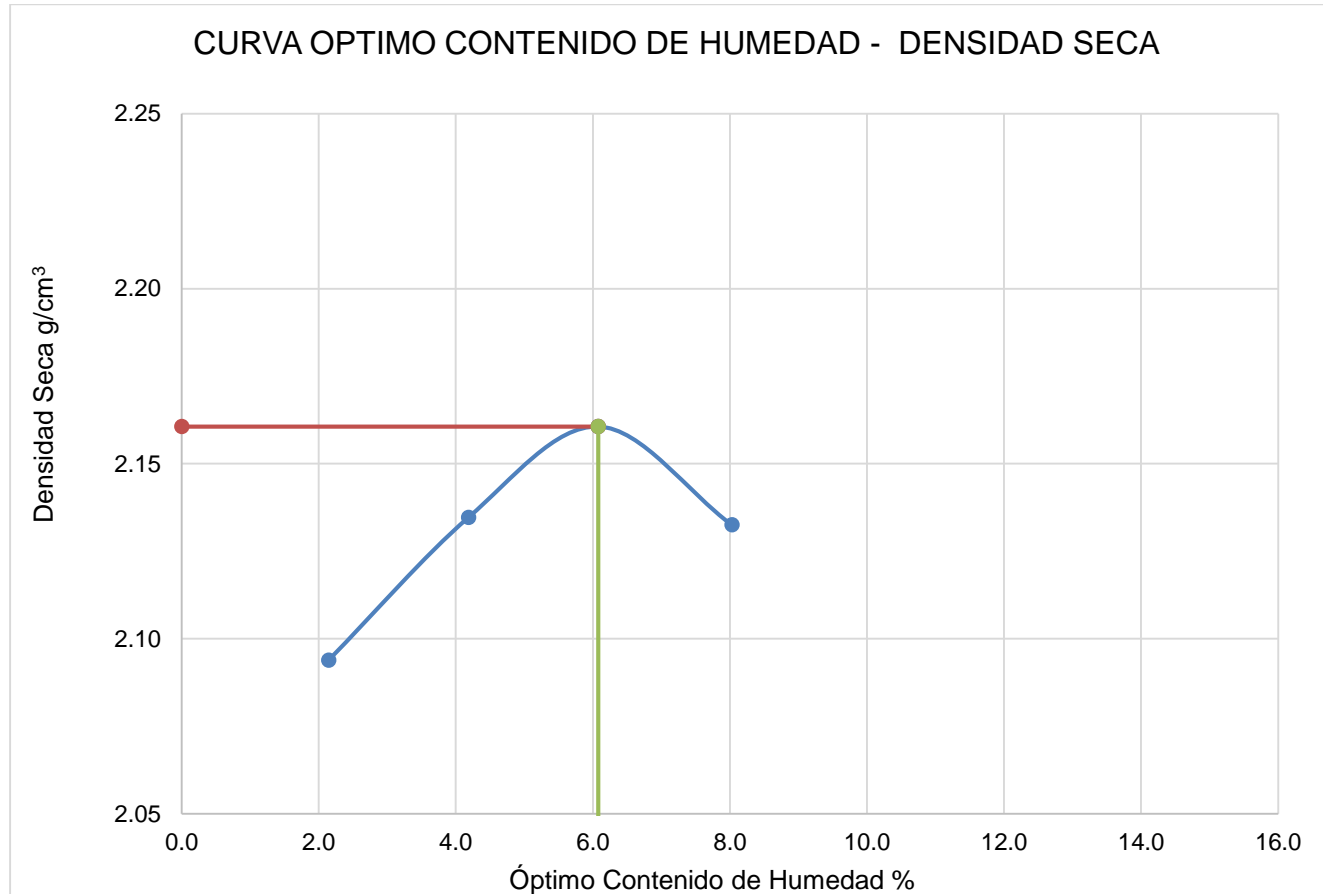


Figura 41: Curva Optimo Contenido de Humedad – Densidad Seca al 1.5% de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

Tabla 90: Ensayo Proctor Modificado al 3.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Determinación del Contenido de Humedad   |     |             |        |             |        |             |        |             |        |
|--|-----|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| Muestra N°                               |     | 1           | 2      | 3           | 4      |             |        |             |        |
| Peso de lata + suelo húmedo              | (g) | 143.21      | 151.09 | 137.74      | 155.78 | 148.03      | 144.23 | 136.14      | 156.42 |
| Peso de lata + suelo seco                | (g) | 141.02      | 148.86 | 134.49      | 151.60 | 141.97      | 138.83 | 130.18      | 149.21 |
| Peso de lata                             | (g) | 39.45       | 41.82  | 50.67       | 52.37  | 44.71       | 48.36  | 54.50       | 59.80  |
| Peso de suelo seco                       | (g) | 101.57      | 107.04 | 83.82       | 99.23  | 97.26       | 90.47  | 75.68       | 89.41  |
| Peso de agua                             | (g) | 2.19        | 2.23   | 3.25        | 4.18   | 6.06        | 5.40   | 5.96        | 7.21   |
| Contenido de humedad                     | (%) | 2.2         | 2.1    | 3.9         | 4.2    | 6.2         | 6.0    | 7.9         | 8.1    |
| <b>Contenido de humedad promedio (%)</b> |     | <b>2.12</b> |        | <b>4.05</b> |        | <b>6.10</b> |        | <b>7.97</b> |        |

| Determinación de la Densidad        |                           |         |         |              |         |
|-------------------------------------|---------------------------|---------|---------|--------------|---------|
| Contenido de humedad                | (%)                       | 2.12    | 4.05    | 6.10         | 7.97    |
| Peso del proctor + suelo compactado | (g)                       | 7337.00 | 7496.90 | 7684.30      | 7709.50 |
| Peso del proctor                    | (g)                       | 2764.90 | 2764.90 | 2764.90      | 2764.90 |
| Peso de suelo compactado            | (g)                       | 4572.10 | 4732.00 | 4919.40      | 4944.60 |
| Densidad húmeda                     | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.153   | 2.228   | 2.316        | 2.328   |
| Densidad seca                       | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.108   | 2.141   | 2.183        | 2.156   |
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> |         |         | <b>2.183</b> |         |
| <b>Optimo Contenido de Humedad</b>  | <b>(%)</b>                |         |         | <b>6.100</b> |         |

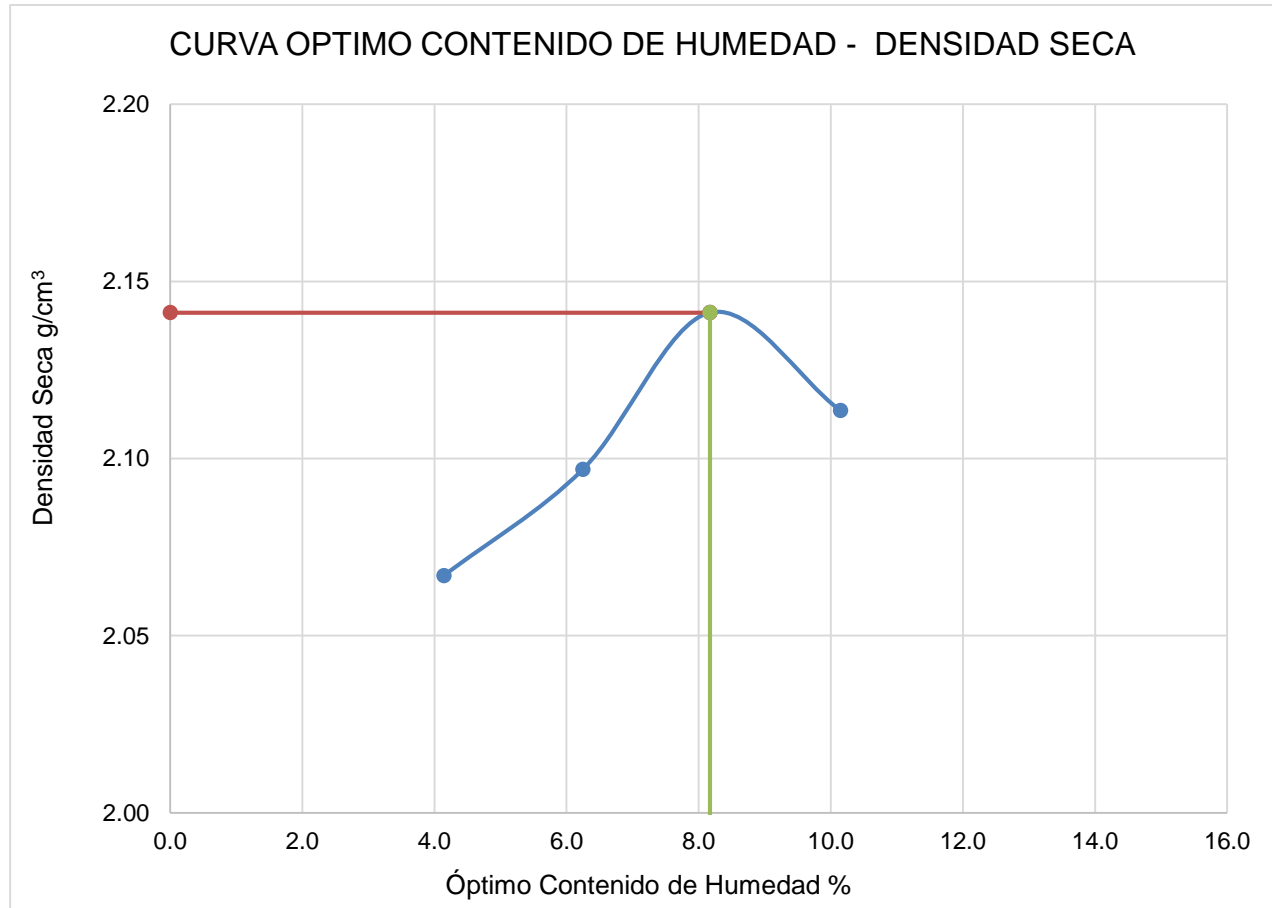


Figura 42: Curva Optimo Contenido de Humedad – Densidad Seca al 3.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

Tabla 91: Ensayo Proctor Modificado al 4.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Determinación del Contenido de Humedad   |     |             |             |             |             |        |        |        |        |
|--|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra N°                               |     | 1           | 2           | 3           | 4           |        |        |        |        |
| Peso de lata + suelo húmedo              | (g) | 145.32      | 157.96      | 143.38      | 158.12      | 141.38 | 147.66 | 131.96 | 134.87 |
| Peso de lata + suelo seco                | (g) | 143.13      | 155.90      | 139.86      | 153.89      | 135.96 | 142.05 | 126.01 | 128.65 |
| Peso de lata                             | (g) | 48.30       | 51.97       | 50.32       | 48.76       | 47.49  | 45.21  | 50.69  | 52.41  |
| Peso de suelo seco                       | (g) | 94.83       | 103.93      | 89.54       | 105.13      | 88.47  | 96.84  | 75.32  | 76.24  |
| Peso de agua                             | (g) | 2.19        | 2.06        | 3.52        | 4.23        | 5.42   | 5.61   | 5.95   | 6.22   |
| Contenido de humedad                     | (%) | 2.31        | 1.98        | 3.93        | 4.02        | 6.13   | 5.79   | 7.90   | 8.16   |
| <b>Contenido de humedad promedio (%)</b> |     | <b>2.15</b> | <b>3.98</b> | <b>5.96</b> | <b>8.03</b> |        |        |        |        |

| Determinación de la Densidad        |                           |         |         |              |         |
|-------------------------------------|---------------------------|---------|---------|--------------|---------|
| Contenido de humedad                | (%)                       | 2.15    | 3.98    | 5.96         | 8.03    |
| Peso del proctor + suelo compactado | (g)                       | 7378.91 | 7548.32 | 7743.50      | 7776.30 |
| Peso del proctor                    | (g)                       | 2764.90 | 2764.90 | 2764.90      | 2764.90 |
| Peso de suelo compactado            | (g)                       | 4614.01 | 4783.42 | 4978.60      | 5011.40 |
| Densidad húmeda                     | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.172   | 2.252   | 2.344        | 2.359   |
| Densidad seca                       | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.127   | 2.166   | 2.212        | 2.184   |
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> |         |         | <b>2.212</b> |         |
| <b>Optimo Contenido de Humedad</b>  | <b>(%)</b>                |         |         | <b>5.960</b> |         |



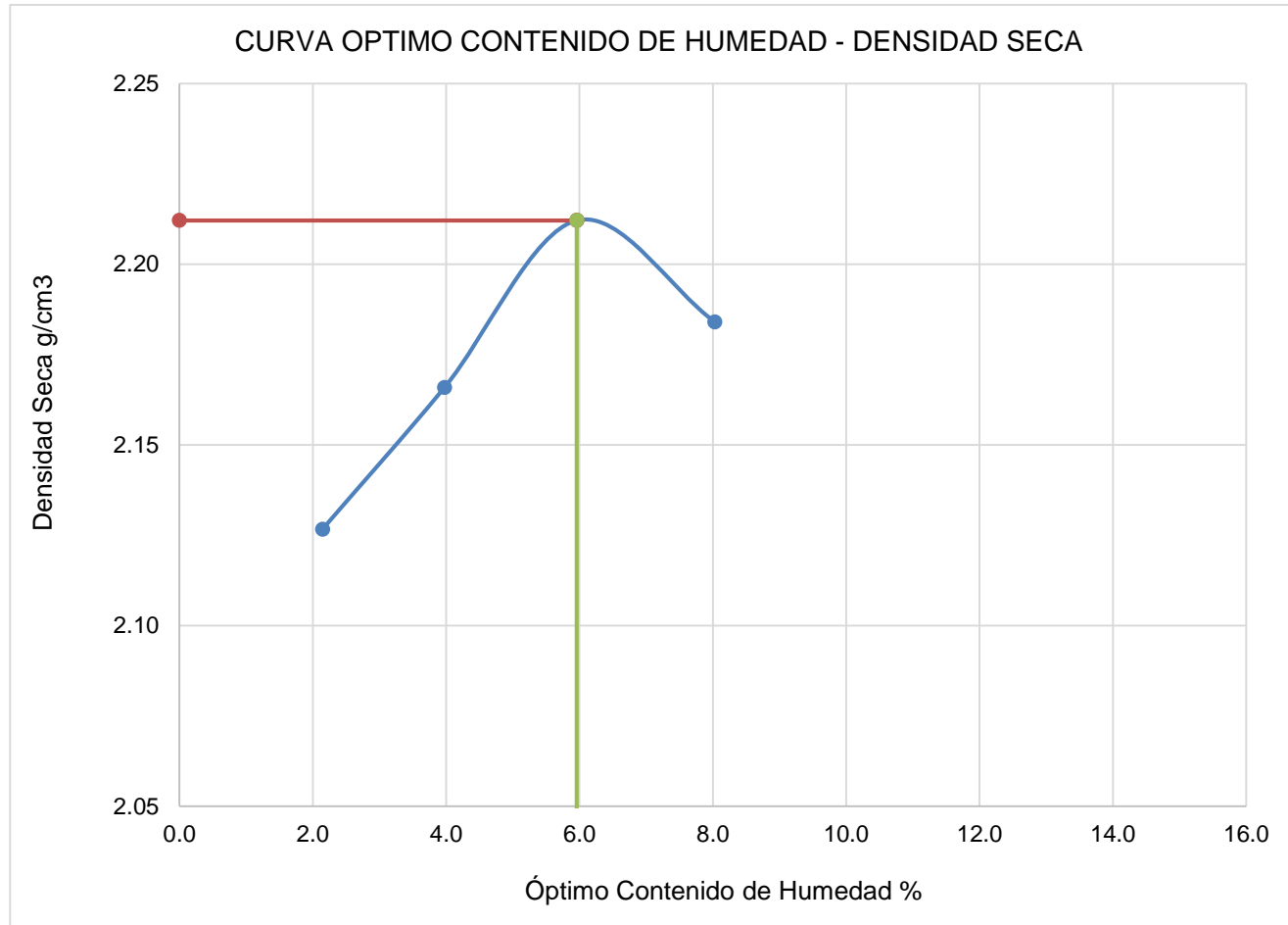


Figura 43: Curva Optimo Contenido de Humedad – Densidad Seca al 4.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

Tabla 92: Ensayo Proctor Modificado al 6.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Determinación del Contenido de Humedad   |     |             |             |             |             |        |        |        |        |
|--|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra N°                               |     | 1           | 2           | 3           | 4           |        |        |        |        |
| Peso de lata + suelo húmedo              | (g) | 135.20      | 155.90      | 131.25      | 161.40      | 157.25 | 141.01 | 131.46 | 137.34 |
| Peso de lata + suelo seco                | (g) | 133.59      | 153.92      | 128.57      | 157.14      | 151.75 | 135.97 | 125.83 | 131.74 |
| Peso de lata                             | (g) | 50.60       | 57.20       | 62.80       | 55.30       | 61.70  | 54.90  | 54.50  | 59.80  |
| Peso de suelo seco                       | (g) | 82.99       | 96.72       | 65.77       | 101.84      | 90.05  | 81.07  | 71.33  | 71.94  |
| Peso de agua                             | (g) | 1.61        | 1.98        | 2.68        | 4.26        | 5.50   | 5.04   | 5.63   | 5.60   |
| Contenido de humedad                     | (%) | 1.94        | 2.05        | 4.07        | 4.18        | 6.11   | 6.22   | 7.89   | 7.78   |
| <b>Contenido de humedad promedio (%)</b> |     | <b>1.99</b> | <b>4.13</b> | <b>6.16</b> | <b>7.84</b> |        |        |        |        |

| Determinación de la Densidad        |                           |         |         |              |         |
|-------------------------------------|---------------------------|---------|---------|--------------|---------|
| Contenido de humedad                | (%)                       | 1.99    | 4.13    | 6.16         | 7.84    |
| Peso del proctor + suelo compactado | (g)                       | 7228.00 | 7461.90 | 7661.80      | 7676.20 |
| Peso del proctor                    | (g)                       | 2764.90 | 2764.90 | 2764.90      | 2764.90 |
| Peso de suelo compactado            | (g)                       | 4463.10 | 4697.00 | 4896.90      | 4911.30 |
| Densidad húmeda                     | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.101   | 2.211   | 2.306        | 2.312   |
| Densidad seca                       | (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.060   | 2.124   | 2.172        | 2.144   |
| <b>Máxima Densidad Seca</b>         | <b>(g/cm<sup>3</sup>)</b> |         |         | <b>2.172</b> |         |
| <b>Optimo Contenido de Humedad</b>  | <b>(%)</b>                |         |         | <b>6.160</b> |         |

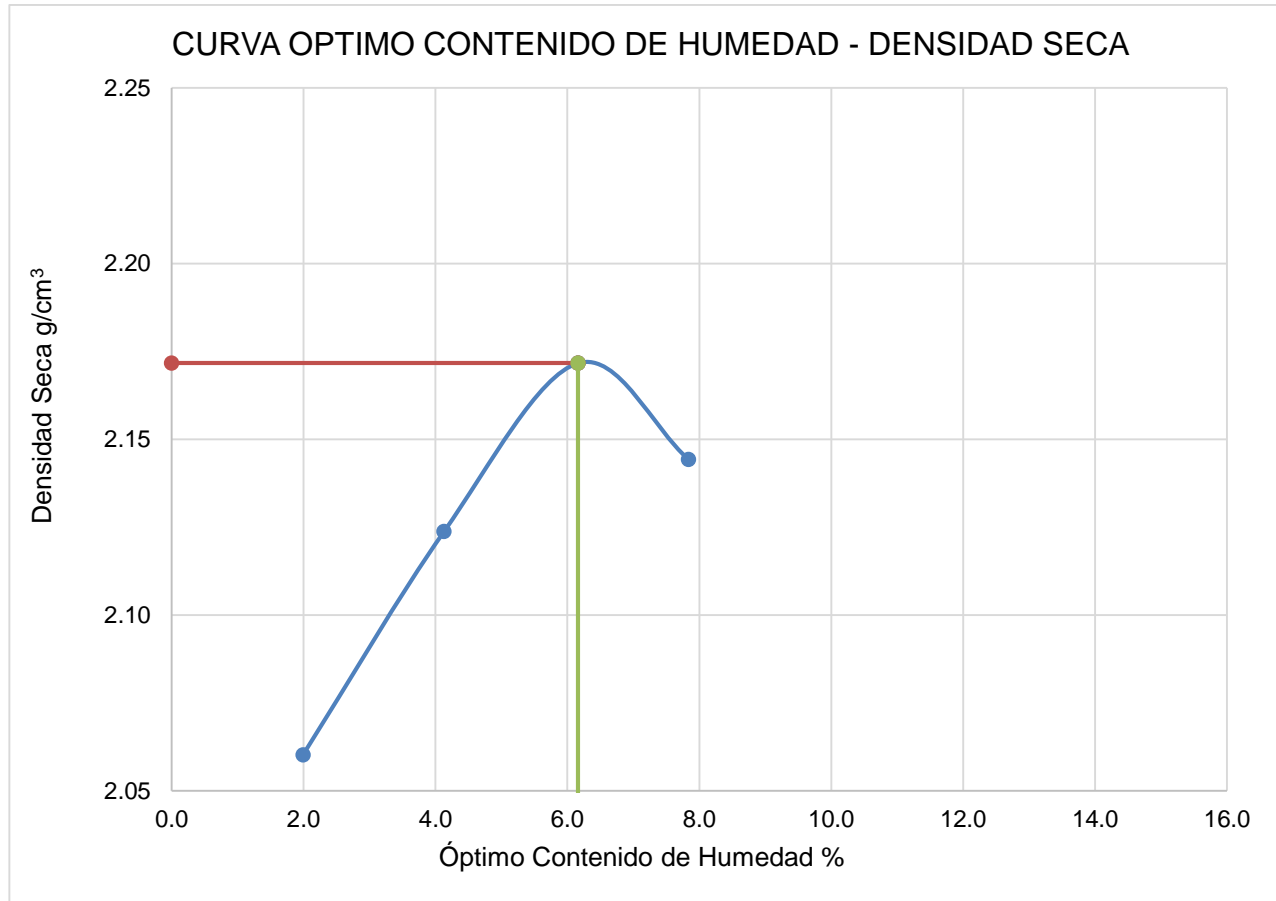


Figura 44: Curva Optimo Contenido de Humedad – Densidad Seca al 6.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

➤ **California Bearing Ratio (CBR) (ASTM D1883) (MTC E132)**

Tabla 93: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera al 1.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Compactación de Especímenes                |  |          |        |          |        |          |        |
|--|--|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| <b>Molde N°</b>                            |  | 1        |        | 2        |        | 3        |        |
| <b>N° Capa</b>                             |  | 5        |        | 5        |        | 5        |        |
| <b>Golpes por capa N°</b>                  |  | 56       |        | 26       |        | 12       |        |
| Cond. de la muestra                        |  | Saturada |        | Saturada |        | Saturada |        |
| Peso molde + Suelo húmedo                  |  | 12,657   |        | 12,844   |        | 12,814   |        |
| Peso de molde (g)                          |  | 8,031    |        | 8,172    |        | 8,308    |        |
| Peso del suelo húmedo (g)                  |  | 4,626    |        | 4,672    |        | 4,506    |        |
| Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )       |  | 2,022    |        | 2,122    |        | 2,110    |        |
| <b>Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>)</b> |  | 2.29     |        | 2.20     |        | 2.14     |        |
| Contenido de humedad de los especímenes    |  |          |        |          |        |          |        |
| Tarro N°                                   |  | 1        | 2      | 1        | 2      | 1        | 2      |
| Tarro + Suelo húmedo (g)                   |  | 104.42   | 432.9  | 102.22   | 141.8  | 104.26   | 217.47 |
| Tarro + Suelo seco (g)                     |  | 99.82    | 409.8  | 97.78    | 135.2  | 100.05   | 206.81 |
| Peso del Agua (g)                          |  | 4.6      | 23.1   | 4.44     | 6.6    | 4.21     | 10.66  |
| Peso del tarro (g)                         |  | 22.97    | 26.74  | 25.63    | 24.69  | 30.69    | 27.42  |
| Peso del suelo seco (g)                    |  | 76.85    | 383.06 | 72.15    | 110.51 | 69.36    | 179.39 |
| <b>Humedad (%)</b>                         |  | 5.99     | 6.03   | 6.15     | 5.97   | 6.07     | 5.94   |
| <b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>   |  | 2.158    |        | 2.076    |        | 2.015    |        |

| Hora | Expansión               |           |      |                         |           |      |                         |           |      |
|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|
|      | Molde de 56 golpes/capa |           |      | Molde de 26 golpes/capa |           |      | Molde de 12 golpes/capa |           |      |
|      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      |
|      |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |
| 24   | 14                      | 0.04      | 0.03 | 20.00                   | 0.05      | 0.04 | 27.00                   | 0.07      | 0.05 |
| 48   | 22                      | 0.06      | 0.04 | 32.00                   | 0.08      | 0.06 | 38.00                   | 0.10      | 0.08 |
| 72   | 34                      | 0.09      | 0.07 | 46.00                   | 0.12      | 0.09 | 53.00                   | 0.13      | 0.11 |
| 96   | 45                      | 0.11      | 0.09 | 58.00                   | 0.15      | 0.12 | 68.00                   | 0.17      | 0.14 |

| Penetración<br>mm | Carga<br>Estándar<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Penetración             |                    |           |                         |                    |           |                         |                    |           |
|-------------------|---|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|
|                   |   | Molde de 56 golpes/capa |                    |           | Molde de 26 golpes/capa |                    |           | Molde de 12 golpes/capa |                    |           |
|                   |   | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida |
| 0.63              |   | 99.00                   | 5.12               |           | 67.00                   | 3.46               |           | 45.00                   | 2.33               |           |
| 1.27              |   | 203.00                  | 10.49              |           | 141.00                  | 7.29               |           | 100.00                  | 5.17               |           |
| 1.90              |   | 454.00                  | 23.46              |           | 250.00                  | 12.92              |           | 202.00                  | 10.44              |           |
| 2.54              | 70.31                                   | 692.00                  | 35.75              | 46.80     | 480.00                  | 24.80              | 28.80     | 366.00                  | 18.91              | 23.20     |
| 3.17              |   | 903.00                  | 46.66              |           | 550.00                  | 28.42              |           | 415.00                  | 21.44              |           |
| 3.81              |   | 1106.00                 | 56.83              |           | 738.00                  | 38.13              |           | 605.00                  | 31.26              |           |
| 5.08              | 105.46                                  | 1555.00                 | 82.00              | 91.20     | 1007.00                 | 54.00              | 54.00     | 790.00                  | 41.40              | 43.90     |
| 7.62              |   | 2280.00                 | 117.80             |           | 1338.00                 | 69.13              |           | 1045.00                 | 53.99              |           |
| 10.16             |   | 3032.00                 | 156.55             |           | 1790.00                 | 92.48              |           | 1396.00                 | 72.13              |           |
| 12.70             |   | 3307.00                 | 170.50             |           | 2234.00                 | 115.42             |           | 1820.00                 | 94.03              |           |

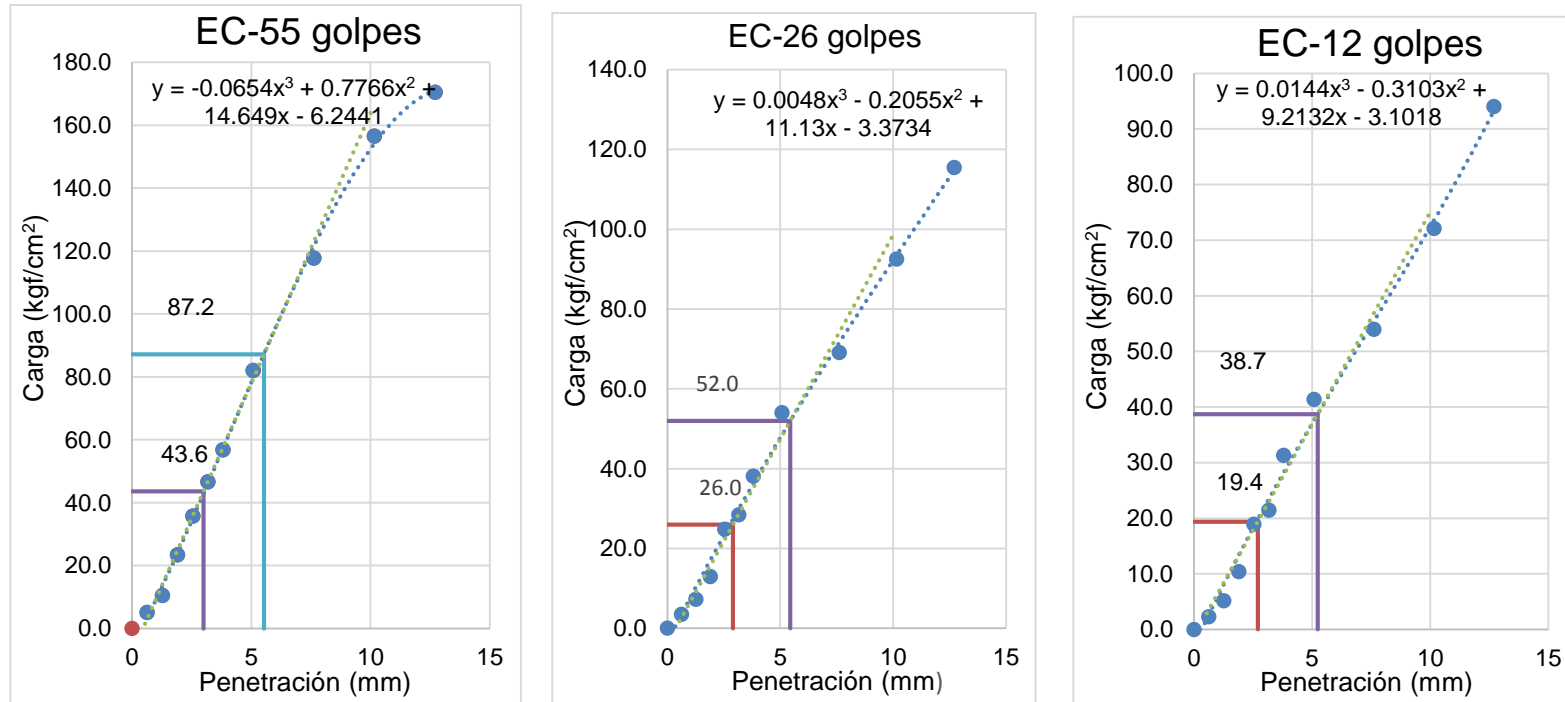


Figura 45: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera al 1.5% de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Proctor / Densidad Natural / O.C.H. |                      |       |
|-------------------------------------|----------------------|-------|
| Máxima Dens. Seca                   | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.160 |
| 95% de la M.D.S.                    | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.052 |
| Optimo Humedad                      | (%)                  | 6.00  |

| Nº golpes | C.B.R. (1") | C.B.R. (2") | Densidad |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| 55        | 66.6        | 86.5        | 2.158    |
| 26        | 41.0        | 51.2        | 2.076    |
| 12        | 33.0        | 41.6        | 2.015    |

| RESULTADOS DE C.B.R. (1")   |             |
|-----------------------------|-------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 66.6        |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>37.5</b> |

| RESULTADOS DE C.B.R. (2")   |             |
|-----------------------------|-------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 86.5        |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>46.8</b> |

| % de Expansión | Bajo |
|----------------|------|
|----------------|------|

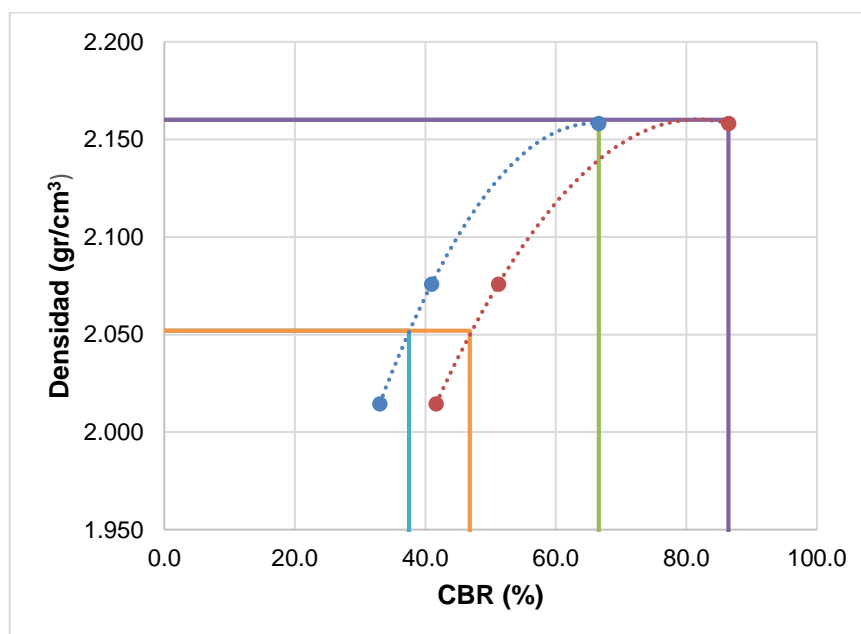


Figura 46: Relación CBR vs Densidad Seca del Materia de Cantera con 1.5 % de Emulsión Asfáltica  
Fuente: (Propia)

Tabla 94: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera al 3.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Compactación de Especímenes                |  |           |        |           |        |           |        |
|--|--|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| <b>Molde N°</b>                            |  | 1         |        | 2         |        | 3         |        |
| <b>N° Capa</b>                             |  | 5         |        | 5         |        | 5         |        |
| <b>Golpes por capa N°</b>                  |  | 56        |        | 26        |        | 12        |        |
| Cond. de la muestra                        |  | Saturada  |        | Saturada  |        | Saturada  |        |
| Peso molde + Suelo húmedo                  |  | 12,955.50 |        | 12,912.00 |        | 12,734.00 |        |
| Peso de molde (g)                          |  | 8124      |        | 8,196.00  |        | 8,242.00  |        |
| Peso del suelo húmedo (g)                  |  | 4,831.50  |        | 4,716.00  |        | 4,492.00  |        |
| Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )       |  | 2046      |        | 2,066.00  |        | 2,017.00  |        |
| <b>Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>)</b> |  | 2.36      |        | 2.28      |        | 2.23      |        |
| Contenido de humedad de los especímenes    |  |           |        |           |        |           |        |
| Tarro N°                                   |  | 1         | 2      | 1         | 2      | 1         | 2      |
| Tarro + Suelo húmedo (g)                   |  | 155.26    | 145.32 | 151.47    | 154.25 | 147.93    | 143.57 |
| Tarro + Suelo seco (g)                     |  | 146.21    | 136.98 | 143.12    | 145.47 | 139.16    | 135.84 |
| Peso del Agua (g)                          |  | 9.05      | 8.34   | 8.35      | 8.78   | 8.77      | 7.73   |
| Peso del tarro (g)                         |  | 34.98     | 36.41  | 41.85     | 37.22  | 32.47     | 41.59  |
| Peso del suelo seco (g)                    |  | 111.23    | 100.57 | 101.27    | 108.25 | 106.69    | 94.25  |
| <b>Humedad (%)</b>                         |  | 8.14      | 8.29   | 8.25      | 8.11   | 8.22      | 8.20   |
| <b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>   |  | 2.182     |        | 2.110     |        | 2.058     |        |



| Hora | Expansión               |           |      |                         |           |      |                         |           |      |
|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|
|      | Molde de 56 golpes/capa |           |      | Molde de 26 golpes/capa |           |      | Molde de 12 golpes/capa |           |      |
|      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      |
|      |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |
| 24   | 23                      | 0.06      | 0.05 | 33.00                   | 0.08      | 0.07 | 41.00                   | 0.10      | 0.08 |
| 48   | 30                      | 0.08      | 0.06 | 43.00                   | 0.11      | 0.09 | 49.00                   | 0.12      | 0.10 |
| 72   | 44                      | 0.11      | 0.09 | 52.00                   | 0.13      | 0.10 | 62.00                   | 0.16      | 0.12 |
| 96   | 54                      | 0.14      | 0.11 | 60.00                   | 0.15      | 0.12 | 71.00                   | 0.18      | 0.14 |

| Penetración<br>mm | Carga<br>Estándar<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Penetración             |                    |           |                         |                    |           |                         |                    |           |
|-------------------|---|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|
|                   |   | Molde de 56 golpes/capa |                    |           | Molde de 26 golpes/capa |                    |           | Molde de 12 golpes/capa |                    |           |
|                   |   | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida |
| 0.63              |   | 74.00                   | 3.82               |           | 53.00                   | 2.74               |           | 44.00                   | 2.27               |           |
| 1.27              |   | 231.00                  | 11.94              |           | 174.00                  | 8.99               |           | 142.00                  | 7.34               |           |
| 1.90              |   | 453.00                  | 23.41              |           | 341.00                  | 17.62              |           | 248.00                  | 12.81              |           |
| 2.54              | 70.31                                   | 778.00                  | 40.20              | 54.56     | 525.00                  | 27.13              | 35.63     | 416.00                  | 21.49              | 31.12     |
| 3.17              |   | 1,065.00                | 55.03              |           | 774.00                  | 39.99              |           | 608.00                  | 31.41              |           |
| 3.81              |   | 1,368.00                | 70.68              |           | 1,017.00                | 52.55              |           | 834.00                  | 43.09              |           |
| 5.08              | 105.46                                  | 2,034.00                | 105.09             | 109.13    | 1,454.00                | 75.12              | 71.26     | 1,236.00                | 63.86              | 62.24     |
| 7.62              |   | 2,586.00                | 133.61             |           | 1,841.00                | 95.12              |           | 1,641.00                | 84.79              |           |
| 10.16             |   | 3,164.00                | 163.47             |           | 2,462.00                | 127.20             |           | 2,089.00                | 107.93             |           |
| 12.70             |   | 3,745.00                | 193.49             |           | 3,058.00                | 158.00             |           | 2,543.00                | 131.39             |           |

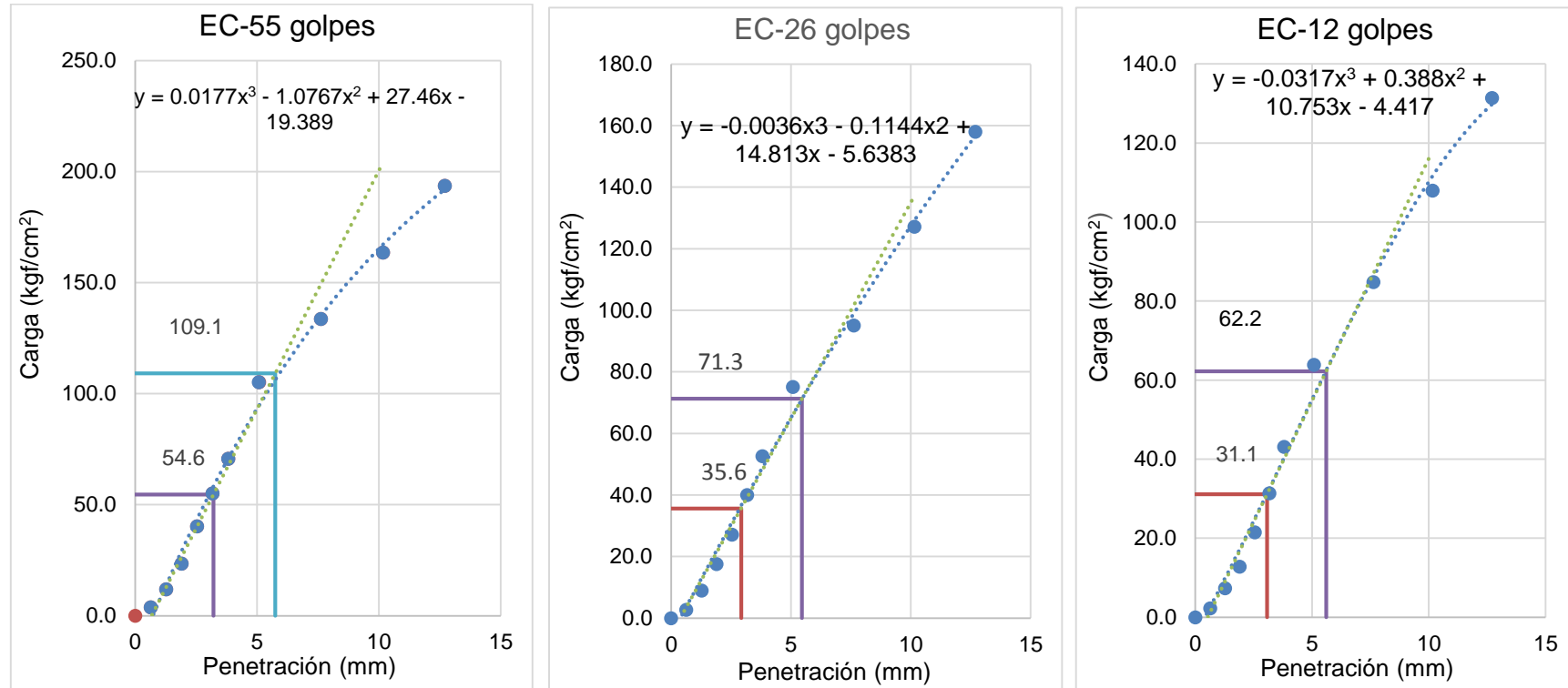


Figura 47: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera al 3.0% de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Proctor / Densidad Natural / O.C.H. |                      |  |              |
|-------------------------------------|----------------------|--|--------------|
| Máxima Dens. Seca                   | (g/cm <sup>3</sup> ) |  | <b>2.180</b> |
| 95% de la M.D.S.                    | (g/cm <sup>3</sup> ) |  | <b>2.071</b> |
| Optimo Humedad                      | (%)                  |  | 6.10%        |

| Nº golpes | C.B.R. (1") | C.B.R. (2") | Densidad |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| 55        | 77.6        | 103.5       | 2.182    |
| 26        | 50.7        | 67.6        | 2.110    |
| 12        | 44.3        | 59.0        | 2.058    |

| RESULTADOS DE C.B.R. (1")   |              |
|-----------------------------|--------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 77.60        |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>45.20</b> |

| RESULTADOS DE C.B.R. (2")   |              |
|-----------------------------|--------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 103.50       |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>61.20</b> |

| % de Expansión |      |
|----------------|------|
|                | Bajo |

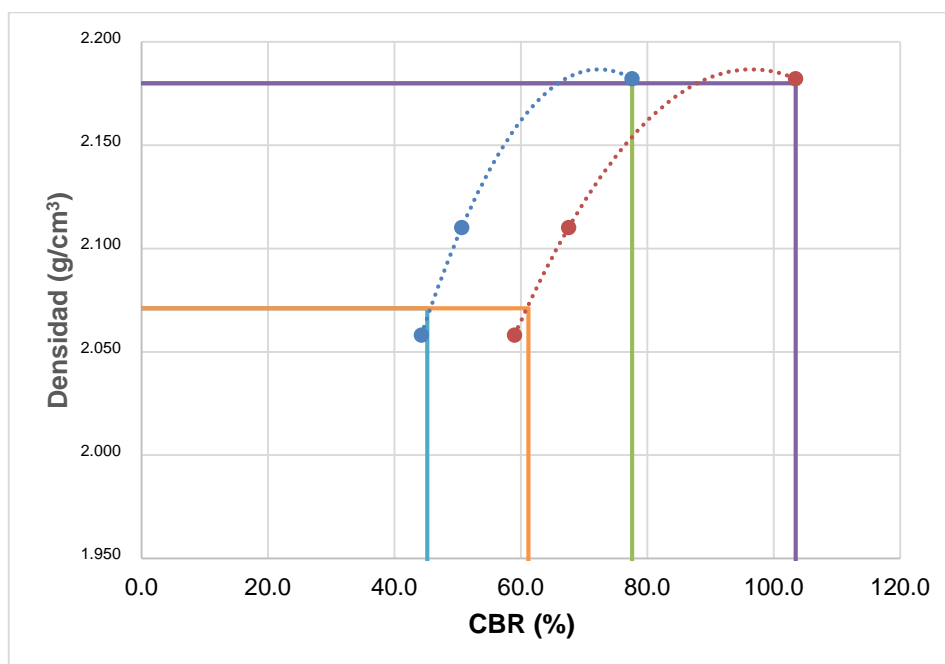


Figura 48: Relación CBR vs Densidad Seca del Materia de Cantera con 3.0 % de Emulsión Asfáltica  
Fuente: (Propia)

Tabla 95: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera al 4.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Compactación de Especímenes                |          |          |          |        |        |        |
|--|----------|----------|----------|--------|--------|--------|
| <b>Molde N°</b>                            | 1        | 2        | 3        |        |        |        |
| <b>N° Capa</b>                             | 5        | 5        | 5        |        |        |        |
| <b>Golpes por capa N°</b>                  | 56       | 26       | 12       |        |        |        |
| Cond. de la muestra                        | Saturada | Saturada | Saturada |        |        |        |
| Peso molde + Suelo húmedo                  | 12778.00 | 12983.00 | 12938.00 |        |        |        |
| Peso de molde (g)                          | 8031     | 8172.00  | 8308.00  |        |        |        |
| Peso del suelo húmedo (g)                  | 4747.00  | 4811.00  | 4630.00  |        |        |        |
| Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )       | 2022     | 2122.00  | 2110.00  |        |        |        |
| <b>Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.348    | 2.267    | 2.194    |        |        |        |
| Contenido de humedad de los especímenes    |          |          |          |        |        |        |
| Tarro N°                                   | 1        | 2        | 1        | 2      | 1      | 2      |
| Tarro + Suelo húmedo (g)                   | 148.21   | 156.85   | 151.79   | 141.47 | 132.91 | 148.86 |
| Tarro + Suelo seco (g)                     | 141.55   | 149.94   | 144.97   | 135.27 | 127.58 | 142.48 |
| Peso del Agua (g)                          | 6.66     | 6.91     | 6.82     | 6.2    | 5.33   | 6.38   |
| Peso del tarro (g)                         | 32.32    | 35.92    | 31.63    | 34.29  | 39.67  | 36.2   |
| Peso del suelo seco (g)                    | 109.23   | 114.02   | 113.34   | 100.98 | 87.91  | 106.28 |
| <b>Humedad (%)</b>                         | 6.10     | 6.06     | 6.02     | 6.14   | 6.06   | 6.00   |
| <b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>   | 2.213    |          | 2.137    |        | 2.069  |        |

| Hora | Expansión               |           |      |                         |           |      |                         |           |      |
|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|
|      | Molde de 56 golpes/capa |           |      | Molde de 26 golpes/capa |           |      | Molde de 12 golpes/capa |           |      |
|      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      |
|      |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |
| 24   | 24                      | 0.06      | 0.05 | 28.00                   | 0.07      | 0.06 | 33.00                   | 0.08      | 0.07 |
| 48   | 36                      | 0.09      | 0.07 | 41.00                   | 0.10      | 0.08 | 49.00                   | 0.12      | 0.10 |
| 72   | 43                      | 0.11      | 0.09 | 49.00                   | 0.12      | 0.10 | 61.00                   | 0.15      | 0.12 |
| 96   | 51                      | 0.13      | 0.10 | 58.00                   | 0.15      | 0.12 | 68.00                   | 0.17      | 0.14 |

| Penetración mm | Carga Estándar Kg/cm <sup>2</sup> | Penetración             |                    |           |                         |                    |           |                         |                    |           |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|
|                |                                   | Molde de 56 golpes/capa |                    |           | Molde de 26 golpes/capa |                    |           | Molde de 12 golpes/capa |                    |           |
|                |                                   | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida |
| 0.63           |                                   | 112.00                  | 5.79               |           | 73.00                   | 3.77               |           | 53.00                   | 2.74               |           |
| 1.27           |                                   | 285.00                  | 14.73              |           | 169.00                  | 8.73               |           | 142.00                  | 7.34               |           |
| 1.90           |                                   | 473.00                  | 24.44              |           | 428.00                  | 22.11              |           | 239.00                  | 12.35              |           |
| 2.54           | 70.31                             | 733.82                  | 37.91              | 58.67     | 581.00                  | 30.02              | 41.38     | 422.00                  | 21.80              | 29.09     |
| 3.17           |                                   | 1,224.00                | 63.24              |           | 896.00                  | 46.29              |           | 628.00                  | 32.45              |           |
| 3.81           |                                   | 1,528.00                | 78.95              |           | 1,182.00                | 61.07              |           | 856.00                  | 44.23              |           |
| 5.08           | 105.46                            | 2,183.00                | 112.79             | 117.33    | 1,529.00                | 79.00              | 82.75     | 1,097.00                | 56.68              | 58.18     |
| 7.62           |                                   | 2,781.00                | 143.69             |           | 2,077.00                | 107.31             |           | 1,476.00                | 76.26              |           |
| 10.16          |                                   | 3,492.00                | 180.42             |           | 2,795.00                | 144.41             |           | 2,047.00                | 105.76             |           |
| 12.70          |                                   | 4,021.00                | 207.75             |           | 3,702.00                | 191.27             |           | 2,688.00                | 138.88             |           |

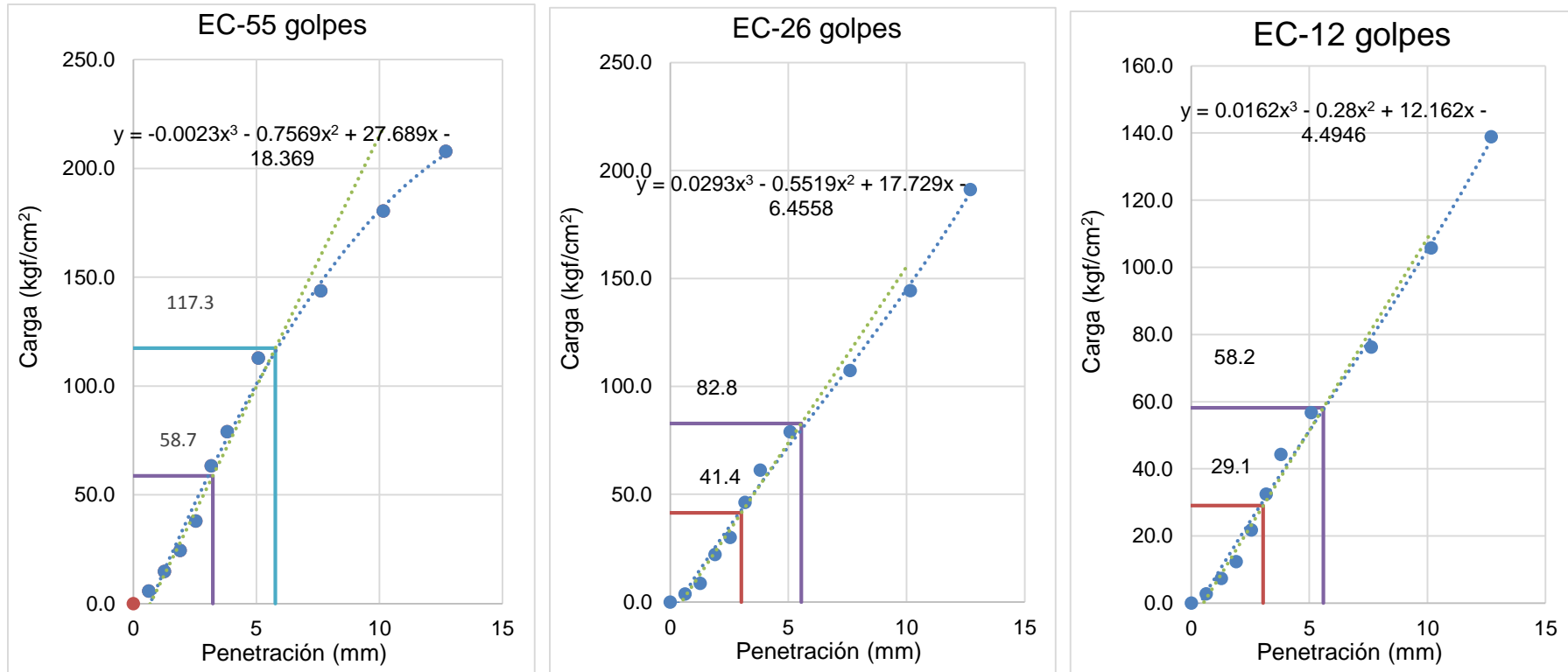


Figura 49: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera al 4.5 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Proctor / Densidad Natural / O.C.H. |                      |  |              |
|-------------------------------------|----------------------|--|--------------|
| Máxima Dens. Seca                   | (g/cm <sup>3</sup> ) |  | <b>2.210</b> |
| 95% de la M.D.S.                    | (g/cm <sup>3</sup> ) |  | <b>2.100</b> |
| Optimo Humedad                      | (%)                  |  | 5.96 %       |

| Nº golpes | C.B.R. (1") | C.B.R. (2") | Densidad |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| 55        | 83.4        | 111.3       | 2.213    |
| 26        | 58.8        | 78.5        | 2.137    |
| 12        | 41.4        | 55.2        | 2.069    |

| RESULTADOS DE C.B.R. (1")   |              |
|-----------------------------|--------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 83.40        |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>49.10</b> |

| RESULTADOS DE C.B.R. (2")   |              |
|-----------------------------|--------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 111.30       |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>65.30</b> |

| % de Expansión | Bajo |
|----------------|------|
|----------------|------|

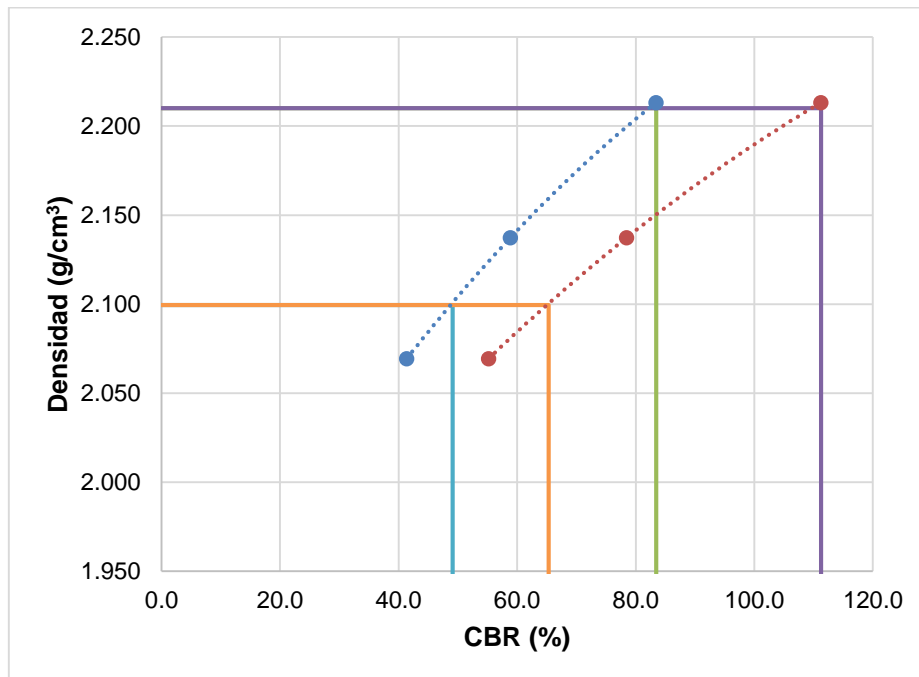


Figura 50: Relación CBR vs Densidad Seca del Materia de Cantera con 4.5 % de Emulsión Asfáltica  
Fuente: (Propia)

Tabla 96: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Material Cantera al 6.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Compactación de Especímenes                |  |          |        |          |        |          |        |
|--|--|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| <b>Molde N°</b>                            |  | 1        |        | 2        |        | 3        |        |
| <b>N° Capa</b>                             |  | 5        |        | 5        |        | 5        |        |
| <b>Golpes por capa N°</b>                  |  | 56       |        | 26       |        | 12       |        |
| Cond. de la muestra                        |  | Saturada |        | Saturada |        | Saturada |        |
| Peso molde + Suelo húmedo                  |  | 12993.00 |        | 12735.00 |        | 12672.00 |        |
| Peso de molde (g)                          |  | 8201     |        | 8177.00  |        | 8216.00  |        |
| Peso del suelo húmedo (g)                  |  | 4792.00  |        | 4558.00  |        | 4456.00  |        |
| Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )       |  | 2086     |        | 2039.00  |        | 2063.00  |        |
| <b>Densidad húmeda (gr/cm<sup>3</sup>)</b> |  | 2.297    |        | 2.235    |        | 2.160    |        |
| Contenido de humedad de los especímenes    |  |          |        |          |        |          |        |
| Tarro N°                                   |  | 1        | 2      | 1        | 2      | 1        | 2      |
| Tarro + Suelo húmedo (g)                   |  | 144.45   | 151.54 | 138.41   | 140.09 | 127.49   | 149.86 |
| Tarro + Suelo seco (g)                     |  | 138.32   | 144.62 | 132.38   | 133.89 | 122.45   | 143.27 |
| Peso del Agua (g)                          |  | 6.13     | 6.92   | 6.03     | 6.2    | 5.04     | 6.59   |
| Peso del tarro (g)                         |  | 35.4     | 30.28  | 32.52    | 31.61  | 37.48    | 34.27  |
| Peso del suelo seco (g)                    |  | 102.92   | 114.34 | 99.86    | 102.28 | 84.97    | 109    |
| <b>Humedad (%)</b>                         |  | 5.96     | 6.05   | 6.04     | 6.06   | 5.93     | 6.05   |
| <b>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>   |  | 2.167    |        | 2.108    |        | 2.038    |        |



| Hora | Expansión               |           |      |                         |           |      |                         |           |      |
|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|
|      | Molde de 56 golpes/capa |           |      | Molde de 26 golpes/capa |           |      | Molde de 12 golpes/capa |           |      |
|      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      | Dial                    | Expansión |      |
|      |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |                         | mm        | %    |
| 24   | 18                      | 0.05      | 0.04 | 29.00                   | 0.07      | 0.06 | 33.00                   | 0.08      | 0.07 |
| 48   | 32                      | 0.08      | 0.06 | 37.00                   | 0.09      | 0.07 | 46.00                   | 0.12      | 0.09 |
| 72   | 41                      | 0.10      | 0.08 | 48.00                   | 0.12      | 0.10 | 57.00                   | 0.14      | 0.11 |
| 96   | 49                      | 0.12      | 0.10 | 59.00                   | 0.15      | 0.12 | 68.00                   | 0.17      | 0.14 |

| Penetración<br>mm | Carga<br>Estándar<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Penetración             |                    |           |                         |                    |           |                         |                    |           |
|-------------------|---|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------------|-----------|
|                   |   | Molde de 56 golpes/capa |                    |           | Molde de 26 golpes/capa |                    |           | Molde de 12 golpes/capa |                    |           |
|                   |   | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida | Dial                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Corregida |
| 0.63              |   | 106.00                  | 5.48               |           | 62.00                   | 3.20               |           | 51.00                   | 2.64               |           |
| 1.27              |   | 278.00                  | 14.36              |           | 183.00                  | 9.46               |           | 134.00                  | 6.92               |           |
| 1.90              |   | 582.00                  | 30.07              |           | 438.00                  | 22.63              |           | 246.00                  | 12.71              |           |
| 2.54              | 70.31                                   | 837.00                  | 43.25              | 54.78     | 567.00                  | 29.30              | 38.72     | 412.00                  | 21.29              | 27.91     |
| 3.17              |   | 1236.00                 | 63.86              |           | 938.00                  | 48.46              |           | 638.00                  | 32.96              |           |
| 3.81              |   | 1674.00                 | 86.49              |           | 1174.00                 | 60.66              |           | 874.00                  | 45.16              |           |
| 5.08              | 105.46                                  | 2217.00                 | 114.55             | 110.23    | 1628.00                 | 84.11              | 79.68     | 1169.00                 | 60.40              | 56.23     |
| 7.62              |   | 2869.00                 | 148.23             |           | 2047.00                 | 105.76             |           | 1572.00                 | 81.22              |           |
| 10.16             |   | 3574.00                 | 184.66             |           | 2863.00                 | 147.92             |           | 2162.00                 | 111.70             |           |
| 12.70             |   | 4146.00                 | 214.21             |           | 3676.00                 | 189.93             |           | 2749.00                 | 142.03             |           |

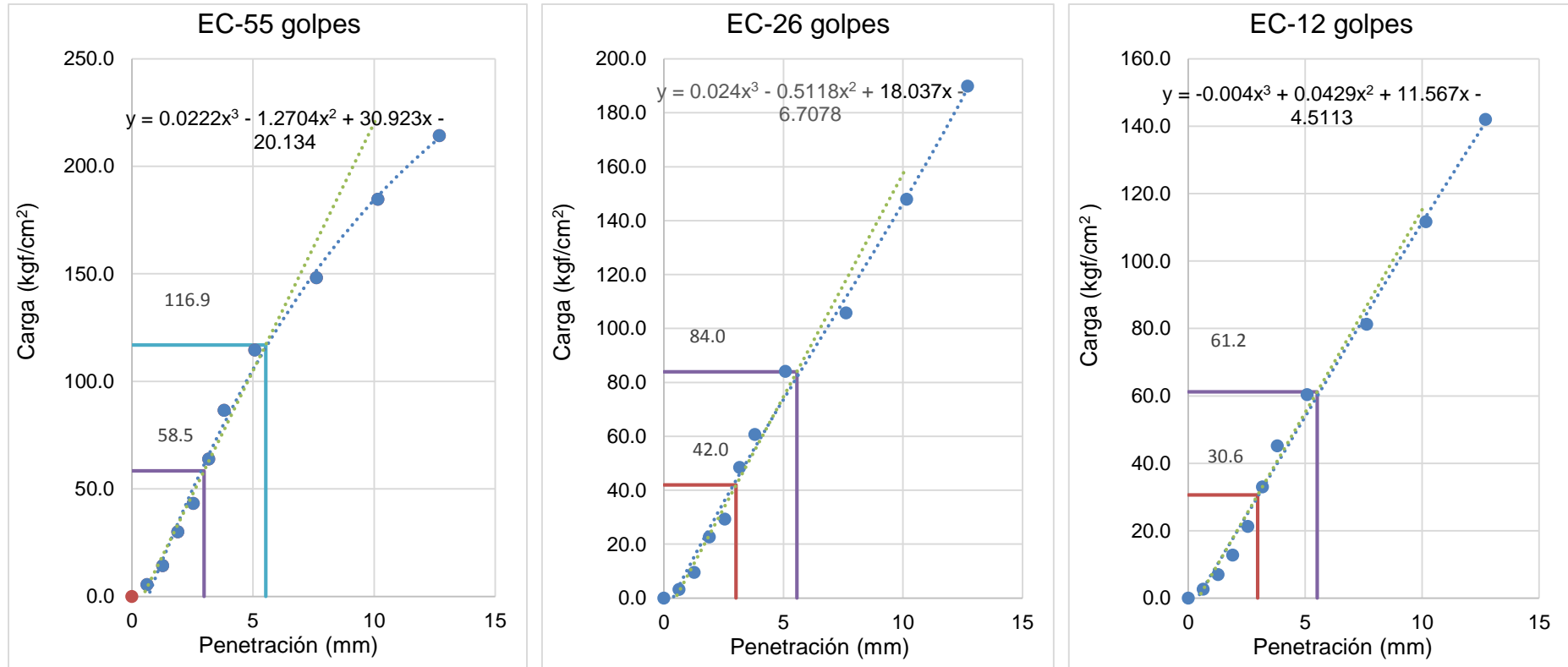


Figura 51: Curvas de Carga vs. Penetración Material de Cantera al 6.0 % de Emulsión Asfáltica Fuente: (Propia)

| Proctor / Densidad Natural / O.C.H. |                      |              |
|-------------------------------------|----------------------|--------------|
| Máxima Dens. Seca                   | (g/cm <sup>3</sup> ) | <b>2.170</b> |
| 95% de la M.D.S.                    | (g/cm <sup>3</sup> ) | <b>2.062</b> |
| Optimo Humedad                      | (%)                  | 6.16 %       |

| Nº golpes | C.B.R. (1") | C.B.R. (2") | Densidad |
|-----------|-------------|-------------|----------|
| 55        | 77.9        | 104.5       | 2.167    |
| 26        | 55.1        | 75.6        | 2.108    |
| 12        | 39.7        | 53.3        | 2.038    |

| RESULTADOS DE C.B.R. (1")   |              |
|-----------------------------|--------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 77.90        |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>44.10</b> |

| RESULTADOS DE C.B.R. (2")   |              |
|-----------------------------|--------------|
| C.B.R. al 100% de la M.D.S. | 104.50       |
| C.B.R. al 95% de la M.D.S.  | <b>60.00</b> |

| % de Expansión | Bajo |
|----------------|------|
|----------------|------|

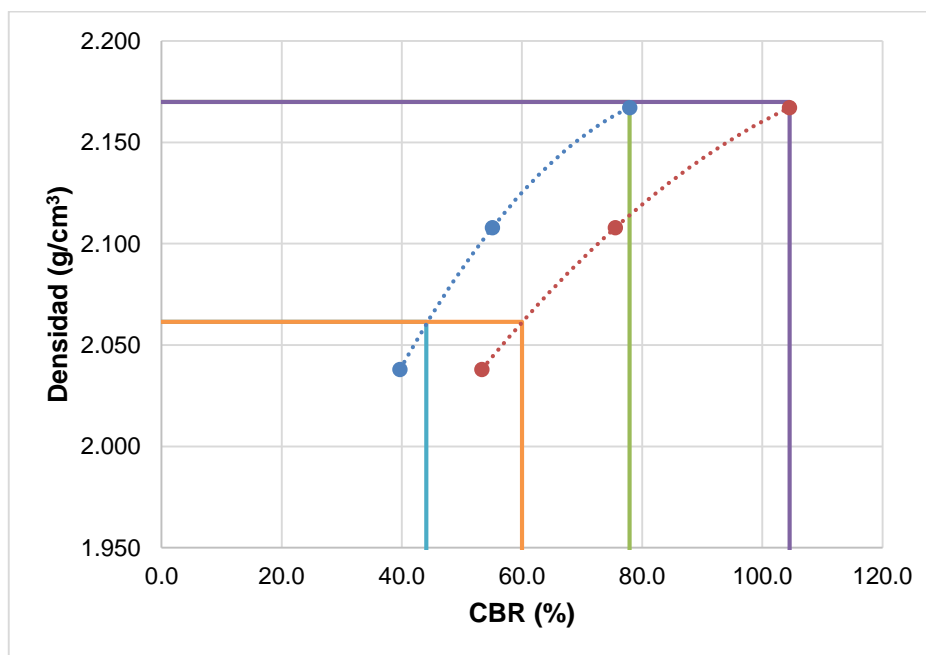


Figura 52: Relación CBR vs Densidad Seca del Materia de Cantera con 6.0 % de Emulsión Asfáltica  
Fuente: (Propia)

➤ **Resistencia a Compresión No Confinado**

Tabla 97: Resistencia a la Compresión No Confinada 1.5% de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 1. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         | 1.5% DE EMULSION ASFALTICA |                             |                         | PROCEDENCIA:                      | CANTERA EL PALLAR                               |                                 |                            |
|------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3,55                       | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9,898                   | Longitud (cm):                    | 7,100   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg)         | Deformación Unitaria € (cm) | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7,100            | 0,000                      | 0,000000                    | 1,000000                | 9,898                             | 0,000   | 0,000                           | 0.000                      |
| 7,097            | 1,000                      | 0,000358                    | 0,999642                | 9,902                             | 0,101   | 9,903                           | 4.952                      |
| 7,095            | 1,750                      | 0,000715                    | 0,999285                | 9,905                             | 0,177   | 17,324                          | 8.662                      |
| 7,092            | 2,100                      | 0,001073                    | 0,998927                | 9,909                             | 0,212   | 20,782                          | 10.391                     |
| 7,090            | 2,475                      | 0,001431                    | 0,998569                | 9,912                             | 0,250   | 24,484                          | 12.242                     |
| 7,087            | 3,025                      | 0,001789                    | 0,998211                | 9,916                             | 0,305   | 29,914                          | 14.957                     |
| 7,085            | 3,450                      | 0,002146                    | 0,997854                | 9,919                             | 0,348   | 34,104                          | 17.052                     |
| 7,082            | 3,450                      | 0,002504                    | 0,997496                | 9,923                             | 0,348   | 34,092                          | 17.046                     |
| 7,080            | 3,900                      | 0,002862                    | 0,997138                | 9,926                             | 0,393   | 38,525                          | 19.263                     |
| 7,077            | 4,300                      | 0,003220                    | 0,996780                | 9,930                             | 0,433   | 42,461                          | 21.231                     |
| 7,075            | 4,900                      | 0,003577                    | 0,996423                | 9,934                             | 0,493   | 48,369                          | 24.184                     |
| 7,072            | 5,200                      | 0,003935                    | 0,996065                | 9,937                             | 0,523   | 51,312                          | 25.656                     |
| 7,070            | 5,600                      | 0,004293                    | 0,995707                | 9,941                             | 0,563   | 55,239                          | 27.619                     |
| 7,067            | 5,600                      | 0,004651                    | 0,995349                | 9,944                             | 0,563   | 55,219                          | 27.610                     |
| 7,064            | 6,150                      | 0,005008                    | 0,994992                | 9,948                             | 0,618   | 60,621                          | 30.310                     |
| 7,062            | 6,950                      | 0,005366                    | 0,994634                | 9,951                             | 0,698   | 68,481                          | 34.241                     |
| 7,059            | 7,550                      | 0,005724                    | 0,994276                | 9,955                             | 0,758   | 74,367                          | 37.183                     |
| 7,057            | 7,550                      | 0,006082                    | 0,993918                | 9,959                             | 0,758   | 74,340                          | 37.170                     |
| 7,054            | 8,100                      | 0,006439                    | 0,993561                | 9,962                             | 0,813   | 79,727                          | 39.863                     |
| 7,052            | 8,450                      | 0,006797                    | 0,993203                | 9,966                             | 0,848   | 83,142                          | 41.571                     |
| 7,049            | 8,450                      | 0,007155                    | 0,992845                | 9,969                             | 0,848   | 83,112                          | 41.556                     |
| 7,044            | 8,650                      | 0,007870                    | 0,992130                | 9,976                             | 0,867   | 85,018                          | 42.509                     |
| 7,039            | 8,975                      | 0,008586                    | 0,991414                | 9,984                             | 0,899   | 88,148                          | 44.074                     |
| 7,034            | 9,100                      | 0,009301                    | 0,990699                | 9,991                             | 0,911   | 89,312                          | 44.656                     |
| 7,029            | 9,250                      | 0,010017                    | 0,989983                | 9,998                             | 0,925   | 90,718                          | 45.359                     |
| <b>7,026</b>     | <b>9,350</b>               | <b>0,010375</b>             | <b>0,989625</b>         | <b>10,002</b>                     | <b>0,935</b>                                    | <b>91,666</b>                   | <b>45.833</b>              |
| 7,024            | 9,300                      | 0,010732                    | 0,989268                | 10,005                            | 0,930   | 91,143                          | 45.571                     |
| 7,011            | 9,200                      | 0,012521                    | 0,987479                | 10,023                            | 0,918   | 90,000                          | 45.000                     |
| 6,998            | 9,000                      | 0,014310                    | 0,985690                | 10,042                            | 0,896   | 87,884                          | 43.942                     |
| 6,998            | 8,850                      | 0,014310                    | 0,985690                | 10,042                            | 0,881   | 86,419                          | 43.209                     |

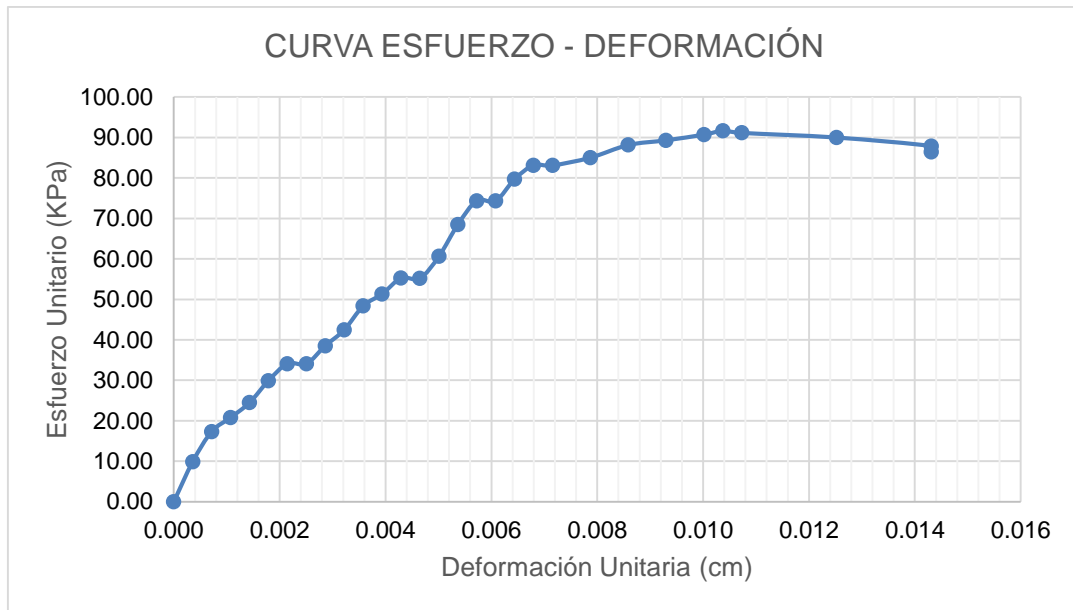


Figura 53: Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 1.5 % de Emulsion Asfáltica – Prueba 1. Fuente: (Propia)

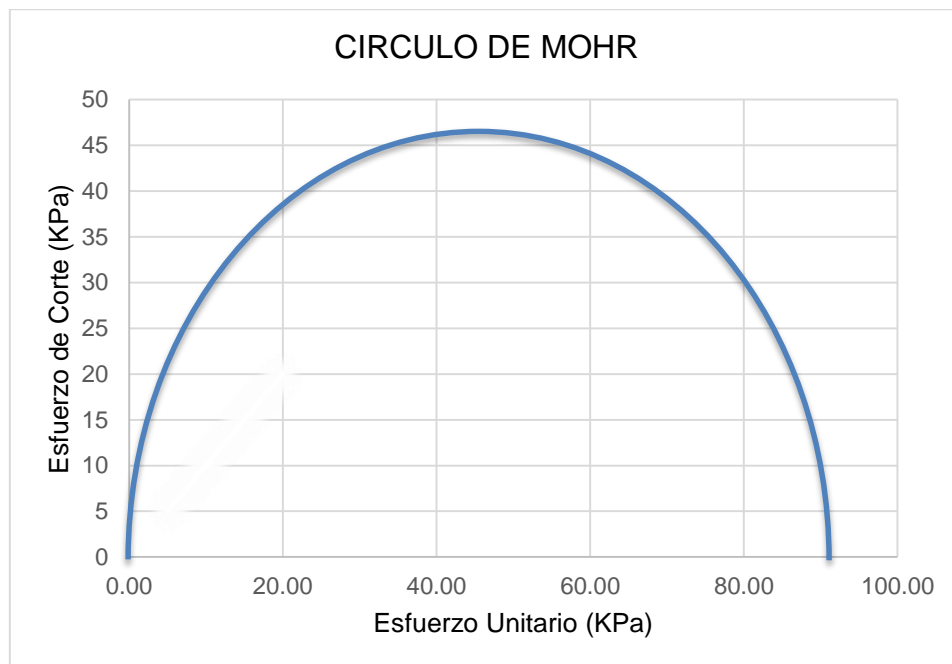


Figura 54: Círculo de Mohr con un 1.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 1. Fuente: (Propia)

Tabla 98. Resistencia a la Compresión No Confinada 1.5% de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 2. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         |                    | 1.5% DE EMULSION ASFALTICA  |                         | PROCEDENCIA:                      |   | CANTERA EL PALLAR               |                            |
|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3,55               | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9,898                   | Longitud (cm):                    | 7,100   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg) | Deformación Unitaria € (cm) | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.100            | 0.000              | 0.000000                    | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.097            | 1.000              | 0.000358                    | 0.999642                | 9.902                             | 0.101   | 9.903                           | 4.952                      |
| 7.095            | 1.800              | 0.000715                    | 0.999285                | 9.905                             | 0.182   | 17.819                          | 8.910                      |
| 7.092            | 2.050              | 0.001073                    | 0.998927                | 9.909                             | 0.207   | 20.287                          | 10.143                     |
| 7.090            | 2.500              | 0.001431                    | 0.998569                | 9.912                             | 0.252   | 24.731                          | 12.366                     |
| 7.087            | 3.035              | 0.001789                    | 0.998211                | 9.916                             | 0.306   | 30.013                          | 15.006                     |
| 7.085            | 3.450              | 0.002146                    | 0.997854                | 9.919                             | 0.348   | 34.104                          | 17.052                     |
| 7.082            | 3.500              | 0.002504                    | 0.997496                | 9.923                             | 0.353   | 34.586                          | 17.293                     |
| 7.080            | 3.850              | 0.002862                    | 0.997138                | 9.926                             | 0.388   | 38.031                          | 19.016                     |
| 7.077            | 4.250              | 0.003220                    | 0.996780                | 9.930                             | 0.428   | 41.968                          | 20.984                     |
| 7.075            | 4.950              | 0.003577                    | 0.996423                | 9.934                             | 0.498   | 48.862                          | 24.431                     |
| 7.072            | 5.150              | 0.003935                    | 0.996065                | 9.937                             | 0.518   | 50.818                          | 25.409                     |
| 7.070            | 5.650              | 0.004293                    | 0.995707                | 9.941                             | 0.568   | 55.732                          | 27.866                     |
| 7.067            | 5.700              | 0.004651                    | 0.995349                | 9.944                             | 0.573   | 56.205                          | 28.103                     |
| 7.064            | 6.200              | 0.005008                    | 0.994992                | 9.948                             | 0.623   | 61.113                          | 30.557                     |
| 7.062            | 7.000              | 0.005366                    | 0.994634                | 9.951                             | 0.703   | 68.974                          | 34.487                     |
| 7.059            | 7.500              | 0.005724                    | 0.994276                | 9.955                             | 0.753   | 73.874                          | 36.937                     |
| 7.057            | 7.550              | 0.006082                    | 0.993918                | 9.959                             | 0.758   | 74.340                          | 37.170                     |
| 7.054            | 8.150              | 0.006439                    | 0.993561                | 9.962                             | 0.818   | 80.219                          | 40.109                     |
| 7.052            | 8.500              | 0.006797                    | 0.993203                | 9.966                             | 0.853   | 83.634                          | 41.817                     |
| 7.049            | 8.550              | 0.007155                    | 0.992845                | 9.969                             | 0.858   | 84.096                          | 42.048                     |
| 7.044            | 8.600              | 0.007870                    | 0.992130                | 9.976                             | 0.862   | 84.526                          | 42.263                     |
| 7.039            | 8.700              | 0.008586                    | 0.991414                | 9.984                             | 0.871   | 85.448                          | 42.724                     |
| 7.034            | 8.850              | 0.009301                    | 0.990699                | 9.991                             | 0.886   | 86.858                          | 43.429                     |
| 7.029            | 9.000              | 0.010017                    | 0.989983                | 9.998                             | 0.900   | 88.266                          | 44.133                     |
| <b>7.024</b>     | <b>9.056</b>       | <b>0.010732</b>             | <b>0.989268</b>         | <b>10.005</b>                     | <b>0.905</b>                                    | <b>88.751</b>                   | <b>44.375</b>              |
| 7.016            | 8.950              | 0.011806                    | 0.988194                | 10.016                            | 0.894   | 87.617                          | 43.809                     |
| 7.009            | 8.650              | 0.012879                    | 0.987121                | 10.027                            | 0.863   | 84.589                          | 42.294                     |
| 7.001            | 8.450              | 0.013952                    | 0.986048                | 10.038                            | 0.842   | 82.543                          | 41.271                     |
| 6.993            | 8.100              | 0.015025                    | 0.984975                | 10.049                            | 0.806   | 79.038                          | 39.519                     |

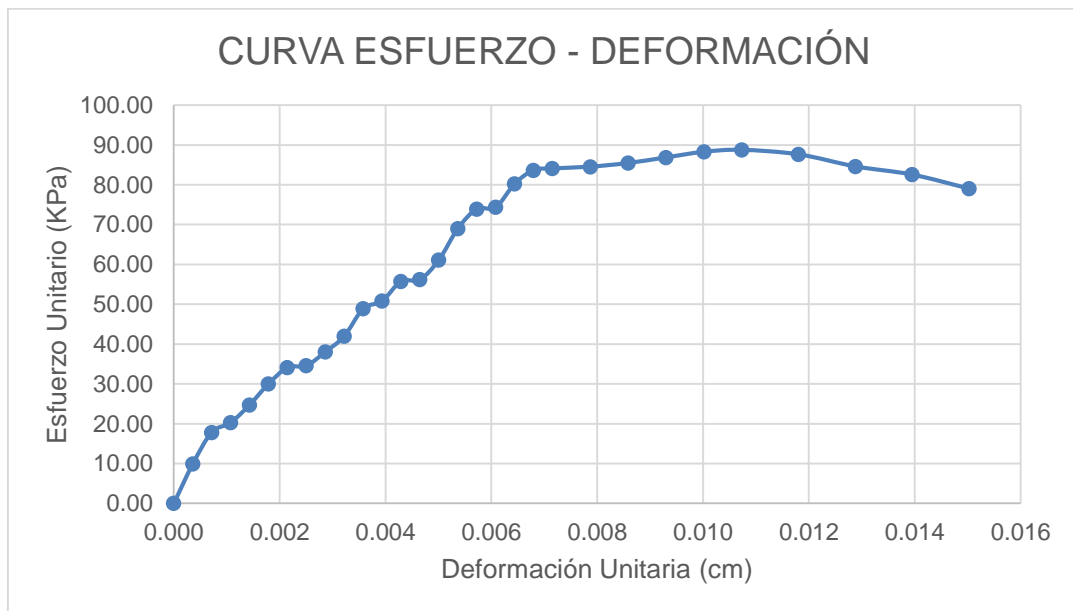


Figura 55. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 1.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 2. Fuente: (Propia)

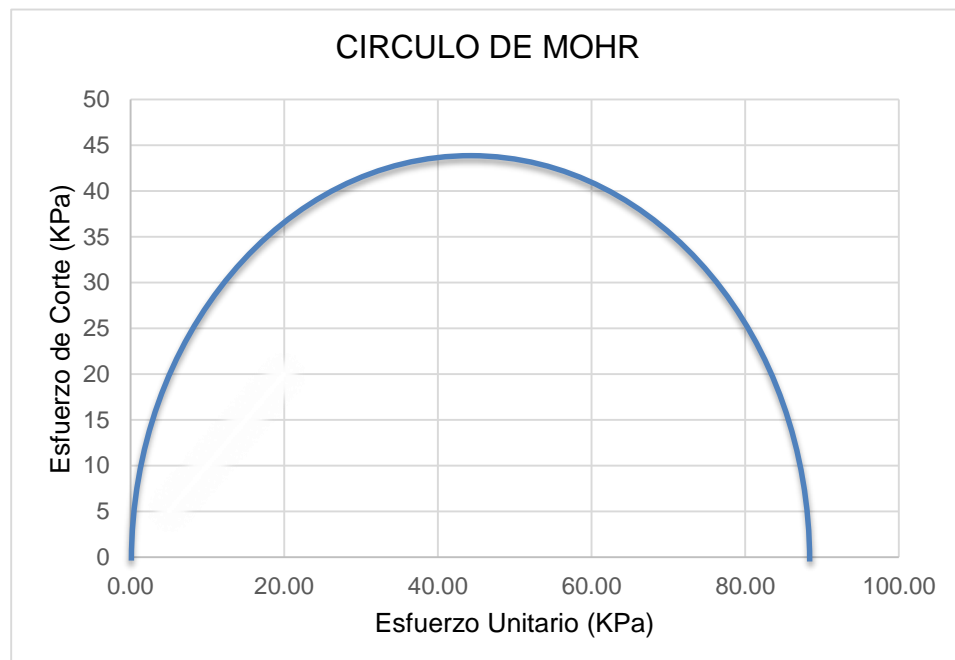


Figura 56: Círculo de Mohr con un 1.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 11. Fuente: (Propia)

Tabla 99. Resistencia a la Compresión No Confinada 1.5% de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 3. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         |                    | 1.5% DE EMULSION ASFALTICA  |                         | PROCEDENCIA:                      |   | CANTERA EL PALLAR               |                            |
|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3,55               | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9,898                   | Longitud (cm):                    | 7,100   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg) | Deformación Unitaria € (cm) | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.100            | 0.000              | 0.000000                    | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.097            | 1.000              | 0.000358                    | 0.999642                | 9.902                             | 0.101   | 9.903                           | 4.952                      |
| 7.095            | 1.750              | 0.000715                    | 0.999285                | 9.905                             | 0.177   | 17.324                          | 8.662                      |
| 7.092            | 2.100              | 0.001073                    | 0.998927                | 9.909                             | 0.212   | 20.782                          | 10.391                     |
| 7.090            | 2.475              | 0.001431                    | 0.998569                | 9.912                             | 0.250   | 24.484                          | 12.242                     |
| 7.087            | 3.025              | 0.001789                    | 0.998211                | 9.916                             | 0.305   | 29.914                          | 14.957                     |
| 7.085            | 3.450              | 0.002146                    | 0.997854                | 9.919                             | 0.348   | 34.104                          | 17.052                     |
| 7.082            | 3.700              | 0.002504                    | 0.997496                | 9.923                             | 0.373   | 36.563                          | 18.281                     |
| 7.080            | 4.250              | 0.002862                    | 0.997138                | 9.926                             | 0.428   | 41.983                          | 20.991                     |
| 7.077            | 4.700              | 0.003220                    | 0.996780                | 9.930                             | 0.473   | 46.411                          | 23.206                     |
| 7.075            | 5.950              | 0.003577                    | 0.996423                | 9.934                             | 0.599   | 58.733                          | 29.367                     |
| 7.072            | 6.400              | 0.003935                    | 0.996065                | 9.937                             | 0.644   | 63.153                          | 31.576                     |
| 7.070            | 6.700              | 0.004293                    | 0.995707                | 9.941                             | 0.674   | 66.089                          | 33.045                     |
| 7.067            | 7.150              | 0.004651                    | 0.995349                | 9.944                             | 0.719   | 70.503                          | 35.251                     |
| 7.064            | 7.950              | 0.005008                    | 0.994992                | 9.948                             | 0.799   | 78.363                          | 39.182                     |
| 7.062            | 8.250              | 0.005366                    | 0.994634                | 9.951                             | 0.829   | 81.291                          | 40.645                     |
| 7.059            | 8.500              | 0.005724                    | 0.994276                | 9.955                             | 0.854   | 83.724                          | 41.862                     |
| 7.057            | 8.700              | 0.006082                    | 0.993918                | 9.959                             | 0.874   | 85.663                          | 42.832                     |
| 7.054            | 8.900              | 0.006439                    | 0.993561                | 9.962                             | 0.893   | 87.601                          | 43.801                     |
| 7.052            | 9.000              | 0.006797                    | 0.993203                | 9.966                             | 0.903   | 88.553                          | 44.277                     |
| 7.049            | 9.200              | 0.007155                    | 0.992845                | 9.969                             | 0.923   | 90.489                          | 45.244                     |
| 7.044            | 9.350              | 0.007870                    | 0.992130                | 9.976                             | 0.937   | 91.898                          | 45.949                     |
| 6.516            | 9.600              | 0.082282                    | 0.917718                | 10.785                            | 0.890   | 87.278                          | 43.639                     |
| 6.465            | 9.850              | 0.089437                    | 0.910563                | 10.870                            | 0.906   | 88.853                          | 44.426                     |
| 6.440            | 10.000             | 0.093014                    | 0.906986                | 10.913                            | 0.916   | 89.852                          | 44.926                     |
| <b>6.389</b>     | <b>10.119</b>      | <b>0.100169</b>             | <b>0.899831</b>         | <b>11.000</b>                     | <b>0.920</b>                                    | <b>90.201</b>                   | <b>45.101</b>              |
| 6.363            | 9.700              | 0.103746                    | 0.896254                | 11.044                            | 0.878   | 86.125                          | 43.062                     |
| 7.019            | 9.500              | 0.011448                    | 0.988552                | 10.013                            | 0.949   | 93.035                          | 46.518                     |
| 7.011            | 9.300              | 0.012521                    | 0.987479                | 10.023                            | 0.928   | 90.978                          | 45.489                     |
| 7.003            | 9.050              | 0.013594                    | 0.986406                | 10.034                            | 0.902   | 88.436                          | 44.218                     |



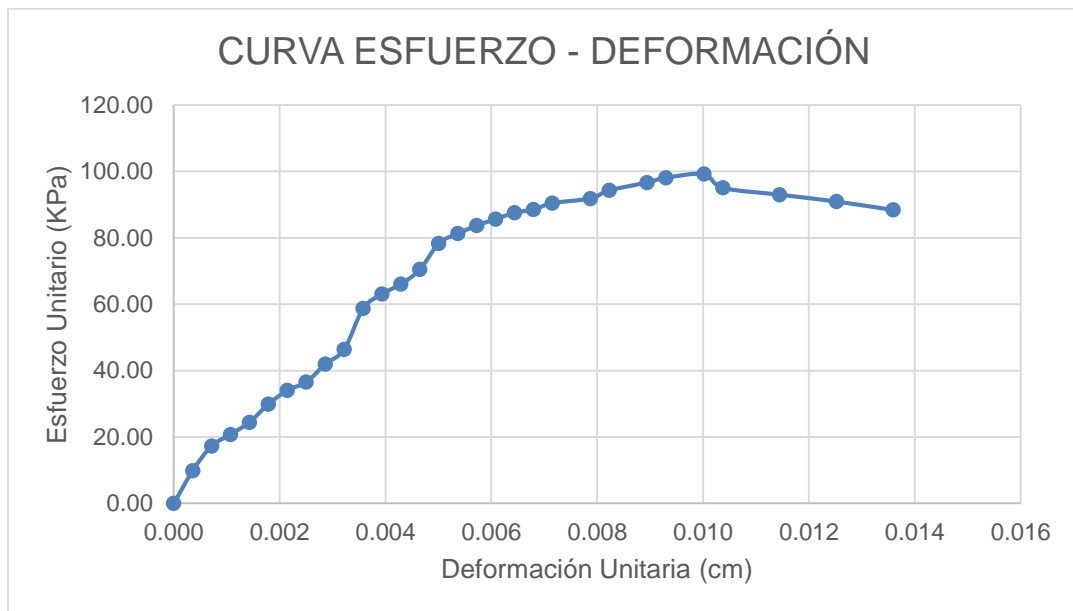


Figura 57. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 1.5 % de Emulsion Asfáltica – Prueba 3. Fuente: (Propia)

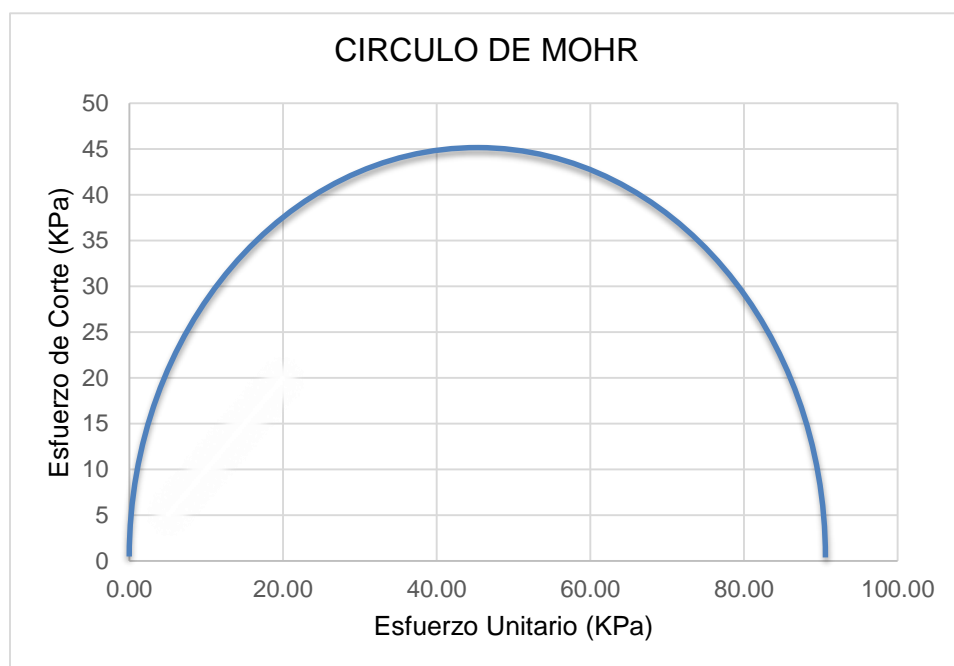


Figura 58: Círculo de Mohr con un 1.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba III. Fuente: (Propia)

Tabla 100: Resistencia a la Compresión No Confinada 3.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 1. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         |                    | 3.0 % DE EMULSION ASFALTICA |                         | PROCEDENCIA:                      |   | CANTERA EL PALLAR               |                            |
|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3.55               | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9.898                   | Longitud (cm):                    | 7.125   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg) | Deformación Unitaria € (cm) | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.125            | 0.000              | 0.000000                    | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.122            | 1.250              | 0.000356                    | 0.999644                | 9.902                             | 0.126   | 12.379                          | 6.189                      |
| 7.120            | 1.900              | 0.000713                    | 0.999287                | 9.905                             | 0.192   | 18.809                          | 9.405                      |
| 7.117            | 2.550              | 0.001069                    | 0.998931                | 9.909                             | 0.257   | 25.235                          | 12.617                     |
| 7.115            | 3.450              | 0.001426                    | 0.998574                | 9.912                             | 0.348   | 34.129                          | 17.065                     |
| 7.112            | 4.075              | 0.001782                    | 0.998218                | 9.916                             | 0.411   | 40.297                          | 20.149                     |
| 7.110            | 4.800              | 0.002139                    | 0.997861                | 9.919                             | 0.484   | 47.450                          | 23.725                     |
| 7.107            | 4.800              | 0.002495                    | 0.997505                | 9.923                             | 0.484   | 47.433                          | 23.717                     |
| 7.105            | 5.450              | 0.002852                    | 0.997148                | 9.926                             | 0.549   | 53.837                          | 26.919                     |
| 7.102            | 5.900              | 0.003208                    | 0.996792                | 9.930                             | 0.594   | 58.261                          | 29.131                     |
| 7.100            | 6.550              | 0.003565                    | 0.996435                | 9.933                             | 0.659   | 64.657                          | 32.328                     |
| 7.097            | 7.100              | 0.003921                    | 0.996079                | 9.937                             | 0.715   | 70.061                          | 35.031                     |
| 7.095            | 7.500              | 0.004278                    | 0.995722                | 9.941                             | 0.754   | 73.982                          | 36.991                     |
| 7.092            | 7.500              | 0.004634                    | 0.995366                | 9.944                             | 0.754   | 73.955                          | 36.978                     |
| 7.089            | 8.075              | 0.004991                    | 0.995009                | 9.948                             | 0.812   | 79.597                          | 39.798                     |
| 7.087            | 8.650              | 0.005347                    | 0.994653                | 9.951                             | 0.869   | 85.234                          | 42.617                     |
| 7.084            | 9.000              | 0.005704                    | 0.994296                | 9.955                             | 0.904   | 88.651                          | 44.325                     |
| 7.082            | 9.000              | 0.006060                    | 0.993940                | 9.958                             | 0.904   | 88.619                          | 44.310                     |
| 7.079            | 9.450              | 0.006417                    | 0.993583                | 9.962                             | 0.949   | 93.017                          | 46.508                     |
| 7.077            | 10.000             | 0.006773                    | 0.993227                | 9.965                             | 1.003   | 98.395                          | 49.198                     |
| 7.074            | 10.000             | 0.007130                    | 0.992870                | 9.969                             | 1.003   | 98.360                          | 49.180                     |
| 7.069            | 10.600             | 0.007843                    | 0.992157                | 9.976                             | 1.063   | 104.187                         | 52.093                     |
| 7.064            | 11.050             | 0.008556                    | 0.991444                | 9.983                             | 1.107   | 108.531                         | 54.266                     |
| 7.059            | 11.500             | 0.009269                    | 0.990731                | 9.991                             | 1.151   | 112.870                         | 56.435                     |
| 7.054            | 12.050             | 0.009982                    | 0.990018                | 9.998                             | 1.205   | 118.183                         | 59.092                     |
| 7.051            | 12.500             | 0.010338                    | 0.989662                | 10.001                            | 1.250   | 122.552                         | 61.276                     |
| 7.049            | 13.200             | 0.010695                    | 0.989305                | 10.005                            | 1.319   | 129.369                         | 64.684                     |
| 7.036            | 13.600             | 0.012477                    | 0.987523                | 10.023                            | 1.357   | 133.049                         | 66.524                     |
| 7.023            | 14.350             | 0.014260                    | 0.985740                | 10.041                            | 1.429   | 140.133                         | 70.066                     |
| 7.023            | 14.750             | 0.014260                    | 0.985740                | 10.041                            | 1.469   | 144.039                         | 72.019                     |
| <b>6.998</b>     | <b>15.350</b>      | <b>0.017825</b>             | <b>0.982175</b>         | <b>10.078</b>                     | <b>1.523</b>                                    | <b>149.356</b>                  | <b>74.678</b>              |
| 6.973            | 14.900             | 0.021389                    | 0.978611                | 10.114                            | 1.473   | 144.451                         | 72.226                     |

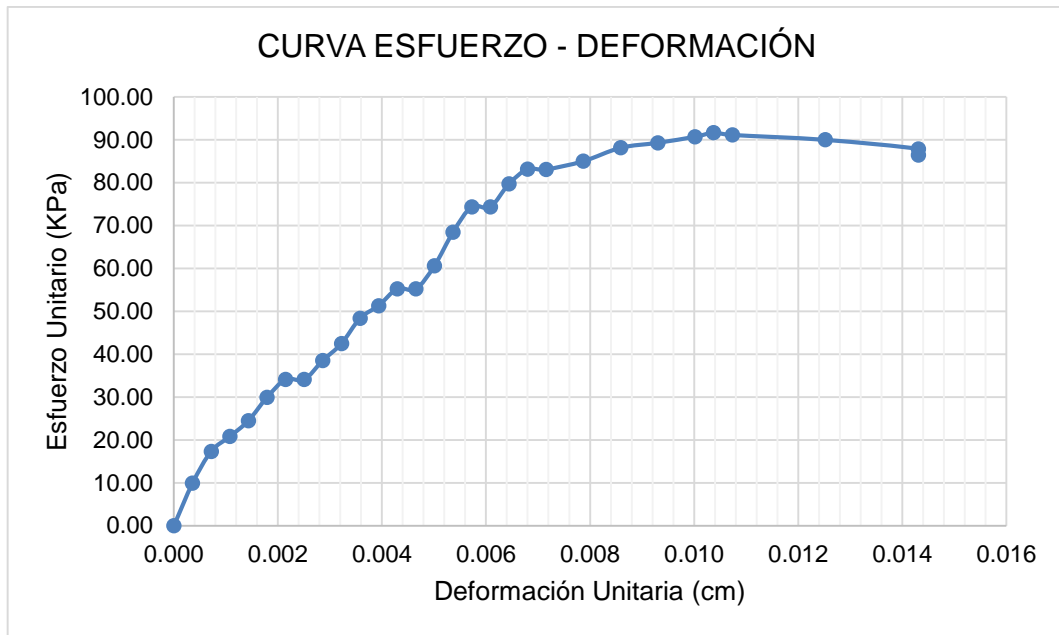


Figura 59: Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 3.0 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 1. Fuente: (Propia)

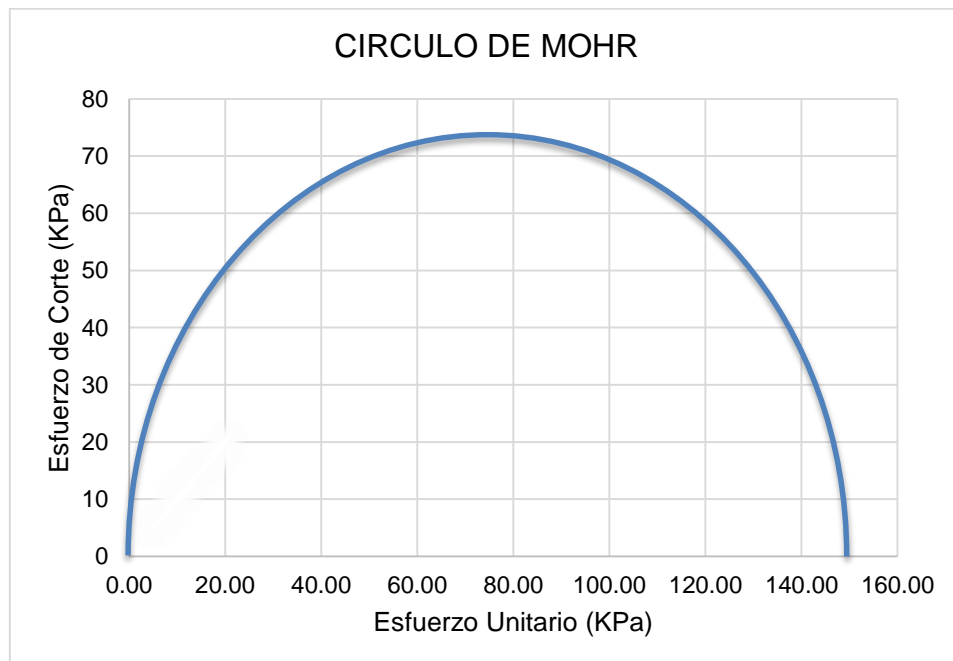


Figura 60: Círculo de Mohr con un 3.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba 1 Fuente: (Propia)

Tabla 101. Resistencia a la Compresión No Confinada 3.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 2. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         |                    | 3.0 % DE EMULSION ASFALTICA |                         | PROCEDENCIA:                      |   | CANTERA EL PALLAR               |                            |
|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3.55               | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9.898                   | Longitud (cm):                    | 7.125   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg) | Deformación Unitaria € (cm) | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.125            | 0.000              | 0.000000                    | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.122            | 1.450              | 0.000356                    | 0.999644                | 9.902                             | 0.146   | 14.359                          | 7.180                      |
| 7.120            | 2.250              | 0.000713                    | 0.999287                | 9.905                             | 0.227   | 22.274                          | 11.137                     |
| 7.117            | 3.200              | 0.001069                    | 0.998931                | 9.909                             | 0.323   | 31.667                          | 15.834                     |
| 7.115            | 3.750              | 0.001426                    | 0.998574                | 9.912                             | 0.378   | 37.097                          | 18.548                     |
| 7.112            | 4.100              | 0.001782                    | 0.998218                | 9.916                             | 0.413   | 40.545                          | 20.272                     |
| 7.110            | 4.750              | 0.002139                    | 0.997861                | 9.919                             | 0.479   | 46.956                          | 23.478                     |
| 7.107            | 4.950              | 0.002495                    | 0.997505                | 9.923                             | 0.499   | 48.915                          | 24.458                     |
| 7.105            | 5.450              | 0.002852                    | 0.997148                | 9.926                             | 0.549   | 53.837                          | 26.919                     |
| 7.102            | 6.000              | 0.003208                    | 0.996792                | 9.930                             | 0.604   | 59.249                          | 29.624                     |
| 7.100            | 6.750              | 0.003565                    | 0.996435                | 9.933                             | 0.680   | 66.631                          | 33.316                     |
| 7.097            | 7.150              | 0.003921                    | 0.996079                | 9.937                             | 0.720   | 70.555                          | 35.277                     |
| 7.095            | 7.500              | 0.004278                    | 0.995722                | 9.941                             | 0.754   | 73.982                          | 36.991                     |
| 7.092            | 7.750              | 0.004634                    | 0.995366                | 9.944                             | 0.779   | 76.420                          | 38.210                     |
| 7.089            | 8.100              | 0.004991                    | 0.995009                | 9.948                             | 0.814   | 79.843                          | 39.922                     |
| 7.087            | 8.700              | 0.005347                    | 0.994653                | 9.951                             | 0.874   | 85.727                          | 42.863                     |
| 7.084            | 9.000              | 0.005704                    | 0.994296                | 9.955                             | 0.904   | 88.651                          | 44.325                     |
| 7.082            | 9.200              | 0.006060                    | 0.993940                | 9.958                             | 0.924   | 90.589                          | 45.294                     |
| 7.079            | 9.350              | 0.006417                    | 0.993583                | 9.962                             | 0.939   | 92.032                          | 46.016                     |
| 7.077            | 9.750              | 0.006773                    | 0.993227                | 9.965                             | 0.978   | 95.935                          | 47.968                     |
| 7.074            | 9.900              | 0.007130                    | 0.992870                | 9.969                             | 0.993   | 97.376                          | 48.688                     |
| 7.069            | 10.450             | 0.007843                    | 0.992157                | 9.976                             | 1.047   | 102.712                         | 51.356                     |
| 7.064            | 11.050             | 0.008556                    | 0.991444                | 9.983                             | 1.107   | 108.531                         | 54.266                     |
| 7.059            | 11.600             | 0.009269                    | 0.990731                | 9.991                             | 1.161   | 113.852                         | 56.926                     |
| 7.054            | 12.000             | 0.009982                    | 0.990018                | 9.998                             | 1.200   | 117.693                         | 58.846                     |
| 7.051            | 12.700             | 0.010338                    | 0.989662                | 10.001                            | 1.270   | 124.513                         | 62.257                     |
| 7.041            | 13.000             | 0.011764                    | 0.988236                | 10.016                            | 1.298   | 127.271                         | 63.635                     |
| 7.028            | 13.500             | 0.013547                    | 0.986453                | 10.034                            | 1.345   | 131.928                         | 65.964                     |
| 7.011            | 14.350             | 0.016042                    | 0.983958                | 10.059                            | 1.427   | 139.879                         | 69.940                     |
| 6.998            | 14.700             | 0.017825                    | 0.982175                | 10.078                            | 1.459   | 143.031                         | 71.516                     |
| <b>6.988</b>     | <b>15.201</b>      | <b>0.019251</b>             | <b>0.980749</b>         | <b>10.092</b>                     | <b>1.506</b>                                    | <b>147.694</b>                  | <b>73.847</b>              |
| 6.973            | 14.850             | 0.021389                    | 0.978611                | 10.114                            | 1.468   | 143.967                         | 71.983                     |

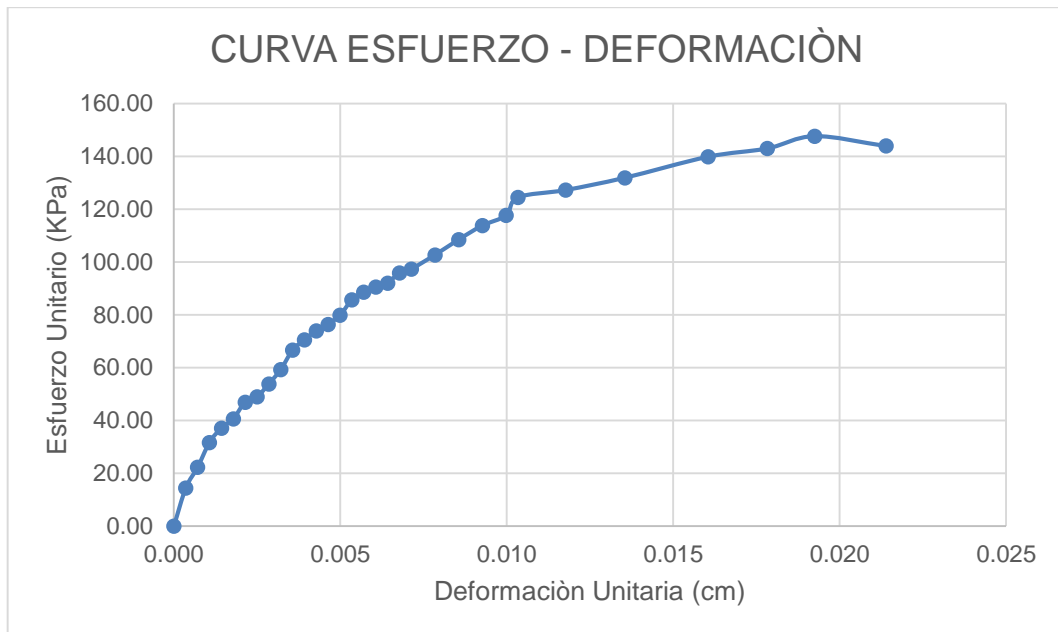


Figura 61. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 3.0 % de Emulsión Asfáltica - Prueba 2. Fuente: (Propia)

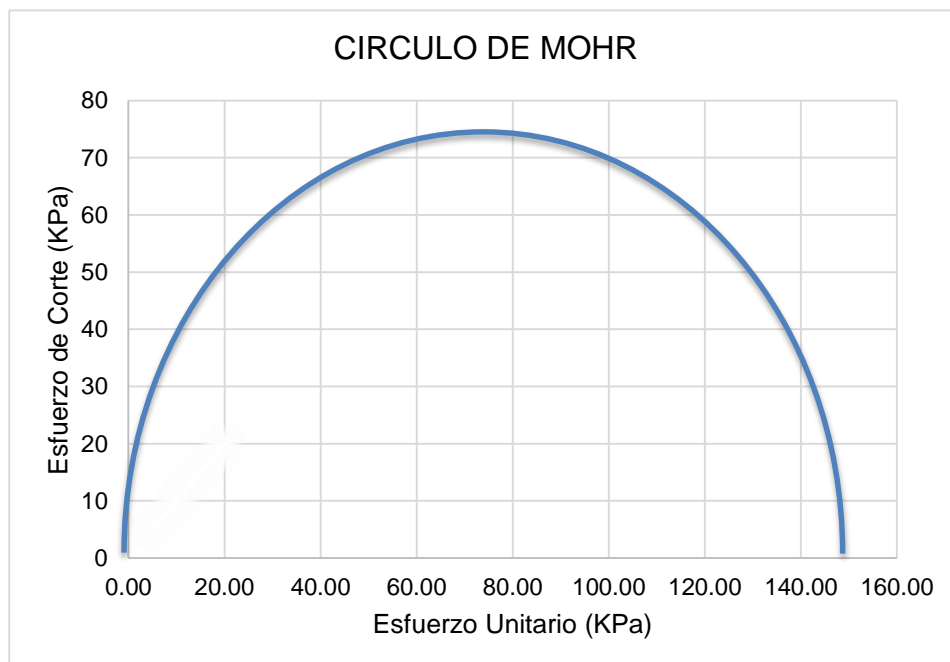


Figura 62: Círculo de Mohr con un 3.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba II Fuente: (Propia)

Tabla 102. Resistencia a la Compresión No Confinada 3.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 3. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         |                    | 3.0 % DE EMULSION ASFALTICA |                         | PROCEDENCIA:                      |   | CANTERA EL PALLAR               |                            |
|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3.55               | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9.898                   | Longitud (cm):                    | 7.125   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg) | Deformación Unitaria € (cm) | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.125            | 0.000              | 0.000000                    | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.122            | 1.250              | 0.000356                    | 0.999644                | 9.902                             | 0.126   | 12.379                          | 6.189                      |
| 7.120            | 1.900              | 0.000713                    | 0.999287                | 9.905                             | 0.192   | 18.809                          | 9.405                      |
| 7.117            | 2.550              | 0.001069                    | 0.998931                | 9.909                             | 0.257   | 25.235                          | 12.617                     |
| 7.115            | 3.450              | 0.001426                    | 0.998574                | 9.912                             | 0.348   | 34.129                          | 17.065                     |
| 7.112            | 4.075              | 0.001782                    | 0.998218                | 9.916                             | 0.411   | 40.297                          | 20.149                     |
| 7.110            | 4.800              | 0.002139                    | 0.997861                | 9.919                             | 0.484   | 47.450                          | 23.725                     |
| 7.107            | 5.300              | 0.002495                    | 0.997505                | 9.923                             | 0.534   | 52.374                          | 26.187                     |
| 7.105            | 5.900              | 0.002852                    | 0.997148                | 9.926                             | 0.594   | 58.282                          | 29.141                     |
| 7.102            | 6.000              | 0.003208                    | 0.996792                | 9.930                             | 0.604   | 59.249                          | 29.624                     |
| 7.100            | 6.550              | 0.003565                    | 0.996435                | 9.933                             | 0.659   | 64.657                          | 32.328                     |
| 7.097            | 7.150              | 0.003921                    | 0.996079                | 9.937                             | 0.720   | 70.555                          | 35.277                     |
| 7.095            | 7.450              | 0.004278                    | 0.995722                | 9.941                             | 0.749   | 73.489                          | 36.744                     |
| 7.092            | 7.750              | 0.004634                    | 0.995366                | 9.944                             | 0.779   | 76.420                          | 38.210                     |
| 7.089            | 8.100              | 0.004991                    | 0.995009                | 9.948                             | 0.814   | 79.843                          | 39.922                     |
| 7.087            | 8.650              | 0.005347                    | 0.994653                | 9.951                             | 0.869   | 85.234                          | 42.617                     |
| 7.084            | 9.000              | 0.005704                    | 0.994296                | 9.955                             | 0.904   | 88.651                          | 44.325                     |
| 7.082            | 9.500              | 0.006060                    | 0.993940                | 9.958                             | 0.954   | 93.542                          | 46.771                     |
| 7.079            | 9.950              | 0.006417                    | 0.993583                | 9.962                             | 0.999   | 97.938                          | 48.969                     |
| 7.077            | 10.500             | 0.006773                    | 0.993227                | 9.965                             | 1.054   | 103.315                         | 51.657                     |
| 7.074            | 10.850             | 0.007130                    | 0.992870                | 9.969                             | 1.088   | 106.720                         | 53.360                     |
| 7.067            | 11.250             | 0.008199                    | 0.991801                | 9.980                             | 1.127   | 110.536                         | 55.268                     |
| 7.062            | 11.550             | 0.008912                    | 0.991088                | 9.987                             | 1.157   | 113.402                         | 56.701                     |
| 7.054            | 12.000             | 0.009982                    | 0.990018                | 9.998                             | 1.200   | 117.693                         | 58.846                     |
| 7.049            | 12.550             | 0.010695                    | 0.989305                | 10.005                            | 1.254   | 122.998                         | 61.499                     |
| 7.044            | 13.350             | 0.011408                    | 0.988592                | 10.012                            | 1.333   | 130.745                         | 65.372                     |
| 7.036            | 13.750             | 0.012477                    | 0.987523                | 10.023                            | 1.372   | 134.516                         | 67.258                     |
| 7.028            | 14.200             | 0.013547                    | 0.986453                | 10.034                            | 1.415   | 138.768                         | 69.384                     |
| 7.023            | 14.500             | 0.014260                    | 0.985740                | 10.041                            | 1.444   | 141.598                         | 70.799                     |
| 7.016            | 14.800             | 0.015329                    | 0.984671                | 10.052                            | 1.472   | 144.370                         | 72.185                     |
| <b>7.001</b>     | <b>15.248</b>      | <b>0.017468</b>             | <b>0.982532</b>         | <b>10.074</b>                     | <b>1.514</b>                                    | <b>148.417</b>                  | <b>74.209</b>              |
| 6.985            | 14.500             | 0.019607                    | 0.980393                | 10.096                            | 1.436   | 140.829                         | 70.415                     |

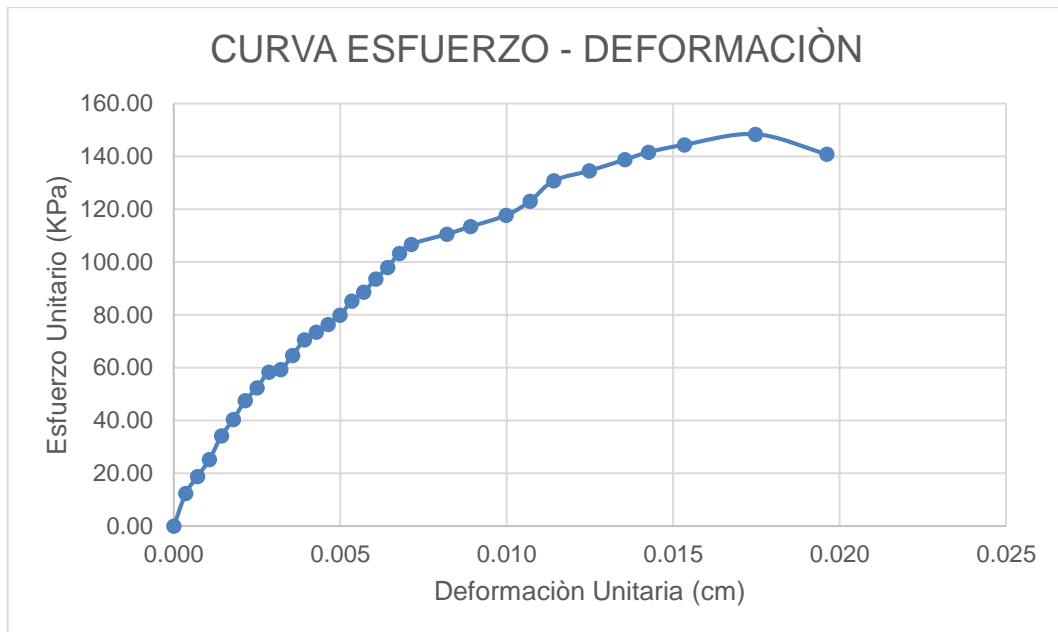


Figura 63. Figura 61. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 3.0 % de Emulsión Asfáltica - Prueba 3. Fuente: (Propia)

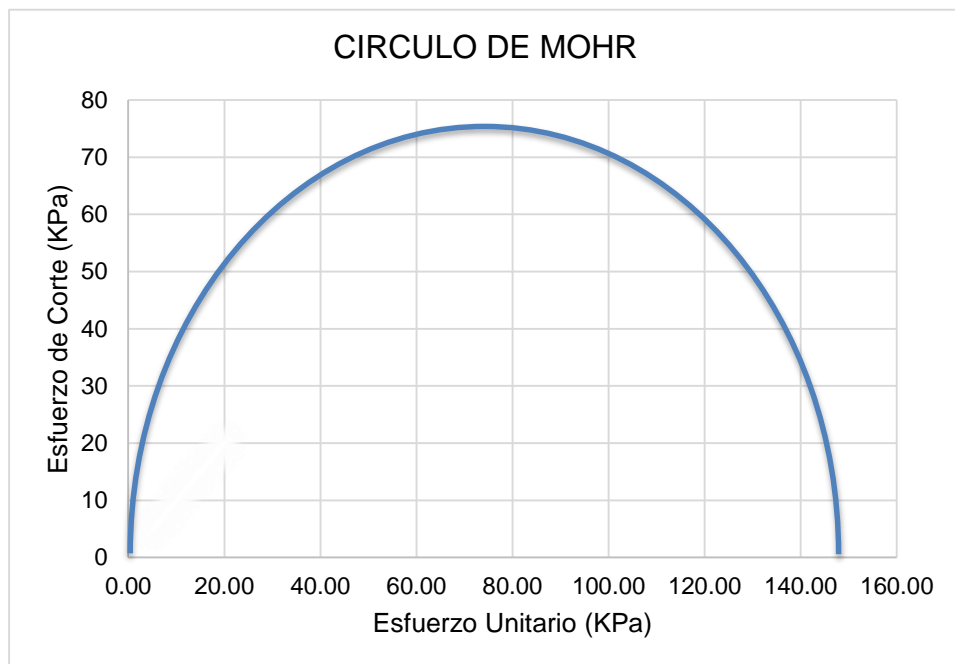


Figura 64: Círculo de Mohr con un 3.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba III Fuente: (Propia)

Tabla 103: Resistencia a la Compresión No Confinada 4.5 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 1 Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         |                    | 4.5% DE EMULSION ASFALTICA  |                         | PROCEDENCIA:                      |   | CANTERA EL PALLAR               |                            |
|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3.55               | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9.898                   | Longitud (cm):                    | 7.125   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg) | Deformación Unitaria € (cm) | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.125            | 0.000              | 0.000000                    | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.122            | 1.350              | 0.000356                    | 0.999644                | 9.902                             | 0.136   | 13.369                          | 6.685                      |
| 7.120            | 1.950              | 0.000713                    | 0.999287                | 9.905                             | 0.197   | 19.304                          | 9.652                      |
| 7.117            | 2.650              | 0.001069                    | 0.998931                | 9.909                             | 0.267   | 26.224                          | 13.112                     |
| 7.115            | 3.550              | 0.001426                    | 0.998574                | 9.912                             | 0.358   | 35.118                          | 17.559                     |
| 7.112            | 4.500              | 0.001782                    | 0.998218                | 9.916                             | 0.454   | 44.500                          | 22.250                     |
| 7.110            | 4.900              | 0.002139                    | 0.997861                | 9.919                             | 0.494   | 48.439                          | 24.219                     |
| 7.107            | 5.150              | 0.002495                    | 0.997505                | 9.923                             | 0.519   | 50.892                          | 25.446                     |
| 7.105            | 5.700              | 0.002852                    | 0.997148                | 9.926                             | 0.574   | 56.307                          | 28.153                     |
| 7.102            | 6.100              | 0.003208                    | 0.996792                | 9.930                             | 0.614   | 60.236                          | 30.118                     |
| 7.100            | 6.900              | 0.003565                    | 0.996435                | 9.933                             | 0.695   | 68.112                          | 34.056                     |
| 7.097            | 7.450              | 0.003921                    | 0.996079                | 9.937                             | 0.750   | 73.515                          | 36.757                     |
| 7.095            | 8.050              | 0.004278                    | 0.995722                | 9.941                             | 0.810   | 79.407                          | 39.704                     |
| 7.092            | 8.050              | 0.004634                    | 0.995366                | 9.944                             | 0.810   | 79.379                          | 39.689                     |
| 7.089            | 9.350              | 0.004991                    | 0.995009                | 9.948                             | 0.940   | 92.165                          | 46.082                     |
| 7.087            | 10.200             | 0.005347                    | 0.994653                | 9.951                             | 1.025   | 100.507                         | 50.254                     |
| 7.084            | 11.100             | 0.005704                    | 0.994296                | 9.955                             | 1.115   | 109.336                         | 54.668                     |
| 7.082            | 11.100             | 0.006060                    | 0.993940                | 9.958                             | 1.115   | 109.297                         | 54.648                     |
| 7.079            | 11.700             | 0.006417                    | 0.993583                | 9.962                             | 1.174   | 115.164                         | 57.582                     |
| 7.077            | 12.800             | 0.006773                    | 0.993227                | 9.965                             | 1.284   | 125.946                         | 62.973                     |
| 7.074            | 12.800             | 0.007130                    | 0.992870                | 9.969                             | 1.284   | 125.901                         | 62.950                     |
| 7.069            | 13.200             | 0.007843                    | 0.992157                | 9.976                             | 1.323   | 129.742                         | 64.871                     |
| 7.064            | 13.900             | 0.008556                    | 0.991444                | 9.983                             | 1.392   | 136.524                         | 68.262                     |
| 7.059            | 14.550             | 0.009269                    | 0.990731                | 9.991                             | 1.456   | 142.805                         | 71.403                     |
| 7.054            | 15.250             | 0.009982                    | 0.990018                | 9.998                             | 1.525   | 149.568                         | 74.784                     |
| 7.051            | 16.050             | 0.010338                    | 0.989662                | 10.001                            | 1.605   | 157.357                         | 78.679                     |
| 7.049            | 16.850             | 0.010695                    | 0.989305                | 10.005                            | 1.684   | 165.141                         | 82.571                     |
| 7.036            | 17.950             | 0.012477                    | 0.987523                | 10.023                            | 1.791   | 175.605                         | 87.802                     |
| 7.023            | 19.400             | 0.014260                    | 0.985740                | 10.041                            | 1.932   | 189.448                         | 94.724                     |
| 7.023            | 20.300             | 0.014260                    | 0.985740                | 10.041                            | 2.022   | 198.237                         | 99.118                     |
| <b>6.998</b>     | <b>20.625</b>      | <b>0.017825</b>             | <b>0.982175</b>         | <b>10.078</b>                     | <b>2.047</b>                                    | <b>200.682</b>                  | <b>100.341</b>             |
| 6.973            | 20.150             | 0.021389                    | 0.978611                | 10.114                            | 1.992   | 195.349                         | 97.674                     |



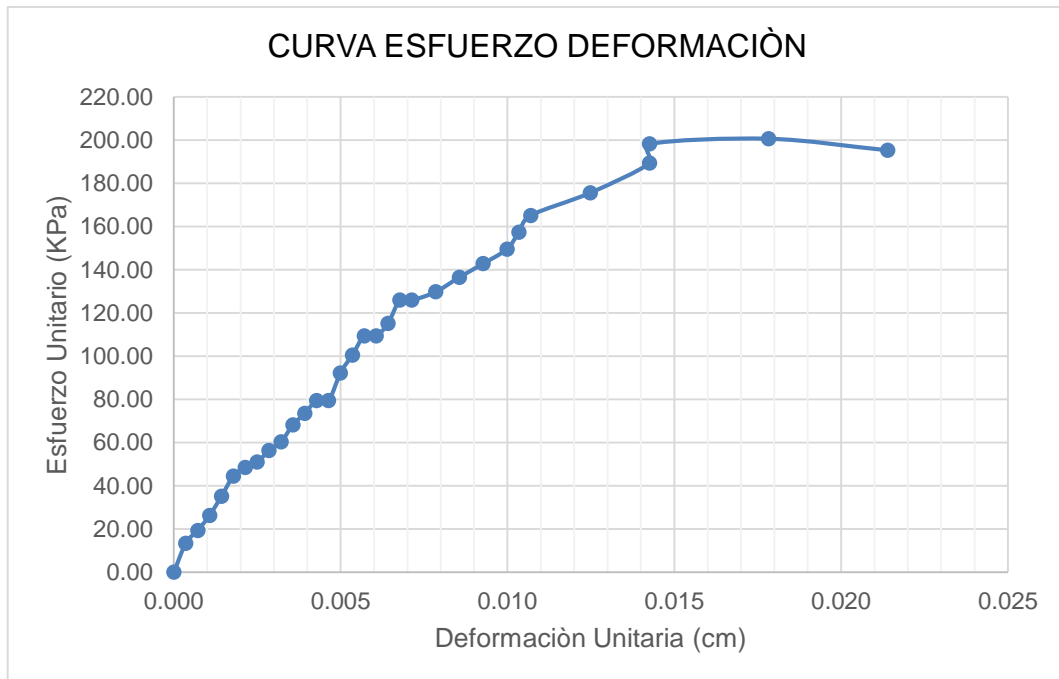


Figura 65: Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 4.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 1. Fuente: (Propia)

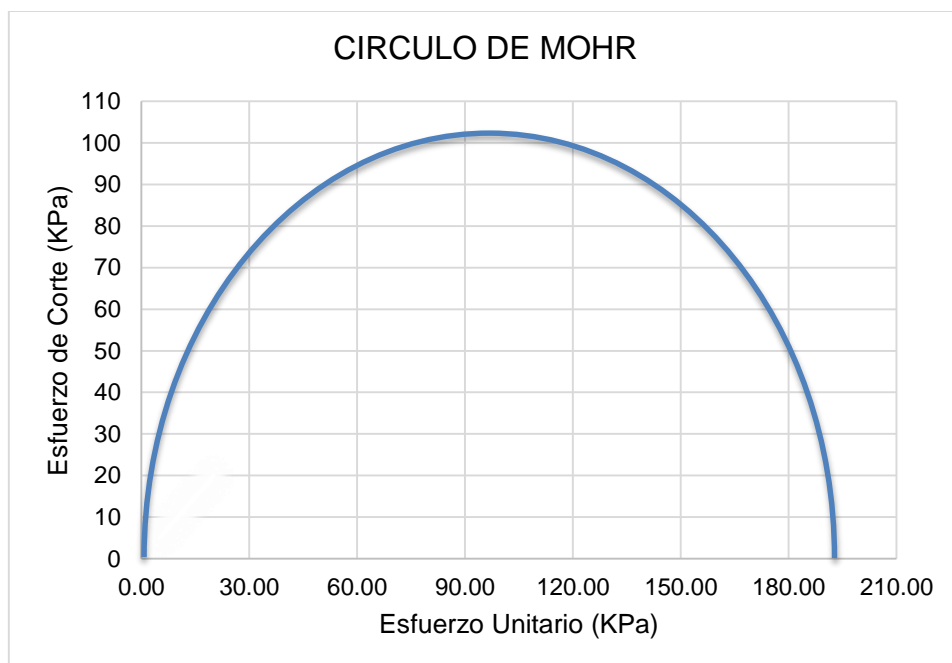


Figura 66: Círculo de Mohr con un 4.5 % de Emulsión Asfáltica Prueba I Fuente: (Propia)

Tabla 104. Resistencia a la Compresión No Confinada 4.5 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 2 Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         |                    | 4.5% DE EMULSION ASFALTICA  |                         | PROCEDENCIA:                      |   | CANTERA EL PALLAR               |                            |
|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3.55               | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9.898                   | Longitud (cm):                    | 7.125   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg) | Deformación Unitaria € (cm) | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.125            | 0.000              | 0.000000                    | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.122            | 1.350              | 0.000356                    | 0.999644                | 9.902                             | 0.136   | 13.369                          | 6.685                      |
| 7.120            | 1.950              | 0.000713                    | 0.999287                | 9.905                             | 0.197   | 19.304                          | 9.652                      |
| 7.117            | 2.650              | 0.001069                    | 0.998931                | 9.909                             | 0.267   | 26.224                          | 13.112                     |
| 7.115            | 3.750              | 0.001426                    | 0.998574                | 9.912                             | 0.378   | 37.097                          | 18.548                     |
| 7.112            | 4.600              | 0.001782                    | 0.998218                | 9.916                             | 0.464   | 45.489                          | 22.745                     |
| 7.110            | 5.400              | 0.002139                    | 0.997861                | 9.919                             | 0.544   | 53.381                          | 26.691                     |
| 7.107            | 5.650              | 0.002495                    | 0.997505                | 9.923                             | 0.569   | 55.833                          | 27.916                     |
| 7.105            | 6.200              | 0.002852                    | 0.997148                | 9.926                             | 0.625   | 61.246                          | 30.623                     |
| 7.102            | 6.550              | 0.003208                    | 0.996792                | 9.930                             | 0.660   | 64.680                          | 32.340                     |
| 7.100            | 7.400              | 0.003565                    | 0.996435                | 9.933                             | 0.745   | 73.048                          | 36.524                     |
| 7.097            | 7.950              | 0.003921                    | 0.996079                | 9.937                             | 0.800   | 78.449                          | 39.224                     |
| 7.095            | 8.250              | 0.004278                    | 0.995722                | 9.941                             | 0.830   | 81.380                          | 40.690                     |
| 7.092            | 8.550              | 0.004634                    | 0.995366                | 9.944                             | 0.860   | 84.309                          | 42.155                     |
| 7.089            | 9.850              | 0.004991                    | 0.995009                | 9.948                             | 0.990   | 97.093                          | 48.547                     |
| 7.087            | 10.800             | 0.005347                    | 0.994653                | 9.951                             | 1.085   | 106.419                         | 53.210                     |
| 7.084            | 11.200             | 0.005704                    | 0.994296                | 9.955                             | 1.125   | 110.321                         | 55.161                     |
| 7.082            | 11.600             | 0.006060                    | 0.993940                | 9.958                             | 1.165   | 114.220                         | 57.110                     |
| 7.079            | 12.200             | 0.006417                    | 0.993583                | 9.962                             | 1.225   | 120.085                         | 60.043                     |
| 7.077            | 12.850             | 0.006773                    | 0.993227                | 9.965                             | 1.289   | 126.438                         | 63.219                     |
| 7.074            | 13.300             | 0.007130                    | 0.992870                | 9.969                             | 1.334   | 130.819                         | 65.409                     |
| 7.067            | 13.700             | 0.008199                    | 0.991801                | 9.980                             | 1.373   | 134.608                         | 67.304                     |
| 7.059            | 14.400             | 0.009269                    | 0.990731                | 9.991                             | 1.441   | 141.333                         | 70.666                     |
| 7.054            | 15.050             | 0.009982                    | 0.990018                | 9.998                             | 1.505   | 147.606                         | 73.803                     |
| 7.049            | 15.750             | 0.010695                    | 0.989305                | 10.005                            | 1.574   | 154.360                         | 77.180                     |
| 7.041            | 16.550             | 0.011764                    | 0.988236                | 10.016                            | 1.652   | 162.026                         | 81.013                     |
| 7.034            | 17.350             | 0.012834                    | 0.987166                | 10.027                            | 1.730   | 169.674                         | 84.837                     |
| 7.028            | 18.450             | 0.013547                    | 0.986453                | 10.034                            | 1.839   | 180.301                         | 90.151                     |
| 7.021            | 19.900             | 0.014616                    | 0.985384                | 10.045                            | 1.981   | 194.260                         | 97.130                     |
| 7.013            | 20.050             | 0.015686                    | 0.984314                | 10.056                            | 1.994   | 195.512                         | 97.756                     |
| <b>7.001</b>     | <b>20.377</b>      | <b>0.017468</b>             | <b>0.982532</b>         | <b>10.074</b>                     | <b>2.023</b>                                    | <b>198.343</b>                  | <b>99.171</b>              |
| 6.985            | 20.000             | 0.019607                    | 0.980393                | 10.096                            | 1.981   | 194.247                         | 97.124                     |

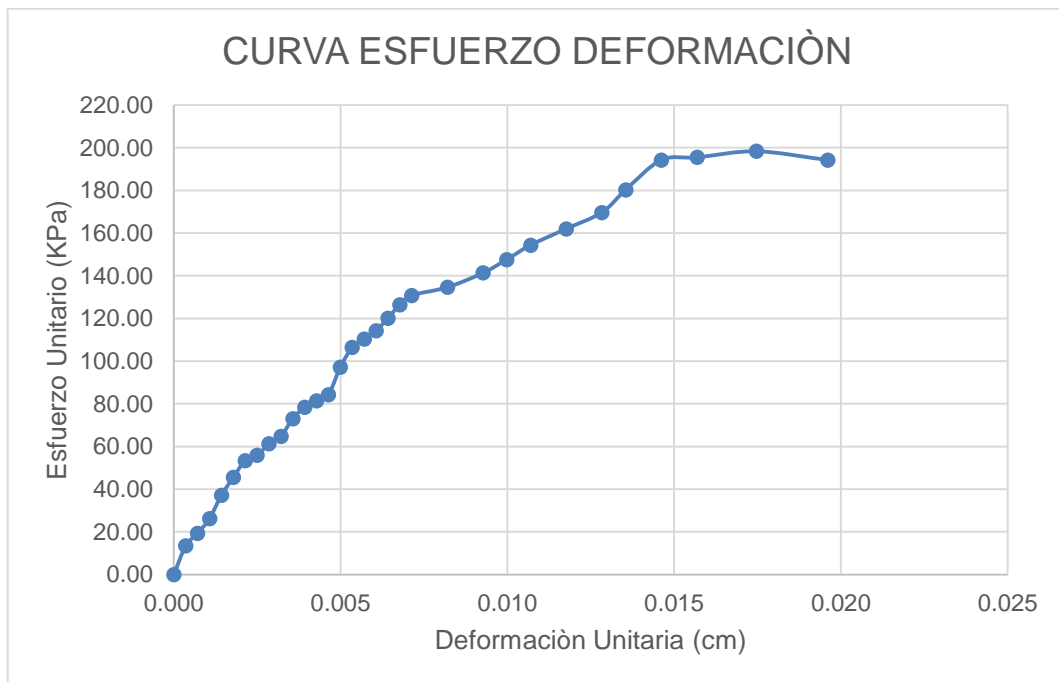


Figura 67. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 4.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 2. Fuente: (Propia)

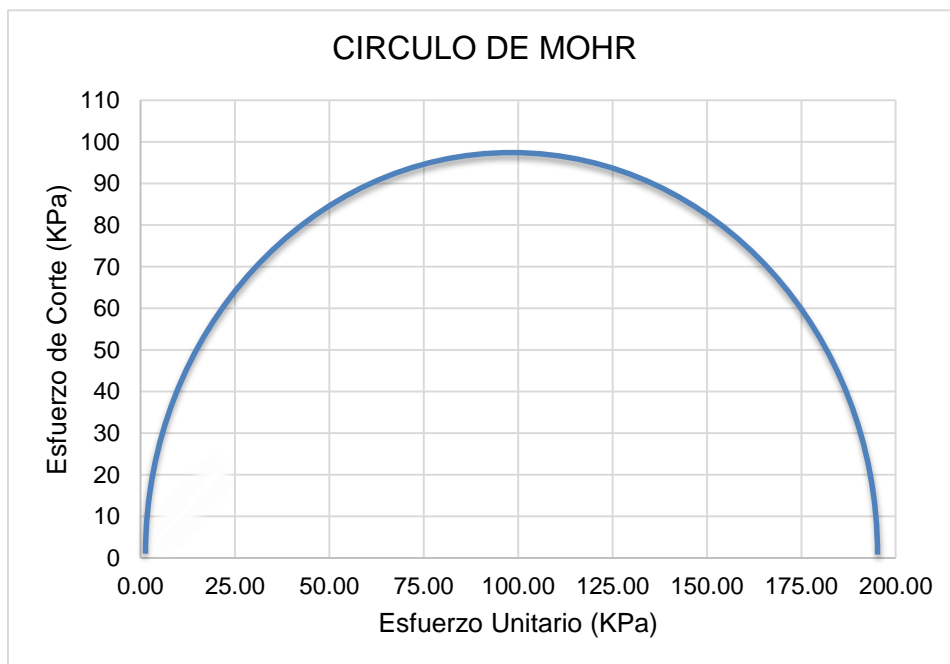


Figura 68: Círculo de Mohr con un 4.5 % de Emulsión Asfáltica Prueba II Fuente: (Propia)

Tabla 105. Resistencia a la Compresión No Confinada 4.5 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 3. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         |                    | 4.5% DE EMULSION ASFALTICA  |                         | PROCEDENCIA:                      |   | CANTERA EL PALLAR               |                            |
|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3.55               | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9.898                   | Longitud (cm):                    | 7.125   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg) | Deformación Unitaria € (cm) | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.125            | 0.000              | 0.000000                    | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.122            | 1.200              | 0.000356                    | 0.999644                | 9.902                             | 0.121   | 11.884                          | 5.942                      |
| 7.120            | 1.900              | 0.000713                    | 0.999287                | 9.905                             | 0.192   | 18.809                          | 9.405                      |
| 7.117            | 2.700              | 0.001069                    | 0.998931                | 9.909                             | 0.272   | 26.719                          | 13.360                     |
| 7.115            | 3.825              | 0.001426                    | 0.998574                | 9.912                             | 0.386   | 37.839                          | 18.919                     |
| 7.112            | 4.450              | 0.001782                    | 0.998218                | 9.916                             | 0.449   | 44.006                          | 22.003                     |
| 7.110            | 4.950              | 0.002139                    | 0.997861                | 9.919                             | 0.499   | 48.933                          | 24.466                     |
| 7.107            | 5.000              | 0.002495                    | 0.997505                | 9.923                             | 0.504   | 49.409                          | 24.705                     |
| 7.105            | 5.300              | 0.002852                    | 0.997148                | 9.926                             | 0.534   | 52.355                          | 26.178                     |
| 7.102            | 6.200              | 0.003208                    | 0.996792                | 9.930                             | 0.624   | 61.224                          | 30.612                     |
| 7.100            | 6.900              | 0.003565                    | 0.996435                | 9.933                             | 0.695   | 68.112                          | 34.056                     |
| 7.097            | 7.950              | 0.003921                    | 0.996079                | 9.937                             | 0.800   | 78.449                          | 39.224                     |
| 7.095            | 8.050              | 0.004278                    | 0.995722                | 9.941                             | 0.810   | 79.407                          | 39.704                     |
| 7.092            | 8.550              | 0.004634                    | 0.995366                | 9.944                             | 0.860   | 84.309                          | 42.155                     |
| 7.089            | 9.850              | 0.004991                    | 0.995009                | 9.948                             | 0.990   | 97.093                          | 48.547                     |
| 7.087            | 10.700             | 0.005347                    | 0.994653                | 9.951                             | 1.075   | 105.434                         | 52.717                     |
| 7.084            | 11.100             | 0.005704                    | 0.994296                | 9.955                             | 1.115   | 109.336                         | 54.668                     |
| 7.082            | 11.600             | 0.006060                    | 0.993940                | 9.958                             | 1.165   | 114.220                         | 57.110                     |
| 7.079            | 12.200             | 0.006417                    | 0.993583                | 9.962                             | 1.225   | 120.085                         | 60.043                     |
| 7.077            | 12.300             | 0.006773                    | 0.993227                | 9.965                             | 1.234   | 121.026                         | 60.513                     |
| 7.074            | 13.300             | 0.007130                    | 0.992870                | 9.969                             | 1.334   | 130.819                         | 65.409                     |
| 7.069            | 13.700             | 0.007843                    | 0.992157                | 9.976                             | 1.373   | 134.656                         | 67.328                     |
| 7.064            | 14.400             | 0.008556                    | 0.991444                | 9.983                             | 1.442   | 141.435                         | 70.717                     |
| 7.059            | 15.050             | 0.009269                    | 0.990731                | 9.991                             | 1.506   | 147.713                         | 73.856                     |
| 7.054            | 15.750             | 0.009982                    | 0.990018                | 9.998                             | 1.575   | 154.472                         | 77.236                     |
| 7.051            | 16.550             | 0.010338                    | 0.989662                | 10.001                            | 1.655   | 162.259                         | 81.130                     |
| 7.049            | 17.350             | 0.010695                    | 0.989305                | 10.005                            | 1.734   | 170.042                         | 85.021                     |
| 7.039            | 18.450             | 0.012121                    | 0.987879                | 10.019                            | 1.841   | 180.562                         | 90.281                     |
| 7.028            | 19.200             | 0.013547                    | 0.986453                | 10.034                            | 1.914   | 187.630                         | 93.815                     |
| 7.023            | 20.200             | 0.014260                    | 0.985740                | 10.041                            | 2.012   | 197.260                         | 98.630                     |
| <b>7.011</b>     | <b>20.517</b>      | <b>0.016042</b>             | <b>0.983958</b>         | <b>10.059</b>                     | <b>2.040</b>                                    | <b>199.996</b>                  | <b>99.998</b>              |
| 6.985            | 20.000             | 0.019607                    | 0.980393                | 10.096                            | 1.981   | 194.247                         | 97.124                     |

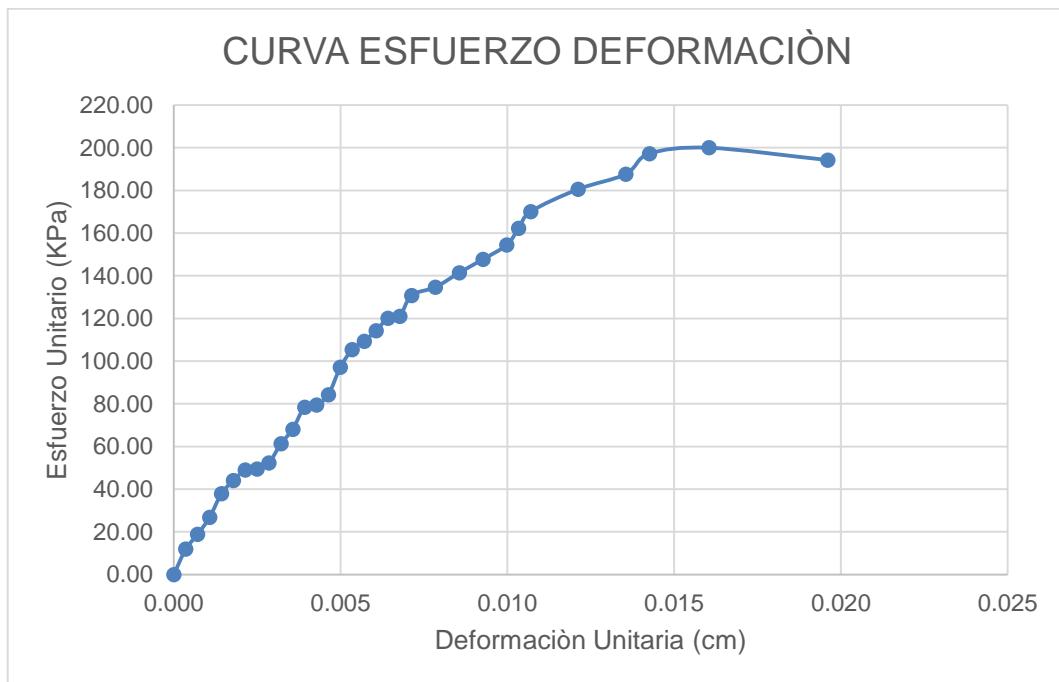


Figura 69. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera El Pallar con 4.5 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 3. Fuente: (Propia)

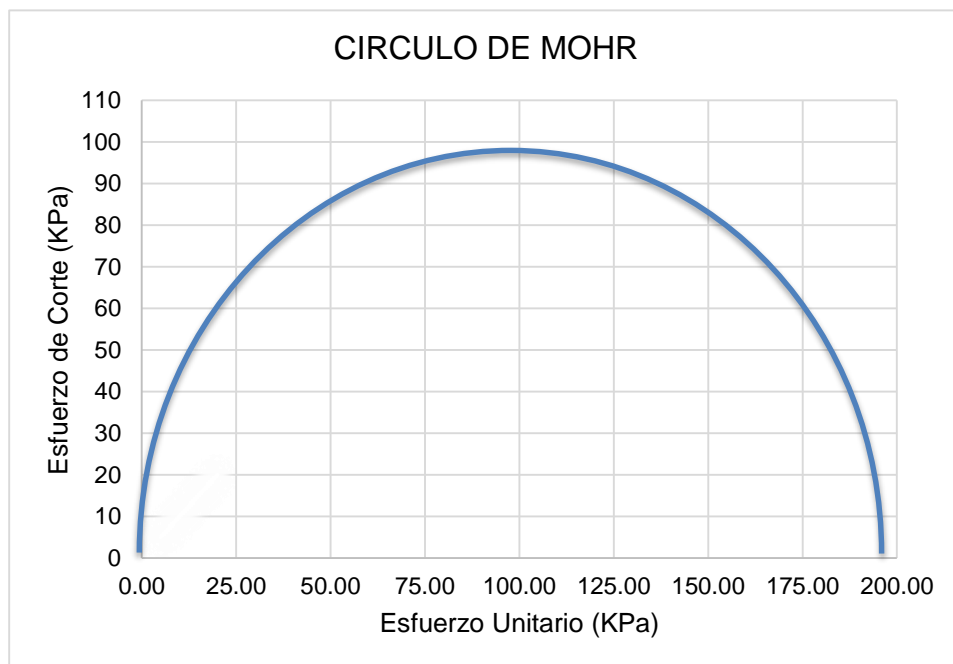


Figura 70: Círculo de Mohr con un 4.5 % de Emulsión Asfáltica Prueba III Fuente: (Propia)

Tabla 106: Resistencia a la Compresión No Confinada 6.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 1. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         |                    | 6.0 % DE EMULSION ASFALTICA |                         | PROCEDENCIA:                      |   | CANTERA EL PALLAR               |                            |
|------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3.55               | Área (cm <sup>2</sup> ):    | 9.898                   | Longitud (cm):                    | 7.125   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg) | Deformación Unitaria €      | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.125            | 0.000              | 0.000000                    | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.122            | 1.300              | 0.000356                    | 0.999644                | 9.902                             | 0.131   | 12.874                          | 6.437                      |
| 7.120            | 1.950              | 0.000713                    | 0.999287                | 9.905                             | 0.197   | 19.304                          | 9.652                      |
| 7.117            | 3.000              | 0.001069                    | 0.998931                | 9.909                             | 0.303   | 29.688                          | 14.844                     |
| 7.115            | 3.500              | 0.001426                    | 0.998574                | 9.912                             | 0.353   | 34.624                          | 17.312                     |
| 7.112            | 4.120              | 0.001782                    | 0.998218                | 9.916                             | 0.416   | 40.742                          | 20.371                     |
| 7.110            | 4.850              | 0.002139                    | 0.997861                | 9.919                             | 0.489   | 47.944                          | 23.972                     |
| 7.107            | 4.850              | 0.002495                    | 0.997505                | 9.923                             | 0.489   | 47.927                          | 23.964                     |
| 7.105            | 5.500              | 0.002852                    | 0.997148                | 9.926                             | 0.554   | 54.331                          | 27.165                     |
| 7.102            | 5.950              | 0.003208                    | 0.996792                | 9.930                             | 0.599   | 58.755                          | 29.378                     |
| 7.100            | 7.000              | 0.003565                    | 0.996435                | 9.933                             | 0.705   | 69.099                          | 34.550                     |
| 7.097            | 7.150              | 0.003921                    | 0.996079                | 9.937                             | 0.720   | 70.555                          | 35.277                     |
| 7.095            | 7.550              | 0.004278                    | 0.995722                | 9.941                             | 0.760   | 74.475                          | 37.237                     |
| 7.092            | 7.550              | 0.004634                    | 0.995366                | 9.944                             | 0.759   | 74.448                          | 37.224                     |
| 7.089            | 8.150              | 0.004991                    | 0.995009                | 9.948                             | 0.819   | 80.336                          | 40.168                     |
| 7.087            | 8.700              | 0.005347                    | 0.994653                | 9.951                             | 0.874   | 85.727                          | 42.863                     |
| 7.084            | 9.100              | 0.005704                    | 0.994296                | 9.955                             | 0.914   | 89.636                          | 44.818                     |
| 7.082            | 9.100              | 0.006060                    | 0.993940                | 9.958                             | 0.914   | 89.604                          | 44.802                     |
| 7.079            | 9.700              | 0.006417                    | 0.993583                | 9.962                             | 0.974   | 95.478                          | 47.739                     |
| 7.077            | 10.500             | 0.006773                    | 0.993227                | 9.965                             | 1.054   | 103.315                         | 51.657                     |
| 7.074            | 10.500             | 0.007130                    | 0.992870                | 9.969                             | 1.053   | 103.278                         | 51.639                     |
| 7.069            | 10.900             | 0.007843                    | 0.992157                | 9.976                             | 1.093   | 107.135                         | 53.568                     |
| 7.064            | 11.300             | 0.008556                    | 0.991444                | 9.983                             | 1.132   | 110.987                         | 55.493                     |
| 7.059            | 11.800             | 0.009269                    | 0.990731                | 9.991                             | 1.181   | 115.815                         | 57.907                     |
| 7.054            | 12.300             | 0.009982                    | 0.990018                | 9.998                             | 1.230   | 120.635                         | 60.318                     |
| 7.051            | 12.700             | 0.010338                    | 0.989662                | 10.001                            | 1.270   | 124.513                         | 62.257                     |
| 7.049            | 13.600             | 0.010695                    | 0.989305                | 10.005                            | 1.359   | 133.289                         | 66.645                     |
| 7.036            | 15.100             | 0.012477                    | 0.987523                | 10.023                            | 1.507   | 147.723                         | 73.862                     |
| 7.023            | 16.400             | 0.014260                    | 0.985740                | 10.041                            | 1.633   | 160.152                         | 80.076                     |
| 7.023            | 17.000             | 0.014260                    | 0.985740                | 10.041                            | 1.693   | 166.011                         | 83.005                     |
| <b>6.998</b>     | <b>18.600</b>      | <b>0.017825</b>             | <b>0.982175</b>         | <b>10.078</b>                     | <b>1.846</b>                                    | <b>180.979</b>                  | <b>90.489</b>              |
| 6.973            | 18.100             | 0.021389                    | 0.978611                | 10.114                            | 1.790   | 175.474                         | 87.737                     |

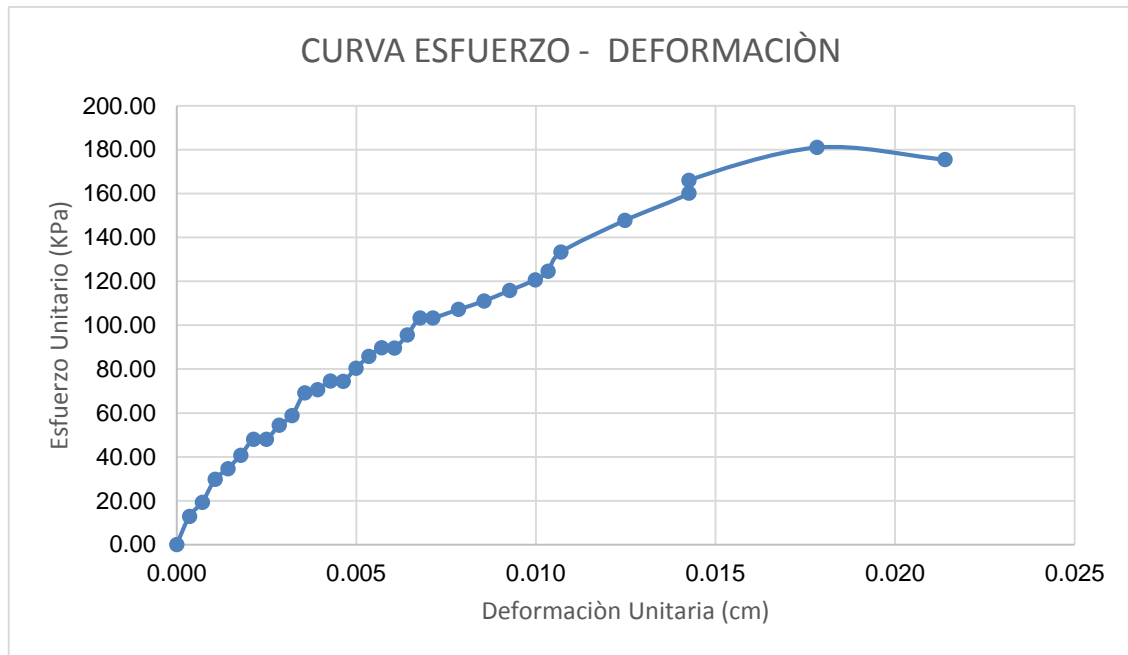


Figura 71: Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 6.0 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 1. Fuente: (Propia)

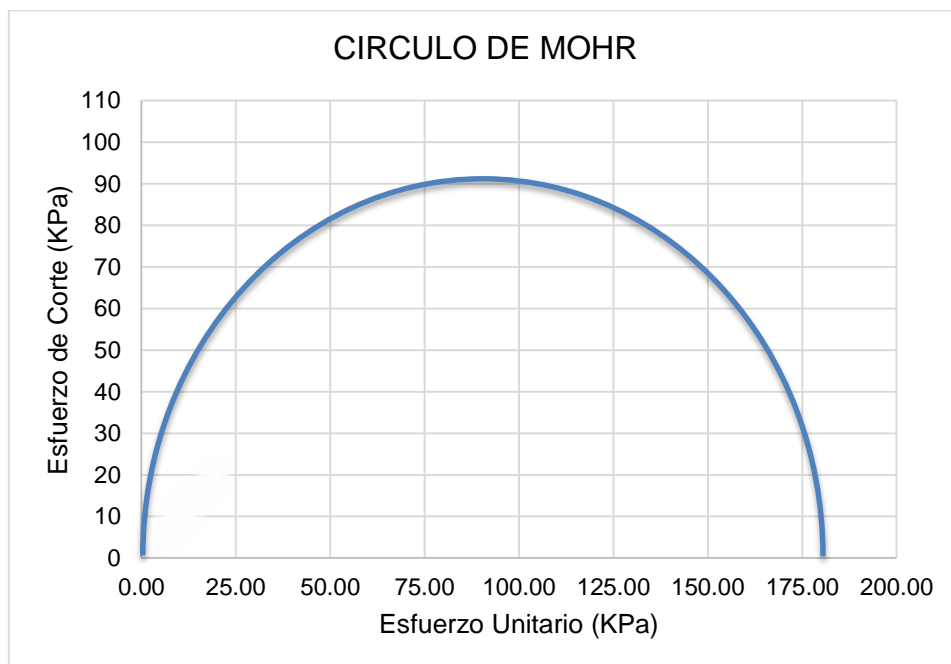


Figura 72: Círculo de Mohr con un 6.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba 1 Fuente: (Propia)

Tabla 107. Resistencia a la Compresión No Confinada 6.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 2. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         | 6.0 % DE EMULSION ASFALTICA |                          |                         | PROCEDENCIA:                      | CANTERA EL PALLAR                               |                                 |                            |
|------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3.55                        | Área (cm <sup>2</sup> ): | 9.898                   | Longitud (cm):                    | 7.125   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg)          | Deformación Unitaria €   | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.125            | 0.000                       | 0.000000                 | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.122            | 1.400                       | 0.000356                 | 0.999644                | 9.902                             | 0.141   | 13.864                          | 6.932                      |
| 7.120            | 2.000                       | 0.000713                 | 0.999287                | 9.905                             | 0.202   | 19.799                          | 9.900                      |
| 7.117            | 3.200                       | 0.001069                 | 0.998931                | 9.909                             | 0.323   | 31.667                          | 15.834                     |
| 7.115            | 3.400                       | 0.001426                 | 0.998574                | 9.912                             | 0.343   | 33.634                          | 16.817                     |
| 7.112            | 4.100                       | 0.001782                 | 0.998218                | 9.916                             | 0.413   | 40.545                          | 20.272                     |
| 7.110            | 4.700                       | 0.002139                 | 0.997861                | 9.919                             | 0.474   | 46.461                          | 23.231                     |
| 7.107            | 5.000                       | 0.002495                 | 0.997505                | 9.923                             | 0.504   | 49.409                          | 24.705                     |
| 7.105            | 5.400                       | 0.002852                 | 0.997148                | 9.926                             | 0.544   | 53.343                          | 26.672                     |
| 7.102            | 6.500                       | 0.003208                 | 0.996792                | 9.930                             | 0.655   | 64.186                          | 32.093                     |
| 7.100            | 7.000                       | 0.003565                 | 0.996435                | 9.933                             | 0.705   | 69.099                          | 34.550                     |
| 7.097            | 7.100                       | 0.003921                 | 0.996079                | 9.937                             | 0.715   | 70.061                          | 35.031                     |
| 7.095            | 7.500                       | 0.004278                 | 0.995722                | 9.941                             | 0.754   | 73.982                          | 36.991                     |
| 7.092            | 7.600                       | 0.004634                 | 0.995366                | 9.944                             | 0.764   | 74.941                          | 37.471                     |
| 7.089            | 8.200                       | 0.004991                 | 0.995009                | 9.948                             | 0.824   | 80.829                          | 40.414                     |
| 7.087            | 8.800                       | 0.005347                 | 0.994653                | 9.951                             | 0.884   | 86.712                          | 43.356                     |
| 7.084            | 9.000                       | 0.005704                 | 0.994296                | 9.955                             | 0.904   | 88.651                          | 44.325                     |
| 7.082            | 9.400                       | 0.006060                 | 0.993940                | 9.958                             | 0.944   | 92.558                          | 46.279                     |
| 7.079            | 9.600                       | 0.006417                 | 0.993583                | 9.962                             | 0.964   | 94.493                          | 47.247                     |
| 7.077            | 10.000                      | 0.006773                 | 0.993227                | 9.965                             | 1.003   | 98.395                          | 49.198                     |
| 7.074            | 10.500                      | 0.007130                 | 0.992870                | 9.969                             | 1.053   | 103.278                         | 51.639                     |
| 7.069            | 10.900                      | 0.007843                 | 0.992157                | 9.976                             | 1.093   | 107.135                         | 53.568                     |
| 7.064            | 11.600                      | 0.008556                 | 0.991444                | 9.983                             | 1.162   | 113.934                         | 56.967                     |
| 7.056            | 12.000                      | 0.009625                 | 0.990375                | 9.994                             | 1.201   | 117.735                         | 58.868                     |
| 7.051            | 12.700                      | 0.010338                 | 0.989662                | 10.001                            | 1.270   | 124.513                         | 62.257                     |
| 7.044            | 13.800                      | 0.011408                 | 0.988592                | 10.012                            | 1.378   | 135.152                         | 67.576                     |
| 7.041            | 14.600                      | 0.011764                 | 0.988236                | 10.016                            | 1.458   | 142.935                         | 71.468                     |
| 7.031            | 16.000                      | 0.013190                 | 0.986810                | 10.030                            | 1.595   | 156.415                         | 78.208                     |
| 7.018            | 16.800                      | 0.014973                 | 0.985027                | 10.048                            | 1.672   | 163.939                         | 81.970                     |
| 7.006            | 17.900                      | 0.016755                 | 0.983245                | 10.067                            | 1.778   | 174.357                         | 87.179                     |
| <b>6.985</b>     | <b>18.527</b>               | <b>0.019607</b>          | <b>0.980393</b>         | <b>10.096</b>                     | <b>1.835</b>                                    | <b>179.940</b>                  | <b>89.970</b>              |
| 6.973            | 18.000                      | 0.021389                 | 0.978611                | 10.114                            | 1.780   | 174.505                         | 87.252                     |



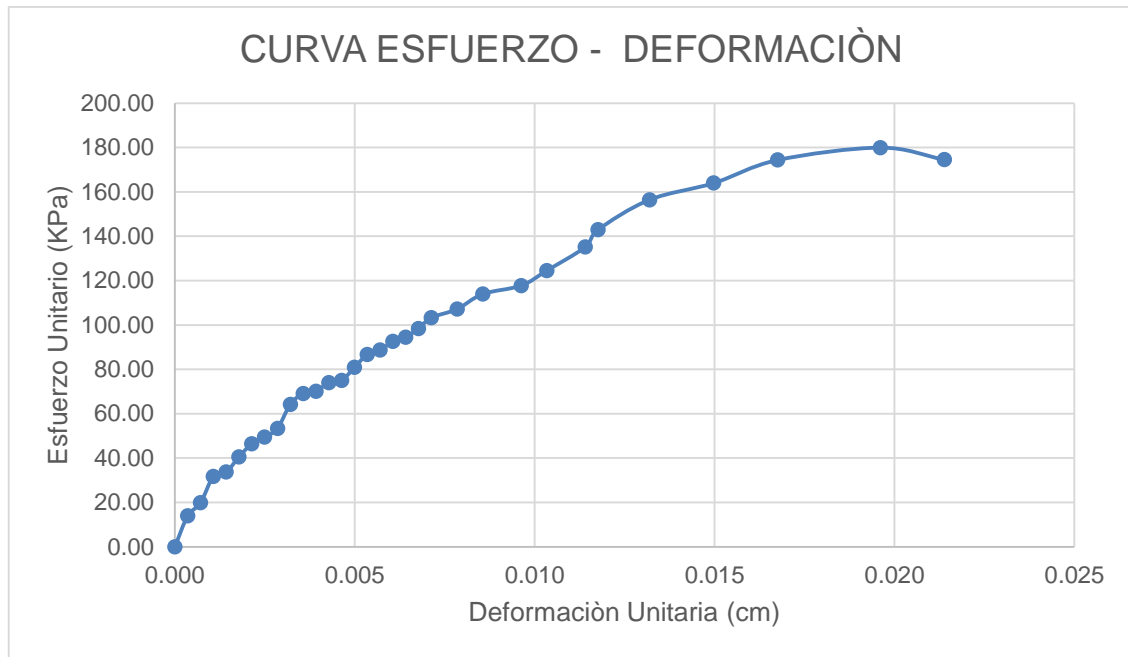


Figura 73. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 6.0 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 2. Fuente: (Propia)

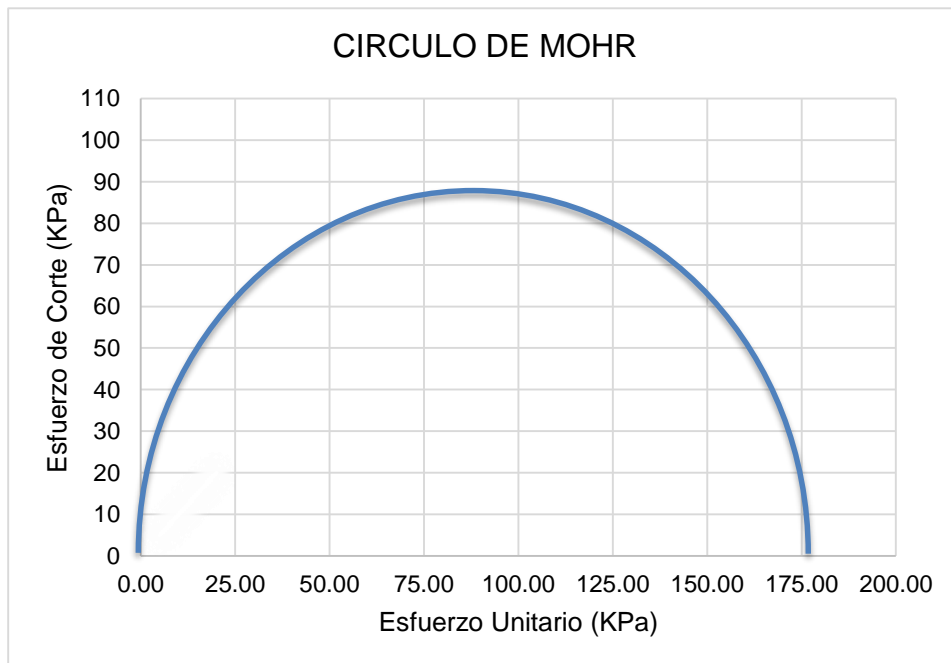


Figura 74: Círculo de Mohr con un 6.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba II Fuente: (Propia)

Tabla 108. Resistencia a la Compresión No Confinada 6.0 % de Emulsión Asfáltica de la Cantera El Pallar – Prueba 3. Fuente: (Propia)

| MUESTRA:         | 6.0 % DE EMULSION ASFALTICA |                          |                         | PROCEDENCIA:                      | CANTERA EL PALLAR                               |                                 |                            |
|------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| D. Inicial (cm): | 3.55                        | Área (cm <sup>2</sup> ): | 9.898                   | Longitud (cm):                    | 7.125   |                                 |                            |
| Deformación (cm) | Lectura Carga (Kg)          | Deformación Unitaria €   | Factor Corrección (1-€) | Área Corregida (Cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo sobre la Muestra (KPa) | Resistencia al Corte (KPa) |
| 7.125            | 0.000                       | 0.000000                 | 1.000000                | 9.898                             | 0.000   | 0.000                           | 0.000                      |
| 7.122            | 1.600                       | 0.000356                 | 0.999644                | 9.902                             | 0.162   | 15.845                          | 7.922                      |
| 7.120            | 2.500                       | 0.000713                 | 0.999287                | 9.905                             | 0.252   | 24.749                          | 12.374                     |
| 7.117            | 3.100                       | 0.001069                 | 0.998931                | 9.909                             | 0.313   | 30.678                          | 15.339                     |
| 7.115            | 3.700                       | 0.001426                 | 0.998574                | 9.912                             | 0.373   | 36.602                          | 18.301                     |
| 7.112            | 4.200                       | 0.001782                 | 0.998218                | 9.916                             | 0.424   | 41.534                          | 20.767                     |
| 7.110            | 4.900                       | 0.002139                 | 0.997861                | 9.919                             | 0.494   | 48.439                          | 24.219                     |
| 7.107            | 5.100                       | 0.002495                 | 0.997505                | 9.923                             | 0.514   | 50.398                          | 25.199                     |
| 7.105            | 5.700                       | 0.002852                 | 0.997148                | 9.926                             | 0.574   | 56.307                          | 28.153                     |
| 7.102            | 6.000                       | 0.003208                 | 0.996792                | 9.930                             | 0.604   | 59.249                          | 29.624                     |
| 7.100            | 6.900                       | 0.003565                 | 0.996435                | 9.933                             | 0.695   | 68.112                          | 34.056                     |
| 7.097            | 7.300                       | 0.003921                 | 0.996079                | 9.937                             | 0.735   | 72.035                          | 36.017                     |
| 7.095            | 7.700                       | 0.004278                 | 0.995722                | 9.941                             | 0.775   | 75.955                          | 37.977                     |
| 7.092            | 8.000                       | 0.004634                 | 0.995366                | 9.944                             | 0.804   | 78.886                          | 39.443                     |
| 7.089            | 8.500                       | 0.004991                 | 0.995009                | 9.948                             | 0.854   | 83.786                          | 41.893                     |
| 7.087            | 8.900                       | 0.005347                 | 0.994653                | 9.951                             | 0.894   | 87.697                          | 43.849                     |
| 7.084            | 9.100                       | 0.005704                 | 0.994296                | 9.955                             | 0.914   | 89.636                          | 44.818                     |
| 7.082            | 9.500                       | 0.006060                 | 0.993940                | 9.958                             | 0.954   | 93.542                          | 46.771                     |
| 7.079            | 9.900                       | 0.006417                 | 0.993583                | 9.962                             | 0.994   | 97.446                          | 48.723                     |
| 7.077            | 10.100                      | 0.006773                 | 0.993227                | 9.965                             | 1.013   | 99.379                          | 49.690                     |
| 7.074            | 10.800                      | 0.007130                 | 0.992870                | 9.969                             | 1.083   | 106.229                         | 53.114                     |
| 7.069            | 11.000                      | 0.007843                 | 0.992157                | 9.976                             | 1.103   | 108.118                         | 54.059                     |
| 7.064            | 11.500                      | 0.008556                 | 0.991444                | 9.983                             | 1.152   | 112.951                         | 56.476                     |
| 7.062            | 11.700                      | 0.008912                 | 0.991088                | 9.987                             | 1.172   | 114.874                         | 57.437                     |
| 7.056            | 12.900                      | 0.009625                 | 0.990375                | 9.994                             | 1.291   | 126.565                         | 63.283                     |
| 7.049            | 13.700                      | 0.010695                 | 0.989305                | 10.005                            | 1.369   | 134.269                         | 67.135                     |
| 7.044            | 14.800                      | 0.011408                 | 0.988592                | 10.012                            | 1.478   | 144.945                         | 72.473                     |
| 7.034            | 16.400                      | 0.012834                 | 0.987166                | 10.027                            | 1.636   | 160.383                         | 80.192                     |
| 7.021            | 17.600                      | 0.014616                 | 0.985384                | 10.045                            | 1.752   | 171.808                         | 85.904                     |
| 7.013            | 18.000                      | 0.015686                 | 0.984314                | 10.056                            | 1.790   | 175.522                         | 87.761                     |
| <b>7.001</b>     | <b>18.516</b>               | <b>0.017468</b>          | <b>0.982532</b>         | <b>10.074</b>                     | <b>1.838</b>                                    | <b>180.225</b>                  | <b>90.112</b>              |
| 6.988            | 18.200                      | 0.019251                 | 0.980749                | 10.092                            | 1.803   | 176.829                         | 88.415                     |

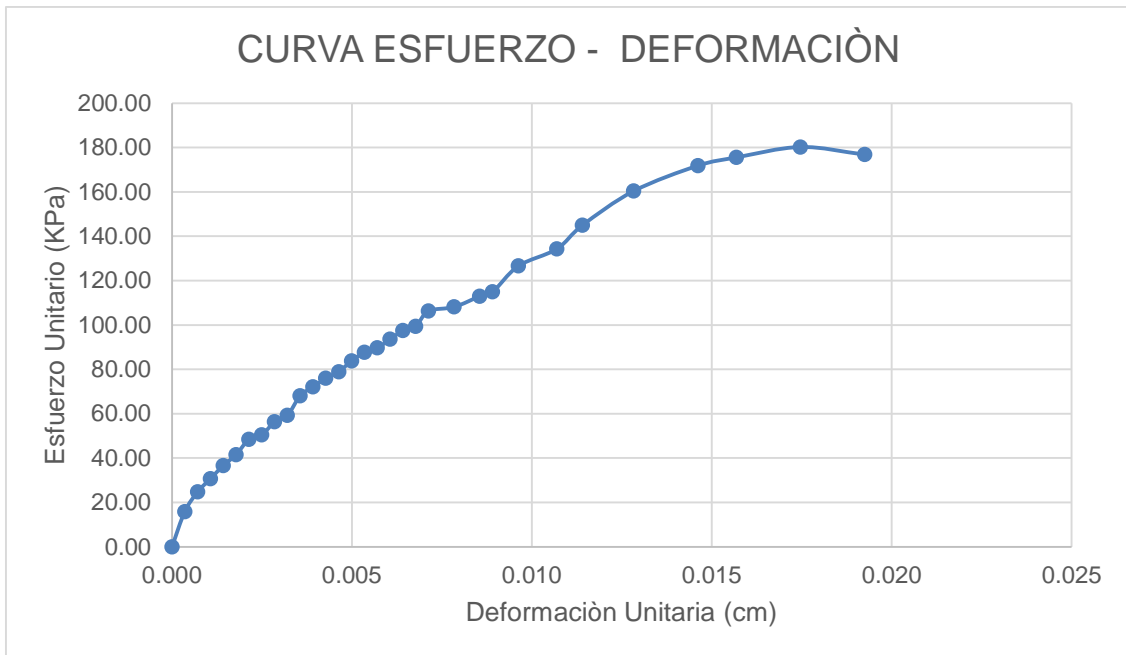


Figura 75. Curva Esfuerzo – Deformación Material de Cantera el El Pallar con 6.0 % de Emulsión Asfáltica – Prueba 3. Fuente: (Propia)

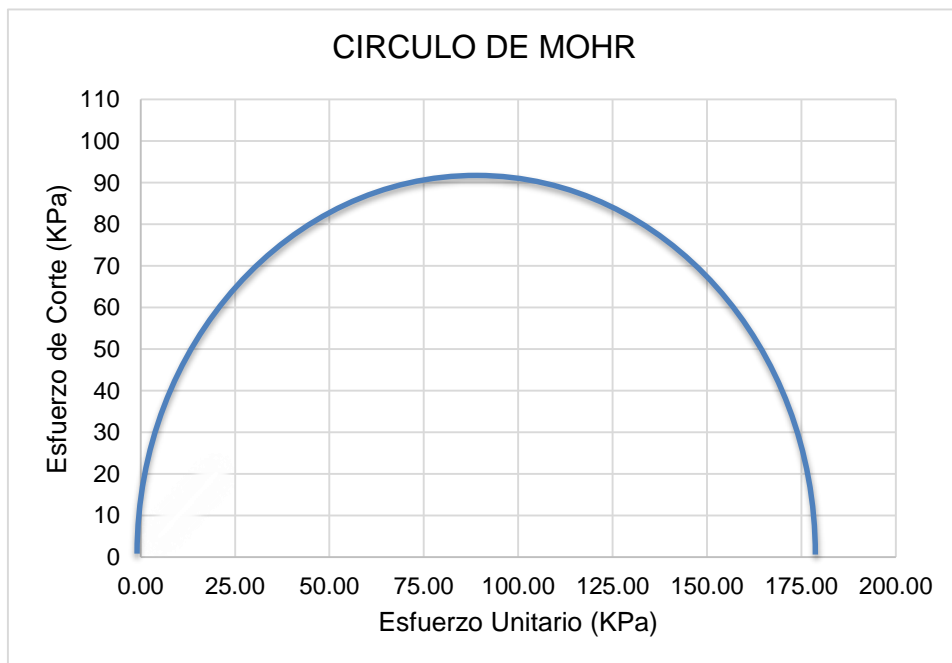


Figura 76: Círculo de Mohr con un 6.0 % de Emulsión Asfáltica Prueba III Fuente: (Propia)

## APÉNDICE Nº 2.4: Diseño de la vía afirmada Tramo El Pallar – Shalar, La Libertad

- Diseño de la Vía Afirmada en estado natural

$$e = [219 - 211x(\log_{10}CBR) + 58x((\log_{10}CBR)^2)]x\log_{10}\left(\frac{N_{rep.}}{120}\right)$$

- ✓ CBR % = California Bearing Ratio
- ✓ Nrep = Numero de repeticiones
- ✓ e= Espesor de Capa de Afirmado

Tabla 109: Diseño de la vía Afirmada sin Emulsión Asfáltica, Fuente: Propia

| CBR (%) | Nrep       | Espesor (mm) |
|---------|------------|--------------|
| 9,00    | 298.406,16 | 250          |

- Diseño de la Vía Afirmada con el óptimo contenido de Emulsión Asfáltica

$$e = [219 - 211x(\log_{10}CBR) + 58x((\log_{10}CBR)^2)]x\log_{10}\left(\frac{N_{rep.}}{120}\right)$$

- ✓ CBR % = California Bearing Ratio
- ✓ Nrep = Numero de repeticiones
- ✓ e= Espesor de Capa de Afirmado

Tabla 110: Diseño de la vía Afirmada con 4.5% de Emulsión Asfáltica, Fuente Propia

| CBR (%) | Nrep       | Espesor (mm) |
|---------|------------|--------------|
| 49.10   | 298.406,16 | 150          |

## ANEXOS

### ANEXO 1: Certificados de Ensayos en Laboratorio



### CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIOS

El que suscribe, Wesley John Leonardo Carrasco, hace constar por medio de la presente que los Sres. Víctor Alonso Cubas Guzman y Alvaro Jair Quiroz Montenegro, identificados con D.N.I N° 47413085 y 72567459 respectivamente, han realizado los ensayos de granulometría, contenido de humedad, peso unitario, peso específico, absorción, límites de consistencia, próctor, CBR, en las instalaciones del **Laboratorio de Mecánica de Suelos** de esta universidad, requeridos para la tesis **"Análisis Técnico Comparativo del Material Afirmado Estabilizado con Emulsión Asfáltica y una Convencional para el Diseño de la Vía Afirmada en el Tramo El Pallar-Shalar, La Libertad"**; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 08 de junio del 2018



Wesley John Leonardo Carrasco  
Supervisor de Laboratorio

## CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIOS

El que suscribe, Julio César Gurreonero Fernández, hace constar por medio de la presente que los Sres. Víctor Alonso Cubas Guzman y Alvaro Jair Quiroz Montenegro, identificados con D.N.I N° 47413085 y 72567459 respectivamente, han realizado el ensayo de compresión inconfiada en las instalaciones del *Laboratorio de Mecánica de Rocas* de esta universidad, requeridos para la tesis *"Análisis Técnico Comparativo del Material Afirmado Estabilizado con Emulsión Asfáltica y una Convencional para el Diseño de la Vía Afirmada en el Tramo El Pallar-Shalar, La Libertad"*; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.


Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 08 de junio del 2018



Julio César Gurreonero Fernández  
Supervisor de Laboratorio de Ingeniería  
Ambiental y Minas

## ANEXO 2: Ficha técnica de Emulsión Asfáltica

|  |  |   |
|--|--|---|
| <br><b>BITUPER S.A.C.</b> | <b>FICHA TECNICA</b><br><b>Emulsión Asfáltica Catiónica Tipo Superestable</b><br><b>CSS-1H</b> | Código : <b>BP-CSS-1H</b><br>Revisión : <b>Mayo 2013</b><br>Rvdo. por : <b>Lab. Central</b><br>Página : <b>1 de 1</b> |
|  | Activado<br>Ver Configuración  |   |

Emulsión Catiónica de Rotura Lenta CSS-1H, que tiene muy buena habilidad para mezclar con un agregado, es decir el asfalto demora un buen tiempo en sufrir coalescencia. Esta emulsión esta dentro de la clasificación de las LENTAS, permitiendo alcanzar una buena trabajabilidad. Estas emulsiones están diseñadas para reaccionar lentamente con el agregado y revertir del estado de emulsión al de asfalto.

### Aplicaciones

Slurry Seal, mezclas densas, estabilizaciones, riegos de liga, etc.( previa recomendación del proveedor )

### CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

|                             |   |                 |
|-----------------------------|---|-----------------|
| Composición                 | : | Asfalto y agua  |
| Color                       | : | Marrón oscuro   |
| Aspecto                     | : | Líquido viscoso |
| Gravedad específica a 20 °C | : | 0.95            |

### ESPECIFICACIONES ASTM D 2397

|   |            |
|---|------------|
| Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, s               | 20 – 100   |
| Sedimentación, 5 días, %                          | 5.0 % máx. |
| Estabilidad almacenamiento 24 hrs., %             | 1.0 % máx. |
| Tamizado, %                                       | 0.1 % máx. |
| Residuo asfáltico, %                              | 57 % mín.  |
| Prueba sobre el residuo de ensayo de destilación: |            |
| Penetración, 25 °C, 100 mg, 5 s (1)               | 40 - 90    |
| Ductilidad, 25 °C, 5 cm./min., cm.                | 40 mín.    |

(1) La penetración cambia al variar el tipo de PEN

### ALMACENAMIENTO

Se almacena en cisternas o cilindros metálicos a una temperatura de 10 °C a 60 °C

### ANEXO 3: Certificado de Calibración

#### Compression Testing Machine

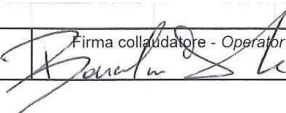

| <b>CONTROLS</b>   |   | <b>VERIFICA MACCHINA DI COMPRESSIONE</b> |                                |  |                 | <b>CERT.Nr.</b>           |             |
|---|---|--|--------------------------------|--|-----------------|---------------------------|-------------|
|   |   | <b>COMPRESSION TESTING MACHINE</b>       |                                |  |                 | <b>5035/2016</b>          |             |
| Cliente <b>GEOMECANICA LATINA</b>   |   |  | Indirizzo                      |  |                 |                           |             |
| Client  |   |  | Site address                   |  |                 |                           |             |
| Costruttore <b>CONTROLS</b>   | Modello <b>P0375</b>  | Matricola <b>16005809</b>                |                                | Carico max <b>50kN</b>   |                 |                           |             |
| Costomer  | Model <b>T1182</b>  | Serial no <b>16000467</b>                |                                | Max Load   |                 |                           |             |
| Carico misurato con-Load measured by  |   | Scala-Ranges                             | Risol.-Resol.                  | Carico min.ver.-Lower limit  |                 | Mat.-Serial no.           |             |
| Indicat. Manometrico - Manometer indicator  |   |  |                                |  |                 |                           |             |
| Dispaly dig. - Digital dis.   |   | 0-50kN                                   | 0,001                          | 4kN  |                 | 16000467                  |             |
| Altri - Others  |   |  |                                |  |                 |                           |             |
| Verificata con-Verified with  |   | Scala-Ranges                             | Certificato n°-Certificate no. |  | Valid.-Validity | Mat.-Serial no.           |             |
| Dinamometri elettr. - Force transducer  |   | 0-50 kN                                  | Bon-50/16                      |  | gen-17          | A.40.01.002               |             |
| Centralina digitale-Digital electronic tester                                       |   |  | Bon-50/16                      |  | gen-17          | A.40.02.008               |             |
| Manometri-Manometers  |   |  |                                |  |                 |                           |             |
| Anelli di prova-Proving rings   |   |  |                                |  |                 |                           |             |
| Verificata secondo  |   |  | Carico ver. da                 |  | 4 kN a          |                           | 50kN        |
| Conform to <b>L.Q.P1 rev.2</b>  |   |  | Load verified from             |  | to              |                           |             |
| Forza   | Uscite centralina (divisioni)   |  |                                | Temperatura  | 20 °C           |                           |             |
| Load  | Output digital electronic tester (division)   |  |                                | Temperature  | °C              |                           |             |
| kN  | Ciclo-Cycles 1  | Ciclo-Cycles 2                           | Ciclo-Cycles 3                 | <b>Memo</b>  |                 |                           |             |
| 0   | 0   | 0  | 0                              | Calcolo forze misurate/Calculation of measured forces                                |                 |                           |             |
| 4   | 16421   | 16410                                    | 16412                          | $F_i = C+D*(U_i-U_0)+E*(U_i-U_0)^2+F*(U_i-U_0)^3$                                    |                 |                           |             |
| 6   | 24631   | 24600                                    | 24607                          | Accuratezza/Accuracy   |                 |                           |             |
| 8   | 32850   | 32783                                    | 32832                          | Ripetibilità/Repeatability   |                 |                           |             |
| 10  | 41067   | 40978                                    | 40961                          | $A_i = \frac{F_i - M_i}{M_i} * 100$  |                 |                           |             |
| 20  | 82144   | 82004                                    | 81984                          | $R_i = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{M_i} * 100$                                      |                 |                           |             |
| 30  | 123375  | 123274                                   | 123234                         | Media/Media  |                 |                           |             |
| 40  | 164850  | 164737                                   | 164669                         | $M_i = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3}$  |                 |                           |             |
| 50  | 207047  | 206680                                   | 206997                         |  |                 |                           |             |
| F <sub>n</sub>  | U <sub>1</sub>  | U <sub>2</sub>                           | U <sub>3</sub>                 | Max  |                 |                           |             |
| Zero  | 0   | 0  | 0                              | 0  |                 |                           |             |
| <b>ELABORAZIONE DATI - DATA ELABORATION</b>   |   |  |                                |  |                 |                           |             |
| <b>Coefficienti dell'equazione del dinamometro - Index of strain gauge equation</b> |   |  |                                |  |                 |                           |             |
| C = 0,00000E+00   |   | D = 2,43080E-04                          |                                | E = 1,46181E-11  |                 | F = -1,04130E-16          |             |
| Forza   | Forze Misurate  |  |                                | Media  | Err. Accurat.   | Err. Ripetibilità         | Risoluzione |
| Load  | Load measured   |  |                                | Media  | Accuracy err.   | Repeatab. err.            | Resolution  |
| kN  | Ciclo-Cycles 1  | Ciclo-Cycles 2                           | Ciclo-Cycles 3                 | kN   | %               | %                         | %           |
| 0   | 0,0   | 0,0                                      | 0,0                            | 0,0  |                 |                           |             |
| 4   | 3,995   | 3,992                                    | 3,993                          | 3,993  | 0,16            | 0,07                      | 0,03        |
| 6   | 5,995   | 5,987                                    | 5,989                          | 5,990  | 0,16            | 0,13                      | 0,02        |
| 8   | 7,997   | 7,981                                    | 7,993                          | 7,990  | 0,12            | 0,20                      | 0,01        |
| 10  | 10,000  | 9,978                                    | 9,974                          | 9,984  | 0,16            | 0,26                      | 0,01        |
| 20  | 20,009  | 19,974                                   | 19,970                         | 19,984   | 0,08            | 0,19                      | 0,01        |
| 30  | 30,017  | 29,993                                   | 29,983                         | 29,997   | 0,01            | 0,11                      | 0,00        |
| 40  | 40,003  | 39,975                                   | 39,959                         | 39,979   | 0,05            | 0,11                      | 0,00        |
| 50  | 50,031  | 49,945                                   | 50,020                         | 49,999   | 0,00            | 0,17                      | 0,00        |
| F <sub>n</sub>  | F <sub>1</sub>  | F <sub>2</sub>                           | F <sub>3</sub>                 | M  | A               | R                         |             |
| <b>LIMITI DI CLASSE - FORCE SCALE TOLERANCES</b>                                    |   |  |                                |  |                 |                           |             |
|   | Err. accurat.   | Err. ripetibilità                        | Ritorno a 0                    | Risoluzione  |                 |                           |             |
|   | Accuracy err.   | Repeatab. err.                           | Zero error                     | Resolution   |                 |                           |             |
| Classe-Class  | %   | %  | % F.S.                         | %  |                 |                           |             |
| 1   | 1   | 1  | 0,2                            | 0,5  |                 |                           |             |
| 2   | 2   | 2  | 0,4                            | 1  |                 |                           |             |
| Campo di misura - Range   |   | Da - From <b>4 kN</b>                    |                                | a - to <b>50kN</b>   |                 |                           |             |
|   |   | 0,16                                     |                                | 0,03   |                 | Classe assegnata <b>1</b> |             |
| Campo di misura - Range   |   | Da - From                                |                                | a - to   |                 | Classe assegnata          |             |
| Data - Date   | Firma collaudatore - Operator signature   |  |                                | Verificata da - Verified by  |                 |                           |             |
| 14-lug-16   |  |  |                                |  |                 |                           |             |

Figura 80: Certificado de Calibración Máquina de Prueba de Compresión, Fuente: Laboratorio UPN



**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 - LF - 096 - 2017**

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>1. Expediente</b>                   | 17086   | 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).   |
| <b>2. Solicitante</b>                  | UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.  |   |
| <b>3. Dirección</b>                    | Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD. |   |
| <b>4. Equipo</b>                       | PRENSA MULTIUSO   |   |
| <b>Capacidad</b>                       | 10000 lbf   |   |
| <b>Marca</b>                           | FORNEY  |   |
| <b>Modelo</b>                          | 7691F   | Los resultados son validos 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. |
| <b>Número de Serie</b>                 | 2636  |   |
| <b>Identificación</b>                  | 1-013541 (*)  |   |
| <b>Procedencia</b>                     | U.S.A.  |   |
| <b>5. Indicador</b>                    | ANALÓGICO   | 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 aqui declarados.   |
| <b>Marca</b>                           | SPI   |   |
| <b>Número de Serie</b>                 | 99102   |   |
| <b>División de Escala / Resolución</b> | 0,0001 pulg.  | Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.   |
| <b>6. Fecha de Calibración</b>         | 2017-04-25  | El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.  |

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2017-04-28

JUAN C. QUISPE MORALES



Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282  
RPM: \*849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
ventas@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Figura 81: Certificado de Calibración Prensa Multiusos, Fuente: Laboratorio UPN

**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 - LL - 105 - 2017**

*Área de Metrología*  
*Laboratorio de Longitud*

Página 1 de 3

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>1. Expediente</b>                   | <b>17086</b>   | 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).   |
| <b>2. Solicitante</b>                  | <b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.</b>                                  |   |
| <b>3. Dirección</b>                    | Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD |   |
| <b>4. Instrumento de Medición</b>      | <b>DIAL</b>  | Los resultados son validos 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.<br><br>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 aqui declarados.<br><br>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.<br><br>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez. |
| <b>Alcance de indicación</b>           | 0 pulg. a 1,00 pulg.   |   |
| <b>División de Escala / Resolución</b> | 0,01 pulg.   |   |
| <b>Marca</b>                           | CDI  |   |
| <b>Modelo</b>                          | 26105C-SB  |   |
| <b>Número de Serie</b>                 | 121721146  |   |
| <b>Procedencia</b>                     | U.S.A.   |   |
| <b>Identificación</b>                  | 1-011857 (*)   |   |
| <b>Tipo de indicación</b>              | ANALÓGICO  |   |
| <b>5. Fecha de Calibración</b>         | : 2017-04-26   |   |

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

2017-04-28

JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ

Tel.: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282

RPM: \*849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com

Figura 82: Certificado de Calibración del Dial, Fuente: Laboratorio UPN

**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 - 203 - 2017**

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>1. Expediente</b>            | <b>17086</b>   |
| <b>2. Solicitante</b>           | <b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>   |
| <b>3. Dirección</b>             | Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino -<br>Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD. |
| <b>4. Equipo de medición</b>    | <b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>   |
| <b>Capacidad Máxima</b>         | <b>4100 g</b>  |
| <b>División de escala (d)</b>   | <b>0,01 g</b>  |
| <b>Div. de verificación (e)</b> | <b>0,1 g</b>   |
| <b>Clase de exactitud</b>       | <b>II</b>  |
| <b>Marca</b>                    | <b>OHAUS</b>   |
| <b>Modelo</b>                   | <b>PAJ4102</b>   |
| <b>Número de Serie</b>          | <b>8332050515</b>  |
| <b>Capacidad mínima</b>         | <b>0,50 g</b>  |
| <b>Procedencia</b>              | <b>U.S.A.</b>  |
| <b>Identificación</b>           | <b>1-011843 (*)</b>  |
| <b>Ubicación</b>                | <b>LABORATORIO DE CONCRETO<br/>PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.</b>                 |
| <b>5. Fecha de Calibración</b>  | <b>2017-04-26</b>  |

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 validos 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.

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.

Fecha de Emisión  
**2017-04-28**

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 - PERÚ  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282  
RPM: \*849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
ventas@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Figura 83: Certificado de Calibración de Balanza Electrónica, Fuente: Laboratorio UPN

**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 - LL - 107 - 2017**

Área de Metrología  
Laboratorio de Longitud

Página 1 de 3

|  |   |
|--|---|
| <b>1. Expediente</b>                   | <b>17086</b>  |
| <b>2. Solicitante</b>                  | <b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.</b>                                   |
| <b>3. Dirección</b>                    | Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD. |
| <b>4. Instrumento de Medición</b>      | <b>VERNIER (PIE DE REY)</b>   |
| <b>Alcance de indicación</b>           | 0 mm a 150 mm   |
| <b>División de Escala / Resolución</b> | 0,05 mm   |
| <b>Marca</b>                           | STANLEY   |
| <b>Modelo</b>                          | NO INDICA   |
| <b>Número de Serie</b>                 | 0762  |
| <b>Procedencia</b>                     | ALEMANIA  |
| <b>Identificación</b>                  | 10000585 (*)  |
| <b>Tipo de indicación</b>              | ANALÓGICO   |
| <b>5. Fecha de Calibración</b>         | 2017-04-26  |

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.

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.

Fecha de Emisión

2017-04-28

Jefe del Laboratorio de Metrología

JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282  
RPM: \*849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
ventas@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Figura 84: Certificado de Calibración de Vernier, Fuente: Laboratorio UPN

#### ANEXO 4: Panel fotográfico



*Figura 85: Conteo de vehículos Fuente (Propia)*



*Figura 86: Conteo de vehículos (Propia)*



Figura 87: Calicata N° 1 Tramo +0.00 Km - +1.00 Km (Propia)



Figura 88: Calicata N° 2 Tramo +1.00 Km - +2.00 Km (Propia)



Figura 89: Calicata N° 3 Tramo +2.00 Km - +3.00 Km (Propia)



Figura 90: Calicata N° 4 Tramo +3.00 Km - +4.00 Km (Propia)



*Figura 91: Ensayo Análisis Granulométrico por Tamizado (Propia)*



*Figura 92: Muestra Retenida en cada Malla (Propia)*





*Figura 93: Peso específico y absorción del agregado fino y grueso (Propia)*



*Figura 94: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y fino (Propia)*



*Figura 95: Ensayo Contenido de humedad (Propia)*



*Figura 96: Ensayo Limite Liquido (Propia)*



*Figura 97: Ensayo Limite Plástico (Propia)*



*Figura 98: Ensayo Desgaste por Abrasión (Propia)*



*Figura 99: Ensayo Proctor Modificado (Propia)*



*Figura 100: Moldes y accesorios para ensayo CBR (Propia)*



*Figura 101: Muestra después de 4 días inmerso en agua (Propia)*



*Figura 102: Ensayo CBR (Propia)*



*Figura 103: Preparación de la muestra con emulsión asfáltica (Propia)*



*Figura 104: Probetas con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica (Propia)*



Figura 105: Ensayo Resistencia Compresión No Confinada (Propia)



Figura 106: Ensayo de Resistencia Compresión No Confinada al 1.5% y 3.0% de Emulsion Asfaltica (Propia)



*Figura 107: Ensayo de Resistencia Compresión No Confinada al 4.5% y 6.0% de Emulsión Asfáltica (Propia)*



## ANEXO 5: Normativa para el desarrollo de Tesis



Figura 108: Manual de Ensayo de Materiales 2016, Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones