

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**Optimización del espesor de pavimento utilizando emulsión asfáltica para  
estabilizar la subrasante, Centro Poblado San Luis, Santa, Santa -  
Ancash – 2021**

**Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil**

**Autores:**

Bach. Carbajal Milla, Roberth Rolando

Bach. Lorenzo Chávez, Pablo Abdón

**Asesor:**

Ms. Rivasplata Díaz, Julio César

ORCID: 0000-0002-4180-9362

**Nuevo Chimbote - Perú**

**2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

Yo, Rivasplata Díaz Julio César, por intermedio de la presente y en mi condición de asesor, doy conformidad a la tesis titulada: **“OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ÁNCASH – 2021”**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, habiéndose ejecutado según el reglamento general para obtener el título profesional de Ingeniero Civil mediante la modalidad de tesis de investigación.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Julio César Rivasplata Díaz', is written over a horizontal line.

Ms. Rivasplata Díaz, Julio César

DNI: 32770844

ORCID: 0000-0002-4180-9362

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR**

Terminada la sustentación de la tesis titulada: **“OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ÁNCASH – 2021”**, sustentada el 01 de junio del 2023. Tiene la aprobación del jurado evaluador, firmando en señal de conformidad.

Dr. Abner Itamar León Bobadilla

DNI: 32942184

ORCID: 0000-0003-2949-6591

**Presidente**

Ms. Luz Esther Álvarez Asto

DNI: 32968961

ORCID: 0000-0001-6491-6569

**Secretaria**

Ms. Rivasplata Díaz, Julio César

DNI: 32770844

ORCID: 0000-0002-4180-9362

**Integrante**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**  
**- EPIC -**

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

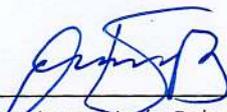
Al 01 día del mes de junio del año dos mil veintitrés, siendo las 11: 00 horas de la mañana, en el Aula C-2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 262-2023-UNS-CFI, con fecha 15.05.2023, integrado por los siguientes docentes: Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Presidente), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Secretaria), Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Integrante), e Ing. Iván Eliseo León Malo (Accesitario), y en base a la Resolución Decanal N° 316-2023-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021", presentado por los Bachilleres: CARBAJAL MILLA ROBERTH ROLANDO con cód. N° 0201413011 y LORENZO CHÁVEZ PABLO ABDÓN con cód. N° 0201413032, quienes fueron asesorados por el docente Ms. Julio César Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 055-2021-UNS-FI, de fecha 05.02.2021.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CARBAJAL MILLA ROBERTH ROLANDO	17	BUENO

Siendo las 12.00 del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 01 junio de 2023.

  
Dr. Abner Itamar León Bobadilla  
Presidente

  
Ms. Luz Esther Álvarez Asto  
Secretaria

  
Ms. Julio César Rivasplata Díaz  
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

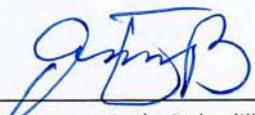
Al 01 día del mes de junio del año dos mil veintitrés, siendo las 11: 00 horas de la mañana, en el Aula C-2 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 262-2023-UNS-CFI, con fecha 15.05.2023, integrado por los siguientes docentes: Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Presidente), Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Secretaria), Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Integrante), e Ing. Iván Eliseo León Malo (Accesitario), y en base a la Resolución Decanal N° 316-2023-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021", presentado por los Bachilleres: CARBAJAL MILLA ROBERTH ROLANDO con cód. N° 0201413011 y LORENZO CHÁVEZ PABLO ABDÓN con cód. N° 0201413032, quienes fueron asesorados por el docente Ms. Julio César Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 055-2021-UNS-FI, de fecha 05.02.2021.

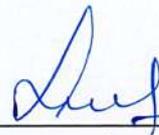
El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
LORENZO CHÁVEZ PABLO ABDÓN	17	BUENO

Siendo las 12.00 del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 01 junio de 2023.

  
Dr. Abner Itamar León Bobadilla  
Presidente

  
Ms. Luz Esther Álvarez Asto  
Secretaria

  
Ms. Julio César Rivasplata Díaz  
Integrante

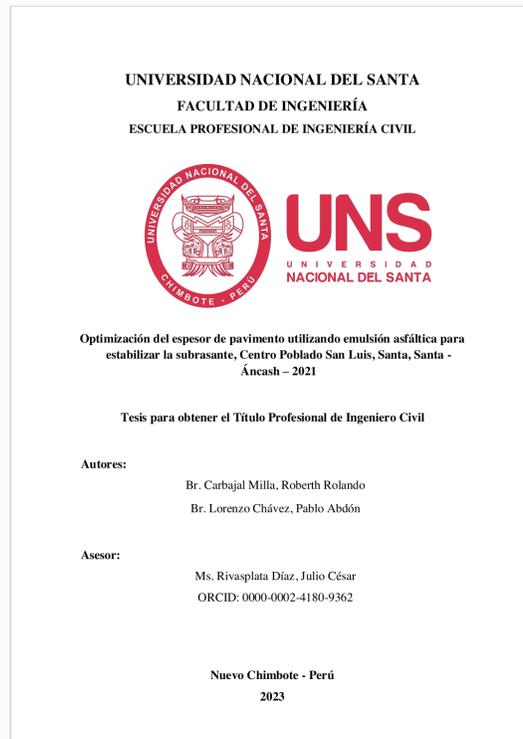


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Pablo Abdón Lorenzo Chávez  
Título del ejercicio: PRIMER ENTREGABLE  
Título de la entrega: Optimización del espesor de pavimento utilizando emulsión...  
Nombre del archivo: FINAL\_PARA\_TURNITIN.pdf  
Tamaño del archivo: 4.1M  
Total páginas: 164  
Total de palabras: 31,014  
Total de caracteres: 155,028  
Fecha de entrega: 29-may.-2023 12:10p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2104691107



## DEDICATORIA

A mi madre y a mi padre, que fueron, son y serán  
son lo más importante en mi vida, como un testimonio  
de gratitud y eterno reconocimiento, por el apoyo  
que siempre me han brindado y con el cual he logrado  
culminar mis estudios universitarios, siendo para mí,  
junto con su amor, la mejor de las herencias.  
Con admiración y respeto.

A mi hermana, por ser la motivación para  
cada día ser mejor persona y ejemplo para  
ella.

A toda mi familia y a mis dos mejores amigos,  
por su confianza depositada en mí, por su  
constante apoyo y por que en varios momentos  
me brindaron el aliento necesario para no rendirme  
ante las adversidades.

Pablo Abdón Lorenzo Chávez



## DEDICATORIA

A mis padres Rolando Carbajal Chauca y Verónica Milla Pedreros, de quienes me siento inmensamente agradecido por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles, y por sus invaluable consejos durante toda mi formación profesional.

A mis hermanos Ronny y Romina por su inmenso cariño, muestras de afecto y palabras de aliento para no rendirme ante las adversidades.

Roberth Rolando Carbajal Milla

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirnos llegar a este momento tan especial en nuestras vidas. Por los triunfos y momentos difíciles que nos han enseñado a valorarlo cada día más.

A nuestras familias, por ser el apoyo que cada uno de nosotros necesita en momentos difíciles, y por su respaldo y amor desinteresado.

Un agradecimiento especial a nuestro asesor, Ing. Julio Cesar Rivasplata Díaz, por su valiosa asistencia en la elaboración del este informe.

A los docentes de nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Civil, quienes nos compartieron de sus conocimientos, valores y experiencias para ser mejores en los diversos aspectos de la vida.

Los autores.



## Índice general

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xxiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xxv</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>26</b>
<b>1.1 Antecedentes del problema.....</b>	<b>29</b>
<b>1.2 Formulación del problema.....</b>	<b>30</b>
1.2.1 Problema general.....	31
1.2.2 Problemas específicos.....	31
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>32</b>
1.3.1 Objetivo general.....	32
1.3.2 Objetivos específicos.....	32
<b>1.4 Justificación.....</b>	<b>32</b>
1.4.1 Justificación técnica.....	32
1.4.2 Justificación socioeconómica.....	33
1.4.3 Justificación ambiental.....	33
<b>1.5 Limitaciones de la Investigación.....</b>	<b>33</b>
1.5.1 Limitaciones técnicas.....	33



1.5.2 Limitación social.....	34
<b>1.6 Hipótesis de la investigación.....</b>	<b>34</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>35</b>
<b>2.1 Antecedentes de la investigación.....</b>	<b>36</b>
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	36
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	39
<b>2.2 Base teórica.....</b>	<b>42</b>
2.2.1 Emulsión asfáltica.....	42
2.2.1.1 Definición.....	42
2.2.1.2 Composición de las emulsiones asfálticas.....	43
2.2.1.3 Clasificación de las emulsiones asfálticas..	47
2.2.1.4 Ventajas que ofrecen las emulsiones asfálticas.....	50
2.2.2 Subrasante.....	52
2.2.2.1 Definición.....	52
2.2.2.2 Propiedades de la subrasante.....	52
2.2.3 Propiedades Geotécnicas fundamentales de los suelos.....	53
2.2.3.1 Granulometría.....	53
2.2.3.1.1 Gráfica de distribución granulométrica.....	54
2.2.3.1.2 Análisis granulométrico por tamizado.....	58
2.2.3.2 Estados de consistencia del suelo.....	58

2.2.3.2.1 Limite líquido.....	60
2.2.3.2.2 Limite plástico.....	63
2.2.3.3 Clasificación de suelos.....	65
2.2.3.3.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	65
2.2.3.3.2 Sistema de Clasificación AASHTO.....	72
2.2.3.4 Compactación de suelos.....	76
2.2.3.4.1 Ensayo Proctor Modificado.....	78
2.2.3.5 Resistencia del suelo.....	79
2.2.4 Mejoramiento de suelos.....	81
2.2.5 Estabilización de suelos.....	81
2.2.5.1 Estabilización mecánica de suelos.....	82
2.2.5.2 Estabilización por combinación de suelos.....	82
2.2.5.3 Estabilización por sustitución de suelos.....	82
2.2.5.4 Estabilización química.....	83
2.2.5.4.1 Estabilización con productos asfálticos.....	83
2.2.6 Pavimento.....	84
2.2.6.1 Definición.....	84
2.2.6.2 Características que debe reunir un pavimento.....	86
2.2.6.3 Clasificación de los pavimentos.....	86

2.2.6.3.1 Pavimentos flexibles.....	86
2.2.6.3.2 Pavimentos semirrígidos.....	89
2.2.6.3.3 Pavimentos rígidos.....	90
2.2.6.4 Factores a considerar en el diseño de pavimentos.....	91
2.2.6.4.1 El tráfico.....	91
2.2.6.4.2 Estudio de mecánica de suelos.....	92
2.2.6.4.3 Condiciones climatológicas.....	92
2.2.7 Metodología AASHTO 1993 el para diseño de un pavimento flexible...93	
2.2.7.1 Introducción.....	93
2.2.7.2 Desarrollo del método.....	93
2.2.7.2.1 Variables de diseño.....	94
2.2.7.2.2 Tipo de tráfico.....	95
2.2.7.2.3 Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad...97	
2.2.7.2.4 Confiabilidad.....	99
2.2.7.2.5 Desviación estándar.....	100
2.2.7.2.6 Desviación Estándar Combinada (So).....	101
2.2.7.2.7 Modulo resiliente del material.....	101
2.2.7.2.8 Coeficientes estructurales de los materiales.....	101
2.2.7.2.9 Coeficiente de drenaje.....	105
2.2.7.2.10 Determinación de espesores.....	106



2.2.7.2.11 Espesores mínimos en función del ESAls.....	107
<b>2.3 Definición de términos.....</b>	<b>109</b>
<b>2.4 Marco normativo.....</b>	<b>111</b>
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>112</b>
<b>3.1 Tipo de investigación.....</b>	<b>113</b>
<b>3.2 Nivel de investigación.....</b>	<b>113</b>
<b>3.3 Diseño de investigación.....</b>	<b>114</b>
3.3.1 Diseño Experimental.....	115
<b>3.4 Unidad de análisis.....</b>	<b>116</b>
<b>3.5 Ubicación.....</b>	<b>116</b>
<b>3.6 Población y muestra.....</b>	<b>116</b>
3.6.1 Población.....	116
3.6.2 Muestra.....	116
<b>3.7 Variables.....</b>	<b>117</b>
3.7.1 Variable independiente.....	117
3.7.2 Variable dependiente.....	117
3.7.3 Matriz de consistencia.....	118
3.7.4 Operacionalización de variables.....	119
<b>3.8 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>120</b>
3.8.1 Técnicas de recolección de datos.....	120

3.8.2 Instrumentos de recolección de datos.....	120
3.8.3 Validación y confiabilidad de los instrumentos.....	122
<b>3.9 Procedimientos para recolección de datos.....</b>	<b>122</b>
3.9.1 Procedimientos para diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural.....	122
3.9.1.1 Muestreo de suelos y rocas (MTC E 107).....	122
3.9.1.2 Análisis Granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107).....	124
3.9.1.3 Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108).....	125
3.9.1.4 Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110).....	126
3.9.1.5 Determinación del límite plástico (L.P.) e índice de Plasticidad (I.P.) (MTC E 111).....	128
3.9.1.6 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado) (MTC E 115).....	130
3.9.1.7 CBR de suelos (Laboratorio) (MTC E 132).....	132
3.9.1.8 Diseño de pavimento flexible mediante Método AASHTO...	135
3.9.2 Procedimientos para conocer los efectos de adición de emulsión asfáltica a la subrasante en proporciones de 4%, 6% y 8%.....	137

3.9.3 Procedimientos para determinar el porcentaje de emulsión asfáltica a usar en la estabilización de la subrasante para optimizar el espesor de pavimento.....	138
3.9.4 Procedimientos para diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a la subrasante estabilizada con emulsión asfáltica.....	138
<b>3.10 Métodos de análisis de datos.....</b>	<b>138</b>
3.10.1 Instrumentos de análisis de datos.....	139
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>140</b>
<b>4.1 Análisis e interpretación de los resultados.....</b>	<b>141</b>
4.1.1 Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural.....	141
4.1.1.1 Ensayos de caracterización física.....	141
4.1.1.1.1 Análisis granulométrico de suelos por tamizado....	141
4.1.1.1.2 Determinación del contenido de humedad de un suelo.....	146
4.1.1.1.3 Límites de consistencia.....	146
4.1.1.2 Clasificación de suelos.....	147
4.1.1.3 Ensayos de caracterización mecánica.....	148

4.1.1.3.1 Compactación de suelos en laboratorio (Proctor Modificado).....	148
4.1.1.3.2 CBR Laboratorio.....	153
4.1.1.3 Diseño de pavimento flexible – Método AASHTO 1993.....	155
4.1.1.3.1 Diseño de pavimento – Centro Poblado.....	155
4.1.1.3.2 Diseño de pavimento – Tramo 2.....	157
4.1.1.3.3 Diseño de pavimento – Tramo 1.....	159
4.1.2 Conocer los efectos de adición de emulsión asfáltica a la subrasante en las proporciones de 4%, 6% y 8%.....	161
4.1.2.1 Ensayos de caracterización mecánica.....	161
4.1.2.1.1 Compactación de suelos en laboratorio (Proctor Modificado).....	161
4.1.2.1.2 CBR Laboratorio.....	168
4.1.3 Determinar el porcentaje de emulsión asfáltica que se utilizará en la estabilización de la subrasante para optimizar el espesor de pavimento.....	172
4.1.4 Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a la subrasante estabilizada con emulsión asfáltica.....	173
4.1.4.1 Diseño de pavimento flexible – Centro Poblado.....	173
4.1.4.2 Diseño de pavimento flexible – Tramo 2.....	175



4.1.4.3 Diseño de pavimento flexible – Tramo 1.....	176
<b>4.2 Discusión.....</b>	<b>178</b>
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>183</b>
<b>5.1 Conclusiones.....</b>	<b>184</b>
<b>5.2 Recomendaciones.....</b>	<b>188</b>
<b>CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES.....</b>	<b>189</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Requerimiento de Emulsión Asfáltica Catiónica.....	46
Tabla 2. Composición de las Emulsiones Asfálticas.....	47
Tabla 3. Tipos de emulsión Asfáltica, características y aplicación.....	50
Tabla 4. Cuadro comparativo de Materiales Asfálticos.....	51
Tabla 5. Categorías de Subrasante.....	53
Tabla 6. Clasificación de suelos según tamaño de partículas.....	54
Tabla 7. Relación de tamices de malla cuadrada.....	58
Tabla 8. Clasificación de suelos según índice de plasticidad.....	65
Tabla 9. Símbolos de grupo (SUCS).....	66
Tabla 10. Clasificación de suelos basada en AASHTO M 145.....	73
Tabla 11. Correlación de tipos de suelo AASHTO – SUCS.....	75
Tabla 12. Clasificación del suelo en función del Índice CBR.....	80
Tabla 13. Periodos de análisis y diseño de vías.....	94
Tabla 14. Desviación Estándar Combinada (So).....	101
Tabla 15. Capacidad de drenaje.....	105
Tabla 16. Espesores mínimos de capa en función del ESALs de diseño.....	108
Tabla 17. Ubicación de Calicatas.....	117
Tabla 18. Matriz de Consistencia.....	118
Tabla 19. Operacionalización de variables.....	119



Tabla 20. Contenido de humedad promedio.....	146
Tabla 21. Límites de Atterberg e índice de plasticidad del suelo.....	147
Tabla 22. Resumen de Clasificación de Suelos.....	148
Tabla 23. Resultados de Proctor modificado.....	151
Tabla 24. Resultados del ensayo CBR de las muestras patrón.....	153
Tabla 25. Parámetros de diseño para pavimento flexible – Centro Poblado.....	155
Tabla 26. Módulo de resiliencia – Centro Poblado.....	156
Tabla 27. Parámetros de diseño para pavimento flexible – Tramo 2.....	157
Tabla 28. Módulo de resiliencia – Tramo 2.....	158
Tabla 29. Parámetros de diseño para pavimento flexible – Tramo 1.....	159
Tabla 30. Módulo de resiliencia – Tramo 2.....	160
Tabla 31. Resultados del Proctor Modificado de la combinación del suelo natural y emulsión asfáltica.....	166
Tabla 32. Resultados del ensayo CBR de la combinación de suelo natural y emulsión asfáltica.....	168
Tabla 33. Módulo de resiliencia – Centro Poblado.....	173
Tabla 34. Módulo de resiliencia – Tramo 2.....	175
Tabla 35. Módulo de resiliencia – Tramo 1.....	176
Tabla 36. Índice Medio Diario Semanal - Centro Poblado.....	211
Tabla 37. Factor de Corrección Estacional.....	211



Tabla 38. Índice Medio Diario Anual – Centro Poblado.....	212
Tabla 39. Tasa de Crecimiento de vehículos ligeros y pesados.....	213
Tabla 40. Índice Medio Diario Anual al año 2025 - Centro Poblado.....	214
Tabla 41. Índice Medio Diario Anual de Pavimento Flexible – Centro Poblado.....	216
Tabla 42. Estudio de terreno de fundación – Centro Poblado.....	223
Tabla 43. Índice Medio Diario Semanal – Tramo 2.....	235
Tabla 44. Índice Medio Diario Anual – Tramo 2.....	236
Tabla 45. Índice Medio Diario Anual al año 2025 – Tramo 2.....	238
Tabla 46. Índice Medio Diario Anual de Pavimento Flexible – Tramo 2.....	240
Tabla 47. Estudio de terreno de fundación – Tramo 2.....	247
Tabla 48. Índice Medio Diario Semanal – Tramo 1.....	257
Tabla 49. Índice Medio Diario Anual – Tramo 1.....	258
Tabla 50. Índice Medio Diario Anual al año 2025 – Tramo 1.....	260
Tabla 51. Índice Medio Diario Anual de Pavimento Flexible – Tramo 1.....	262
Tabla 52. Estudio de terreno de fundación – Tramo 1.....	269

## Índice de figuras

Figura 1. Curva de distribución de tamaño de partículas: análisis de tamiz y de hidrómetro.....	55
Figura 2. Diferentes tipos de curva de distribución de tamaño de partícula.....	57
Figura 3. Límites de Atterberg.....	60
Figura 4. Copa de Casagrande.....	61
Figura 5. Vistas de la muestra de suelo al comienzo y final de la prueba en la copa de Casagrande.....	62
Figura 6. Carta de plasticidad para los suelos cohesivos.....	69
Figura 7. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	71
Figura 8. Curva Humedad – Densidad seca.....	77
Figura 9. Proceso de selección del tipo de estabilización.....	84
Figura 10. Sección convencional de un pavimento flexible.....	88
Figura 11. Distribución de cargas en un pavimento flexible.....	89
Figura 12. Sección típica de un pavimento rígido.....	91
Figura 13. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 t, en el carril de diseño.....	95
Figura 14. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 t, en el carril de diseño.....	96
Figura 15. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 t, en el carril de diseño.....	96



Figura 16. Índice de Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ ) según rango de tráfico.....	97
Figura 17. Índice de Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) según rango de tráfico.....	98
Figura 18. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de tráfico.....	99
Figura 19. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal ( $Z_r$ ) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico.....	100
Figura 20. Gráfica para determinar el coeficiente estructural para la capa de concreto asfáltico ( $a_1$ ) en función del módulo elástico.....	102
Figura 21. Variación en el coeficiente estructural de la capa base granular ( $a_2$ ) con varios parámetros de resistencia de la base.....	103
Figura 22. Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase granular ( $a_3$ ) con varios parámetros de resistencia de la subbase.....	104
Figura 23. Valores recomendados del coeficiente de drenaje $m_i$ para bases y subbases granulares no tratadas en pavimentos flexibles.....	106
Figura 24. Esquema de pavimento flexible según Metodología AASHTO.....	107
Figura 25. Diseño de Investigación.....	114
Figura 26. Granulometría Calicata C-01.....	141
Figura 27. Granulometría Calicata C-02.....	142
Figura 28. Granulometría Calicata C-03.....	142
Figura 29. Granulometría Calicata C-04.....	143



Figura 30. Granulometría Calicata C-05.....	143
Figura 31. Granulometría Calicata C-06.....	144
Figura 32. Granulometría Calicata C-07.....	144
Figura 33. Granulometría Calicata C-08.....	145
Figura 34. Granulometría Calicata C-09.....	145
Figura 35. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-03.....	149
Figura 36. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-06.....	149
Figura 37. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-09.....	150
Figura 38. Gráfica Comparativa de la máxima densidad seca.....	151
Figura 39. Gráfica Comparativa del óptimo contenido de humedad.....	152
Figura 40. Gráfica comparativa de CBR a 0.1”.....	154
Figura 41. Distribución de la estructural de pavimento flexible para C-03.....	156
Figura 42. Distribución de la estructural de pavimento flexible para C-06.....	158
Figura 43. Distribución de la estructural de pavimento flexible para C-09.....	160
Figura 44. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-03 + 4% de emulsión asfáltica.....	161
Figura 45. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-03 + 6% de emulsión asfáltica.....	162
Figura 46. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-03 + 8% de emulsión asfáltica.....	162



Figura 47. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-06 + 4% de emulsión asfáltica.....	163
Figura 48. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-06 + 6% de emulsión asfáltica.....	163
Figura 49. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-06 + 8% de emulsión asfáltica.....	164
Figura 50. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-09 + 4% de emulsión asfáltica.....	164
Figura 51. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-09 + 6% de emulsión asfáltica.....	165
Figura 52. Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-09 + 8% de emulsión asfáltica.....	165
Figura 53. Gráfica comparativa de la máxima densidad seca de las combinaciones.....	167
Figura 54. Gráfica comparativa del óptimo contenido de humedad de las combinaciones.....	167
Figura 55. Gráfica comparativa del Índice CBR a 0.1” del suelo natural y suelo adicionado de la C-03.....	169
Figura 56. Gráfica comparativa del Índice CBR a 0.1” del suelo natural y suelo adicionado de la C-06.....	170
Figura 57. Gráfica comparativa del Índice CBR a 0.1” del suelo natural y suelo adicionado de la C-09.....	169



Figura 58. Gráfica comparativa general del índice CBR a 0.1” de las calicatas patrón con adición de 4%, 6% y 8% de emulsión asfáltica.....	171
Figura 59. Distribución de la estructural de pavimento flexible para C-03 + 8% de emulsión asfáltica.....	174
Figura 60. Comparación de espesores de las estructuras de pavimento flexible – Centro Poblado.....	174
Figura 61. Distribución de la estructural de pavimento flexible para C-06 + 8% de emulsión asfáltica.....	175
Figura 62. Comparación de espesores de las estructuras de pavimento flexible – Tramo 2.....	176
Figura 63. Distribución de la estructural de pavimento flexible para C-09 + 8% de emulsión asfáltica.....	177
Figura 64. Comparación de espesores de las estructuras de pavimento flexible – Tramo 1.....	177
Figura 65. Relación de cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos.....	215
Figura 66. Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño.....	217



## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Coeficiente de uniformidad.....	56
Ecuación 2. Coeficiente de gradación.....	56
Ecuación 3. Límite plástico.....	63
Ecuación 4. Índice de plasticidad.....	64
Ecuación 5. Índice de grupo.....	74
Ecuación 6. Índice de grupo parcial.....	75
Ecuación 7. Índice CBR.....	80
Ecuación 8. Pérdida de serviciabilidad.....	99
Ecuación 9. Módulo de resiliencia.....	66
Ecuación 10. Ecuación de diseño AASHTO para pavimento flexible.....	106
Ecuación 11. Número estructural SN.....	107
Ecuación 12. Tránsito proyectado a “n” años.....	212
Ecuación 13. Factor de crecimiento acumulado.....	217
Ecuación 14. ESALs de diseño .....	218



## Índice de anexos

Anexo 1. Perfil Estratigráfico.....	199
Anexo 2. Memoria de Cálculo.....	209
Anexo 3. Ensayos de Laboratorio.....	278
Anexo 4. Diseño de Pavimento Flexible.....	354
Anexo 5. Ficha Técnica de la Emulsión Asfáltica.....	364
Anexo 6. Panel Fotográfico.....	366
Anexo 7. Planos.....	395



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se fundamentó en optimizar el espesor de la estructura del pavimento mediante el uso de emulsión asfáltica como estabilizante de la subrasante, adicionándose a esta en proporciones de 4%, 6% y 8% en peso, eligiéndose luego la proporción que logró estabilizar en mayor manera la subrasante, para realizar el diseño del paquete estructural de pavimento y calcular el grado de optimización.

El diseño de investigación fue experimental, siendo del tipo aplicada con enfoque cuantitativo. La población fue finita y perteneciente a la subrasante de las vías, la muestra fue del tipo No probabilística y consistió en el material extraído de calicatas.

Para un mejor estudio de la zona, se subdividió en tres partes: Centro Poblado, Tramo 2, Tramo 1. Se realizaron tres calicatas por cada subdivisión, eligiéndose la más desfavorable en cada uno de las subdivisiones, dando como resultado tres calicatas denominadas muestras patrón.

Se obtuvo que, la adición de esta en un 8% en peso aumenta en mayor cantidad las propiedades resistentes del suelo, reflejándose cuantitativamente en el índice CBR.

Se realizaron los diseños del paquete estructural de un pavimento flexible para cada una de las subdivisiones, en su estado natural y en su estado adicionado con 8% de emulsión asfáltica. Para la subdivisión denominada Centro Poblado, el espesor total del pavimento disminuyó de 12.00 a 10.50 pulgadas, en la subdivisión llamada tramo 2, el espesor total disminuyó de 17.00 a 15.00 pulgadas; mientras que en la última subdivisión denominada tramo 1, el espesor total del paquete estructural disminuyó de 19.00 a 15.00 pulgadas.

**PALABRAS CLAVE:** Optimización, Emulsión Asfáltica, Pavimento Flexible, Estabilización, Subrasante.



## ABSTRACT

The present research work was based on optimizing the thickness of the pavement structure through the use of asphalt emulsion as a stabilizer of the subgrade, added to it in proportions of 4%, 6% and 8% by weight, choosing the proportion that stabilized the subgrade the most, to design the structural pavement package and calculate the degree of optimization.

The research design was experimental, being of the applied type with a quantitative approach. The population was finite and belonged to the subgrade of the roads, the sample was non-probabilistic and consisted of material extracted from pits.

For a better study of the area, it was subdivided into three parts: Centro Poblado, Tramo 2, Tramo 1. Three test pits were made for each subdivision, choosing the most unfavorable in each of the subdivisions, resulting in three test pits called standard samples.

It was obtained that the addition of 8% by weight increases the resistant properties of the soil to a greater extent, which is quantitatively reflected in the CBR index.

The designs of the structural package of a flexible pavement were made for each of the subdivisions, in its natural state and in its state added with 8% asphalt emulsion. For the subdivision called Centro Poblado, the total thickness of the pavement decreased from 12.00 to 10.50 inches, in the subdivision called section 2, the total thickness decreased from 17.00 to 15.00 inches; while in the last subdivision called section 1, the total thickness of the structural package decreased from 19.00 to 15.00 inches.

**KEY WORDS:** Optimization, Asphalt Emulsion, Flexible Pavement, Stabilization, Subgrade.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

Uno de las muchas ramas de especialidad de la ingeniería civil, destaca una rama, la cual además de su importancia y beneficios para el ser humano, exige de una gran cantidad de estudios para enfrentar problemáticas diversas, la ingeniería Vial se enfoca muchas veces en encontrar una alternativa de solución al momento de diseñar y construir pavimentos, ya que existen terrenos que por sus características exigen altos costos de construcción, debido a diversos motivos.

Podemos destacar, la mala calidad del terreno de fundación, lo cual conlleva a un gasto significativo en algunos casos o una directa imposibilidad de construcción de vía en casos extremos. Sin embargo, ante tal situación, se busca mejorar las características del suelo mediante adiciones, es así, como aspectos físico – mecánicos mejoran, permitiendo muchas veces que suelos inestables se conviertan en suelos aptos y en el peor de los casos cumplan mínimamente los requisitos exigidos en las normas.

En el presente trabajo se busca optimizar el espesor de pavimento mejorando las características físicas y mecánicas de la subrasante del centro poblado San Luis, adicionándole emulsión asfáltica en distintas dosificaciones.

La presente investigación contiene los siguientes capítulos detallados a continuación:

En el **CAPITULO I**, se presentan los Antecedentes del problema, la formulación del problema, objetivos, formulación de la hipótesis, justificación y limitaciones de la investigación.

En el **CAPITULO II**, se encuentra el marco teórico, realizado mediante recopilación de información en concordancia con la línea de investigación del presente trabajo y necesaria para la comprensión del mismo. Contiene además un glosario, con la definición de términos que hacen más comprensible la lectura.



En el **CAPÍTULO III**, se tienen la metodología de la investigación así como su diseño, también contiene la población y muestra, las variables, los instrumentos, el procedimiento de recolección de datos y su análisis.

En el **CAPÍTULO IV**, se presentan los resultados obtenidos para la elaboración de esta investigación, así también como su discusión.

En el **CAPÍTULO V**, se encuentran las conclusiones y se presentan las recomendaciones.

En el **CAPÍTULO VI**, se presentan las referencias bibliográficas que sirvió como guía para la elaboración de este informe de tesis.

En el **CAPÍTULO VII**, se colocan los Anexos, tales como memoria de cálculo, ensayos de laboratorio, panel fotográfico, planos.



## 1.1 Antecedentes del problema

Muchas zonas de nuestro país, necesitan poseer vías pavimentadas, pero hay zonas en donde el suelo natural es de mala calidad, lo cual ameritaría una mejora del terreno. Es por esto que la estabilización de suelos, presenta una variedad de opciones como agentes estabilizadores, sin embargo, en la búsqueda de nuevos agentes o agentes estabilizadores no muy generalizados, es que se presenta la opción de la emulsión asfáltica, un producto derivado del asfalto, material usado para la elaboración de productos que son de alta demanda para una adecuada calidad de vida en la sociedad (Aliaga y Soriano, 2019).

De acuerdo con Yarleque y Yovera (2021), en el Perú se ha utilizado poco la emulsión asfáltica como aditivo para estabilizaciones de subrasante, debido a no tener mucho conocimiento de técnicas efectivas y procedimientos adecuados para un uso óptimo, sin embargo la emulsión asfáltica así como otros productos relacionados al asfalto son de gran uso en otras aplicaciones en la ingeniería vial

Quiroz (2017) indica que existen algunos trabajos de investigación, que ya dan cuenta de las propiedades y comportamiento de la adición de emulsión asfáltica a suelos naturales, pero en su mayoría aplicados a material de cantera para capas de pavimento, y en el caso de aplicarse a terrenos naturales, el comportamiento de la emulsión y su efecto sobre el suelo depende de la clasificación de esta, ya que tenemos una gran variedad de tipos de suelos en nuestra geografía en diversas zonas de nuestro país, no pudiendo generalizar su uso, por darse casos muy particulares, además claro de la distintas formas de adicionar emulsiones asfálticas, ya que existen muchos tipos de esta y además existe el otro parámetro variable relacionado a la cantidad en porcentaje a usar, siendo estos valores distintos entre sí en los trabajos realizados sobre este agente estabilizador.



Al final podemos notar la importancia de contribuir y fomentar la investigación sobre el uso de agentes estabilizadores, no solo emulsión asfáltica, sino algunos otros que tienen originalmente otros usos o quizás son materiales ya utilizados y desechados, ayudando así no solo a economizar sino también al cuidado del medio ambiente.

## **1.2 Formulación del problema**

Si bien es cierto que el gobierno ha priorizado la construcción de muchas redes viales en el territorio con el fin de conectar más zonas entre sí, facilitando el dinamismo social y económico; esto no es el caso de lugares que no obtienen la viabilidad de un posible proyecto ya que la relación costo beneficio no es favorable, un ejemplo de ello serían las zonas de nuestra región que presentan caminos menores, y que hasta la actualidad la gran mayoría no cuentan con vías locales pavimentadas.

Nuestra región posee diversas clases de suelos, cada uno presenta características distintas, demandando soluciones particulares de acuerdo a sus propiedades con el fin de resolver los problemas de transitabilidad que poseen.

El Centro Poblado San Luis, ubicado en el distrito de Santa, cuya economía se basa principalmente en la agricultura, en la actualidad no cuenta con una vía local pavimentada que le permita tener una buena calidad de vida a los pobladores y desarrollar las principales actividades económicas de la zona.

Es por eso que se busca como alternativa la creación de una vía local pavimentada que solucione dichas necesidades tomando la mínima utilización de recursos, tales como los materiales de préstamo obtenidos de cantera ya que estas para la obtención de minerales y agregados realizan una actividad extractiva que produce un impacto negativo contra el ambiente. Debido a esto, es muy importante el desarrollo de nuevos métodos que permitan la

optimización del uso de los recursos que constituyen el paquete de la estructura de un pavimento.

Es de esta forma que consideramos la utilización de emulsión asfáltica para ejecutar una estabilización de subrasante lo cual mejoraría las características físicas del terreno natural, permitiendo una menor adquisición de material de préstamo de cantera lo cual conllevaría a un ahorro económico significativo, puesto que un buen terreno de fundación nos permite optimizar el espesor del paquete estructural.

Con todo lo anterior mencionado, se plantea lo siguiente:

### **1.2.1 Problema general**

¿La subrasante estabilizada empleando emulsión asfáltica garantizará una optimización del espesor de la estructura de pavimento?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál será el diseño del paquete estructural del pavimento flexible, según los parámetros del Método AASHTO 1993, en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural obtenidos mediante los estudios de mecánica de suelos?

- ¿Cuáles serán los efectos de adición de emulsión asfáltica a la subrasante en las siguientes proporciones: 4% - 6% y 8% del peso de la muestra representativa respectivamente?

- ¿De qué manera se puede seleccionar el óptimo porcentaje de emulsión asfáltica necesaria para optimizar la subrasante?

- ¿Cuál será el diseño del paquete estructural del pavimento flexible, según los parámetros del Método AASHTO 1993, en base a la subrasante estabilizada con emulsión asfáltica?



### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Optimizar el espesor de la estructura de pavimento utilizando emulsión asfáltica como estabilizante de la subrasante.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural obtenidos mediante los estudios de mecánica de suelos.

- Realizar los ensayos de laboratorios necesarios para conocer los efectos de adición de emulsión asfáltica a la subrasante en las siguientes proporciones: 4% - 6% y 8% del peso de la muestra representativa respectivamente.

- Determinar el porcentaje de emulsión asfáltica que se utilizará en la estabilización de la subrasante para optimizar el espesor de pavimento.

- Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible, según los parámetros del Método AASHTO 1993, en base a la subrasante estabilizada con emulsión asfáltica.

### **1.4 Justificación**

#### **1.4.1 Justificación técnica**

Este proyecto de investigación intenta brindar como alternativa de solución la emulsión asfáltica como adición con el fin de mejorar la subrasante, mejorando así la calidad del suelo y su capacidad portante, evitando así problemas de pavimentos construidos sobre terrenos naturales con características deficientes o potencialmente mejorables, desembocando en consecuencias perjudiciales como deformaciones o asentamientos en las vías.

Cabe resaltar que el Perú cuenta con reservas importantes de combustibles que permiten la fabricación de productos derivados del asfalto, tal como lo es la emulsión asfáltica.

#### ***1.4.2 Justificación socioeconómica***

Un mejoramiento de la subrasante mejoraría el nivel de vida de los moradores de San Luis, puesto que significaría un ahorro en costos de transporte, aumentando el comercio y facilitando el comercio entre la comunidad y el resto de la zona, ya que su economía mayormente en el comercio agrícola, así también como producción de unidades de albañilería.

Del mismo modo, se resalta el hecho que una subrasante con mayor capacidad portante debido a una estabilización necesita menos espesor para sus capas dentro de la estructura del pavimento, en comparación con un pavimento construido sobre un terreno natural.

#### ***1.4.3 Justificación ambiental***

La construcción de pavimentos dentro del centro poblado san Luis beneficiaría al ambiente, debido a la disminución de contaminación por polvo, y contaminación sonora debido a los sonidos emitidos por los vehículos al transitar por una vía no pavimentada.

### **1.5 Limitaciones de trabajo**

#### ***1.5.1 Limitaciones técnicas***

Para poder conseguir este aditivo, se tuvo que recurrir a la compra en la ciudad de Lima puesto que no se consigue dentro de nuestra localidad el tipo de emulsión asfáltica del tipo superestable y de rotura lenta.

No existe mucha información sobre investigaciones de uso de emulsión asfáltica como agente estabilizador de la subrasante.



### ***1.5.2 Limitación social***

Algunos pobladores presentaban quejas y oposiciones a la realización de calicatas en zonas próximas a su domicilio, en estas ocasiones se tuvo que buscar otros sitios para ubicar las calicatas y replantear las ubicaciones originales, haciendo las calicatas en zonas con baja cantidad de casas o con permiso de los habitantes.

Otra limitación fue el tráfico continuo de vehículos y animales de carga en las vías de acceso al lugar, lo cual dificultaba la realización de las calicatas.

### **1.6 Hipótesis de la investigación**

Si se estabiliza la subrasante utilizando emulsión asfáltica, entonces se optimiza el espesor de la estructura de pavimento en el Centro Poblado San Luis.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Antecedentes de la investigación

### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Guerrero, S. y Suconota, J. (2020) en su trabajo de titulación: “**Análisis de alternativas de diseño de un pavimento flexible adicionando emulsión asfáltica a subbases utilizadas en la ciudad de Cuenca**”, publicado en Cuenca - Ecuador, buscaban dar a conocer los efectos de una estabilización con emulsión asfáltica sobre subbase granulares de diversas canteras cercanas al cantón Cuenca, que usualmente son empleadas para diseños de pavimento flexible. Para eso fueron seleccionando tres canteras y calculando el contenido de emulsión asfáltica para cada una de ellas en base a parámetros granulométricos característicos propios mediante el Método del Instituto del Asfalto.

Luego de realizar los ensayos necesarios, así como un análisis de costos llegaron a la conclusión de que el valor del CBR aumenta en promedio un 60% al ejecutar la estabilización con emulsión asfáltica, y que si bien es cierto que, los costos de una subbase estabilizada con emulsión son superiores, esta posee una mejor resistencia y muchos mejores características que una subbase granular estándar.

Divas, E. (2018) en el trabajo de graduación: “**Estabilización de suelos con emulsión asfáltica para el empleo en subbases y bases**” presentado en Guatemala, buscó demostrar la manera de estabilizar suelos finos mediante el uso de emulsión asfáltica, siendo estos admisibles para emplearse como subbase o base para una estructura de pavimento.

Las muestras que utilizó fueron tres, todas con clasificación SM (Arena Limosa) según SUCS. Cada una de las muestras fue estabilizada por medio del Método de Duriez, el cual tiene como resultado el porcentaje de emulsión a utilizar en la muestra según parámetros obtenidos en

el análisis granulométrico. Como ejemplo la primera muestra arrojó un porcentaje de emulsión asfáltica a usar de 7.58%. El autor concluye que las propiedades mecánicas de los suelos mejoraron cuando se disminuyó la plasticidad de estos y al aplicarles el porcentaje de emulsión óptimo, dado que la resistencia a la compresión no confinada aumentó, al igual que su compresibilidad Marshall. Todo esto demostró que realizar una estabilización con emulsión asfáltica resulta funcional.

Gavilanes, E. (2022) “**Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles**”, trabajo experimental para obtener la titulación sustentado en Ambato – Ecuador, muestra el estudio que consiste en agregar la emulsión asfáltica como agente estabilizador de suelos granulares, cuya función es la de ser la capa subrasante, para potenciar las propiedades mecánicas y físicas de estos.

Los especímenes fueron extraídas de las siguientes parroquias: Izamba, Montalvo y Juan Benigno Vela, todas siendo arenas limosas (SM). En cuanto a la aplicación de emulsión asfáltica, se dio de forma uniforme a cada una de las muestras en 1%, 3%, 5% y 8% en peso. Adicionado a esto, demuestra que en las tres muestras el valor de CBR se elevó, de 20% a 36.60% en la primera muestra, de 14.70% a 32.50% en la segunda muestra, y de 19.50% a 25.20%, en la última muestra.

Así también, se observó que el porcentaje óptimo es aproximadamente 3%, sin embargo, se tomó nota que las mejoras del CBR no fueron numéricamente iguales en las muestras, pese a que pertenecían al mismo tipo de suelo según su clasificación SUCS, y esto fue debido a que son distintas en otros parámetros, tomando como ejemplo sus Límites de Atterberg. Luego de realizar un diseño de la estructura de pavimento mediante el Método AASHTO a la muestra que elevó más su índice CBR, se concluyó que el espesor total disminuyó de 45cm con subrasante en estado natural a 40 cm con subrasante estabilizada.

Patiño, D. (2022) en su trabajo técnico para la obtención del título profesional: **“Estabilizaciones de suelo, mediante diferentes materiales como el cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico, para mejorar las características mecánicas, de 1 km de la vía de tercer orden Pedregal – María Auxiliadora, el Shuyo, Riobamba”**, expuesto en la Universidad Internacional SEK en la ciudad de Quito – Ecuador, investigó una lista de materiales mencionados en el título de trabajo como agentes que sirvan como estabilizador para suelo clasificado como Grava Limosa (GM).

Con respecto al uso de la emulsión asfáltica, esta fue adicionada al suelo en 2%, 4% y 6% de dosificación en peso. Para este caso, de adición de emulsión a un suelo GM (grava limosa), el óptimo contenido de adición fue de 6%, ya que así el valor de CBR al 95% se elevó de 33.80 % (estado natural) a 51.20% (con aditivo). Sin embargo, pese a elevar el valor de CBR, el mejor aditivo estabilizador según los resultados establecidos por el autor fue el cemento, debido a que brinda un increíble incremento de más de 200% el valor de CBR, cuando este se adiciona al suelo en una proporción de 5% en peso.

Zambrano, C. y Zavala, D. (2019) en su proyecto de investigación titulado: **“Estudio de suelo y estabilización del material granular existente con emulsión asfáltica para el diseño de pavimento flexible, en la vía Libertador Bolívar – Sitio Nuevo de longitud 5 km, del Cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena”**, sustentado y aprobado en La Libertad –Ecuador por la Universidad Estatal Península de Santa Elena, tuvieron como objetivo estabilizar un suelo granular, para lo cual buscaron determinar las características mecánicas de este, así como las cualidades de este luego de adicionarle emulsión asfáltica del tipo catiónica y rotura lenta. Las dosificaciones empleadas fueron 4%, 5%, 6% y 7% con respecto al peso del espécimen.

Para calcular la densidad Bulk, procedieron al proceso de compactación mediante el martillo Marsahl, para luego afirmar que adicionando 4% y 5%, la densidad Bulk aumenta, sin embargo, al elevar la cantidad porcentual de adición, la densidad Bulk empieza a decrecer. Además hallaron la relación directamente proporcional entre el porcentaje de adición de emulsión asfáltica y la estabilidad seca y saturada, ya que al aumentar la dosificación, los valores de dichas estabilidades presentaban un aumento.

Finalmente, llegan a la siguiente conclusión mediante la ayuda del diseño de pavimento: Una base granular en un estado estabilizado utilizando emulsión asfáltica permite disminuir el espesor total de pavimento, puesto que permite la eliminación de la capa subbase, y un espesor menor de la carpeta asfáltica.

### ***2.2.2 Antecedentes nacionales***

Pérez, J. (2021) en su tesis de pregrado “**Estabilización de las propiedades del suelo con emulsión asfáltica catiónica para subrasante en el jirón Eucalipto, Sapallanga – Huancayo**”, presentada en la Universidad Peruana Los Andes, presenta como objetivo analizar el resultado de la estabilización de las propiedades del suelo perteneciente a la zona de estudio con emulsión asfáltica catiónica. El estudio fue de tipo aplicado, con un nivel de investigación explicativa, y el diseño fue experimental. La emulsión asfáltica se añadió a las muestras bajo las siguientes dosificaciones preestablecidas: 8%, 10% y 12% respecto al peso seco del suelo, con el fin de evaluar las variaciones en las propiedades físico mecánicas del material en comparación a su estado inicial.

Los ensayos de laboratorio de las muestras demostraron que al elevar la dosis de emulsión asfáltica, el valor de la MDS promedio se elevaba, este comportamiento se dio al adicionar 8% y 10% de emulsión, pero al adicionar 12%, el valor de esta disminuyó de 1.95 g/cm<sup>3</sup> a 1.92 g/cm<sup>3</sup>.

Debido a que las muestras eran suelos clasificados según SUCS como CL (Arcillas de baja plasticidad), presentaron bajo valor de CBR en su estado natural, con un valor promedio del CBR al 95% de la MDS de 1.53%. Pero al adicionar emulsión asfáltica, el valor de CBR al 95% de la MDS se elevó a 3.76%, 7.08 y 4.94%, con dosificaciones de 8%, 10% y 12% respectivamente. Concluyendo que, pese a tener un suelo deficiente, este puede elevar su valor CBR usando este agente estabilizador, permitiendo que se pase de tener una subrasante calificada como insuficiente a una del tipo regular.

Galarreta, W. y Llenque S. (2019) en su tesis: “**Influencia de la adición de Emulsión Asfáltica en la estabilidad de los suelos del centro poblado de Villa Hermosa en el distrito La Esperanza**”, sustentada en la UNT, desarrollaron una investigación sobre el uso de emulsión asfáltica como aditivo para optimizar las propiedades del suelo. Determinaron mediante ensayos que el suelo natural era una Arena Pobremente Graduada con pocos Limos (SP-SM), además los porcentajes usados de emulsión asfáltica fueron 3%, 6%, 9% y 12% con relación al peso seco del material natural.

Tras los ensayos necesarios, concluyen que la mejor proporción suelo-emulsión fue la de 6% en peso, debido a que permite una mayor estabilidad del suelo al aumentar el valor CBR de 3.57% a 29.30%, además de elevar su resistencia de 3.747 kgf/cm<sup>2</sup> a 30.771 kgf/cm<sup>2</sup>. Cabe destacar otro punto importante de esta investigación, y es concretamente en lo referido a la adición y los valores de sus porcentajes, visto que, la emulsión asfáltica mejora hasta cierto punto la

capacidad de soporte del suelo arenoso, ya que actúa como ligante entre las partículas, no obstante, si se adiciona emulsión más allá de ese umbral, se produce un exceso de cemento asfáltico que hace decrecer la fricción interna, causando que la capacidad de soporte del suelo disminuya.

Cubas, V. y Quiroz, A. (2018) en su tesis: **“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”**, presentada en la UPN, estudiaron el uso de un material afirmado estabilizado para mejorar las propiedades de compresión no confinada e índice CBR. Los materiales que usaron fueron: Afirmado proveniente de la cantera El Pallar y emulsión asfáltica C<sub>ss</sub>-1h, la cual fue adicionada al material en las dosificaciones mencionadas en el título de la tesis. Esta investigación fue experimental pura, debido al uso de distintas dosificaciones de aditivo para corroborar el mejoramiento de las características mecánicas del afirmado estabilizado.

Posterior a los procedimientos, el CBR del material inalterado tuvo un valor de 32.4% y una presión no confinada de 31.88 KPa, pudiéndose catalogar como material apto para subbase. No obstante, luego de realizar las adiciones y los ensayos correspondientes, se determinó que la dosificación óptima de emulsión asfáltica era de 4.5%, la cual permitía que el CBR alcance un valor de 49.1% y una compresión no confinada de 100.34 KPa, pudiéndose catalogar el material como base. En tal sentido, se concluye que la aplicación de la emulsión asfáltica c<sub>ss</sub>-1h mejoró las propiedades mecánicas del afirmado, entre las cuales destaca la capacidad de soporte.

**Rojas, J. (2018)** en su tesis titulada: **“Aplicación de la emulsión asfáltica en la estabilización de la sub rasante de la carretera de tercera clase, Emp. PE 18 Quilca – Cochamarca, año 2017”**, muestra una investigación sobre la utilización de emulsión asfáltica

como agente estabilizador de subrasante, la cual es del tipo aplicada con un diseño de investigación experimental, siendo el material a utilizar una Arcilla de Baja plasticidad, la cual bajo la clasificación SUCS recibe la nomenclatura CL.

El trabajo de investigación establece que el uso de emulsión asfáltica mejoró el CBR patrón (natural), puesto que al adicionar emulsión en dosificaciones de 2%, 4% y 6%, el valor CBR se elevaba de forma directamente proporcional al aumento en dichas dosis. Lo cual se puede notar al ver que el CBR patrón tiene un valor de 3.20% al 95% de MDS, y al adicionar 2% de emulsión asfáltica, este valor de soporte se eleva a 4.30%, lo mismo sucede para las adiciones de 4% y 6%, mostrando valores CBR de 4.60% y 5.80% respectivamente.

Posteriormente, mediante el diseño por método AASHTO, el autor manifiesta que usando 6% de emulsión asfáltica, el espesor total del pavimento disminuye en 7cm respecto al diseño elaborado tomando valores del terreno natural, lo cual supone un ahorro económico considerable si se quiere construir el pavimento.

## **2.2. Base teórica**

### ***2.2.1. Emulsión asfáltica***

#### **2.2.1.1. Definición**

En su Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) señala que la emulsión asfáltica —compuesta por cemento asfáltico, emulsificantes y agua— es un producto bituminoso que si se pone en contacto con el material pétreo, se fractura; con lo cual, lleva las partículas a aglutinarse a la superficie del material pétreo. Es usada, por lo general, en situaciones de riesgo de imprimación y liga, sellos de arena y asfalto, y morteros asfálticos.

El término emulsión, sin duda, abarca más allá de su uso junto al asfalto, para dejar claro esto, Villa (2007) nos brinda una definición clara: “Emulsión es una mezcla estable y homogénea de dos líquidos que normalmente no pueden mezclarse (inmiscibles entre ellos), como el aceite y el agua. En una emulsión asfáltica los dos líquidos no miscibles son el agua y el asfalto” (p.13).

Ontiveros (2013) brinda más detalles de lo que sucede desde un enfoque químico, afirmando que las emulsiones asfálticas son constituidas por dos fases inmiscibles, donde la fase continua está compuesta por pequeñas partículas de cemento asfáltico. Siendo el emulsificante una molécula compuesta por una cabeza polar, siendo esta última palabra un término que se asocia en química a las propiedades de solubilidad del compuesto y que es compatible desde el punto de vista químico con el agua (p.6).

### **2.2.1.2. Composición de las Emulsiones Asfálticas**

Básicamente está compuesta de los siguientes elementos: el asfalto, el agente emulsivo y el agua. Al igual que otros productos como el concreto, la emulsión asfáltica en ocasiones puede tener aditivos con el fin de dotarla de características únicas para usos particulares. Algunas funciones adquiridas a través del uso de aditivos son: velocidad de rotura, mejoras en su función de adherencia y recubrimiento.

Aliaga y Soriano (2019), por su parte, afirman que existen dos clases de emulsión asfáltica según el nivel de concentración en cada de las siguientes fases: emulsión directa, e inversa cuando la fase acuosa es dispersada en la fase hidrocarbonada.

#### **a. Asfalto**

Componente principal de la emulsión asfáltica, además de formar parte generalmente de los petróleos, pudiéndose extraer mediante evaporación o destilación de sustancias. La gran

mayoría de los asfaltos se obtienen mediante el proceso de destilación, aunque de forma natural existen enormes depósitos. Entre sus características tenemos lo siguiente: Es negro a marrón oscuro, y en su composición interna predominan los betunes, formados por una mezcla avanzada de hidrocarburos con gran peso en sus moléculas. Es un extraordinario ligante, posee excelentes cualidades adhesivas, gran impermeabilizante y es resistente a los efectos químicos causados por sales y ácidos (Aliaga y Soriano, 2019).

Ontiveros (2013) asegura que el cemento asfáltico es componente básico y principal, pues esta, por lo general, representa desde un 50 % hasta un 75 % de la emulsión. Agrega que la mayoría de las emulsiones son elaboradas de asfaltos con un intervalo de penetración comprendidas entre 60 y 250 milímetros.

Dentro de la normatividad peruana, también encontramos definiciones, de acuerdo al MTC (2013), es el componente principal y está presente en un 60 a 75%. Además que al poseer cualidades cementantes muy buenas, logra adherirse a los agregados de formas apropiadas para transferir las cargas a un nivel inferior.

### **b. Agua**

El agua es un componente muy importante e indispensable en la elaboración de emulsión asfáltica debido a sus propiedades disolventes, sin embargo, no cualquier agua es apta para la elaboración de esta. Es así que, como refieren Aliaga y Soriano (2019), el agua potable no es conveniente para la preparación de este tipo de producto.

Por su parte, Villa (2007) afirma que no debe emplearse el agua que contiene partículas para elaborar las emulsiones, si antes no han sido evaluada, ya que estas pueden significar perjuicio para las emulsiones catiónicas que, generalmente, están cargadas negativamente. Afirma, a su vez,

que emplear aguas impuras pueden resultar desequilibrantes de los componentes de la emulsión y, de ese modo, afectar el performance e incluso la rotura temprana.

### **c. Agentes emulsivos**

Conocido también como surfactantes. Por su forma de disociarse o ionizarse en el agua, pueden clasificarse. Durante la interface entre los líquidos y los gases son absorbidos. Estos se concentran de tal forma que los grupos hidrofílicos manifiestan tendencia con la fase con más polaridad, mientras que los lipofílicos, con la menor polaridad. El encargado de conectar las dos fases es el ion denominado surfactante.

Encontramos 3 clases de surfactantes: catiónico, aniónico y no aniónico.

En la siguiente tabla 1 se da cuenta de los requerimientos mínimos y máximos para una emulsión asfáltica del tipo catiónico.

**Tabla 1**

*Requerimiento de Emulsión Asfáltica Catiónica.*

Características	Ensayos	CSS-1h	
		Min	Max
Viscosidad. Saybort Furol a 77 °F (25 °C).	MTC 403	20	100
Almacenamiento (días)	MTC 404		1
Carga	MTC 407	Positivo	
Prueba de Tamiz	MTC E 405		0.1
Mezcla por Cemento	ASTM D6935		2.0
Destilación:			
-Residuo	MTC E 401	57	
Pruebas sobre el Residuo de destilación:			
-Penetración, 77 °F (25 °C), 100g	MTC E 304	40	
-Ductilidad, 77 °F (25 °C), 5cm/min	MTC E 306	40	90
-Solubilidad en Tricloroetileno	MTC E 302	97.5	

*Nota. De Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, MTC, 2013, p.323.*

Es de conocimiento general que el agua y el asfalto son inmiscibles, pero artificialmente se pueden dar condiciones adecuadas, con ayuda de equipos de alta gama y aditivos del tipo químico.

Uno de los componentes individuales más importantes es el agente emulsivo, ya que, para lograr ser un agente emulsivo eficiente, debe poder disolverse en agua y presentar un equilibrio.

En la Tabla 2 se presenta la composición de las emulsiones asfálticas normales, así como las que presentan modificaciones, siendo en este particular por medio del uso de polímeros.

**Tabla 2***Composición de las Emulsiones Asfálticas*

Elemento	Normal	Modificada con polímero
Cemento asfáltico	40 a 70	50 a 70
Emulsificante	0.2 a 1.5	0.2 a 1.5
Agua	40 a 60	35 a 45
Polímero	0	1 a 4

*Nota. De Análisis comparativo de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en bases granulares, por F. Aliaga y C. Soriano, 2019, p.24.*

**2.2.1.3. Clasificación de las Emulsiones Asfálticas**

Aliaga y Soriano (2019) mencionan que los emulsificantes son los que, una vez que se ha producido la emulsión, se ubican en la “interfase”. La parte hidrofóbica posee una tendencia hacia el asfalto, mientras que la parte polar presenta afinidad hacia el agua. De esta manera, estas partículas se cargan eléctricamente igual, ocasionando fuerzas de repulsión entre ellos y dando estabilidad del sistema.

Conociéndose este parámetro en lo referido a la carga del emulsivo que ha sido empleado para elaborar la emulsión, se puede establecer una clasificación de las emulsiones asfálticas, debido que el emulsificante determina también la carga eléctrica del mismo tipo en las partículas del asfalto.

Es así que tenemos:

- Emulsiones Aniónicas: Las partículas de asfalto están cargadas de forma negativa.
- Emulsiones Catiónicas: Los partículas están cargadas de forma positiva.
- Emulsiones no Iónicas: No poseen carga (neutras).

De esta clasificación podemos mencionar que en forma práctica, las emulsiones catiónicas son las más utilizadas en el ámbito de la construcción vial, puesto que poseen cualidades estabilizadoras, debido su carga que le brinda mayor afinidad con los agregados.

Una segunda forma de clasificar se basa en el principio de la velocidad con que produce la aglomeración de las gotas del asfalto, se produce por la mezcla del agente emulsificante con el agua y el agregado, produciendo la evaporación del mayor porcentaje del agua que se utilizó inicialmente para lograr la estabilidad. Según el tipo de rotura que sufren se pueden clasificar en:

#### **a. Rotura Rápida RS (Rapid-Setting)**

Ontiveros (2013) señala que este tipo de emulsión asfáltica posee baja o nula capacidad para combinarse con agregados, así que encuentra su uso generalmente en riegos de sello, sellos de arena y tratamientos superficiales.

#### **b. Rotura Media MS (Medium-Setting)**

Las emulsiones asfálticas pertenecientes a este tipo son las que no se fragmentan cuando tienen fricción con el agregado. Esta propiedad hace que sea trabajable por un tiempo definido (Ontiveros, 2013).

Según Rojas (2018) “En el proceso de construcción brinda trabajabilidad por algunos minutos más con respecto a lo normal en tiempo, esta propiedad se atribuye a los grados de CRM que presentan y a las elevadas viscosidades que controlan los escurrimientos” (p.9).

Usualmente las emulsiones de rotura media se usan en la elaboración de carpetas en frío fabricadas en plantas, siempre que el porcentaje de finos sea inferior al 2%, ya sea mantenimientos viales, como bacheos y corrección de niveles sobre carpetas de rodadura (Aliaga y Soriano, 2019).

### **c. Rotura Lenta SS (Slow-Setting)**

Señala Ontiveros (2013) que este ejemplo de emulsión asfáltica se diseña para mezclarse con agregados finos. La característica principal es que presentan tiempo largos de manejabilidad, la cual permite una máxima estabilidad de mezclado. Menciona además que las emulsiones de rompimiento lento son poco viscosas, viscosidad que incluso se disminuye disolviendo la emulsión con agua. Dentro de esta categoría se ubican las emulsiones superestables, las cuales se usa especialmente para la estabilización de materiales y Slurry Seal.

En la tabla 3 se muestra un resumen de los tipos de emulsión asfáltica según la velocidad de rotura que presentan.

**Tabla 3**

*Tipos de emulsión asfáltica, características y aplicación*

Características	Rotura rápida	Rotura media	Rotura lenta
Rotura	Rápido al contacto con el agregado	Mayor estabilidad al mezclado, rompe en minutos	Máxima estabilidad en el mezclado, rompe por evaporación
Se mezcla perfectamente con:	Agregados finos	Agregados gruesos	Agregados finos
Aplicación	Riegos	Mezclas asfálticas	Mezclas, riegos y estabilidad de suelos
Adherencia	Mejor resultados siempre que los glóbulos de asfaltos y los agregados presenten signo contrario.		

*Nota. De Análisis comparativo de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en bases granulares (p.29), por F. Aliaga y C. Soriano, 2019, Universidad Ricardo Palma.*

#### **2.2.1.4. Ventajas que ofrecen las emulsiones asfálticas**

En términos de Aliaga y Soriano (2019), la ventaja que poseen este tipo de producto es que pueden ser utilizados en cada una de las capas que forman un pavimento, para mejorarlos e incluso para parcheo.

También señalan que las emulsiones asfálticas poseen beneficios en comparación con el uso de los asfaltos rebajados y los asfaltos calientes. A continuación se enumeran algunos:

- No es contaminante, porque tiene 35 % a 40 % de agua como disolvente.
- A condiciones normales de temperatura, presenta un uso seguro y sencillo,
- Amplio tiempo de almacenamiento (semanas o meses).

- Posee gran adherencia con los agregados pétreos.
- Su aplicación es rápida, lo que habilita su utilización en obra eficazmente.

A continuación en la tabla 4 se muestra la comparación algunos materiales en comparación con las emulsiones asfálticas.

**Tabla 4**

*Cuadro Comparativo de Materiales Asfálticos*

Material asfáltico	Ventajas	Desventajas	Proceso de curado
Mezclas en caliente	Aplicación directa	Humos y costos de combustibles	Enfriamiento
Asfaltos rebajados	Trabajabilidad	Contaminación atmosférica	Evaporación del Solvente
Emulsiones asfálticas	Menor polución, menor costo de combustible	Cuidado en la aplicación de la emulsión	Rotura, coalescencia, evaporación del agua

*Nota. De Análisis comparativo de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en bases granulares (p.32), por F. Aliaga y C. Soriano, 2019, Universidad Ricardo Palma.*

## **2.2.2. Subrasante**

### **2.2.2.1. Definición**

Según el MTC (2014), la subrasante tiene que ver con la superficie concluida de la carretera al nivel de movimiento de tierras. Sobre ella se cimenta la estructura de un pavimento a construir.

Por su parte, Castro (2017) afirma que la subrasante es el nivel del suelo original del proyecto que debe estar conformada correctamente para recibir al pavimento, esta debe tener características aceptables y se compactará a modo de capas para componer un cuerpo con la suficiente estabilidad para que no se debe ver afectado por la carga que es producto del tráfico.

De acuerdo con Ccoillo (2017), su función es dar un apoyo uniforme, sin cambios bruscos en la capacidad de suelo.

### **2.2.2.2. Propiedades de la subrasante**

Se pueden encontrar las siguientes propiedades, tales como: resistencia, estabilidad volumétrica, fácil compactación, relación de humedad – densidad, drenaje.

El nivel de subrasante, por su naturaleza se encuentra expuesta a factores de deterioro, así como soporte estructural de la estructura de pavimento, tiene que cumplir ciertos requisitos en cuanto un parámetro muy importante.

En nuestro país, medimos la resistencia al corte de un suelo mediante el Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR), no obstante, cuando se busca realizar diseños de pavimento, el valor necesario es el conocido Módulo Resiliente. En este caso, se hace uso de fórmulas dadas que correlacionan el valor CBR para calcular el Módulo Resiliente.

Según MTC (2014), los últimos 0.30 m de suelo que son inferiores al nivel superior de la subrasante tienen que estar compactados mínimamente al 95% de la M.D.S hallada en el ensayo de compactación. Además que el suelo debajo de esta a una profundidad mayor de 0.60 metros debe tener un valor mínimo de 6%, caso contrario, corresponde a realizarse una estabilización de suelos, la cual podría ser del tipo mecánico, químico, usando geosintéticos u otras técnicas adecuadas, incluso se podría considerar el reemplazo del suelo por material de préstamo.

En la tabla 5 se tiene una categorización de una subrasante según su capacidad resistente, cuantificado según el índice CBR.

**Tabla 5**

Categorías de Subrasante

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	C.B.R
Inadecuada	$C.B.R < 3\%$
Insuficiente	$3\% \leq C.B.R < 6\%$
Regular	$6\% \leq C.B.R < 10\%$
Buena	$10\% \leq C.B.R < 20\%$
Muy Buena	$20\% \leq C.B.R < 30\%$
Excelente	$C.B.R \geq 30\%$

Nota. Adaptado de *Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos* (p.35), MTC, 2014.

### 2.2.3. Propiedades Geotécnicas fundamentales de los suelos

#### 2.2.3.1. Granulometría

En términos del MTC, la granulometría constituye el cómo están distribuidos los tamaños de las partículas de un material, representados de acuerdo con su relación al peso total de la muestra seca. A partir del análisis granulométrico es posible determinar con mayor o menor aproximación otras propiedades de la muestra.

La granulometría es un punto muy importante, debido a que establece los parámetros más importantes al momento de caracterizar un material según el tamaño de sus partículas, ya que al separarlas permite conocer el comportamiento mecánico del material.

**Tabla 6**

*Clasificación de suelos según Tamaño de partículas*

TIPO DE MATERIAL		TAMAÑO DE LAS PARTICULAS
	Grava	75 hasta 4.75 milímetros
		Gruesa: 4.75 hasta 2 milímetros
	Arena	Media: 2.00 hasta 0.425 milímetros
		Fina: 0.425 hasta 0.075 milímetros
Material fino	Limo	0.075 hasta 0.005 milímetros
	Arcilla	Menor a 0.005 milímetros

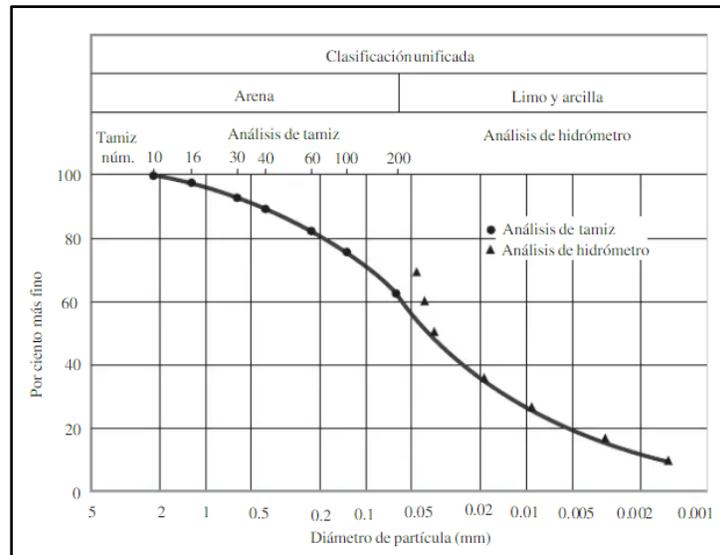
*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.31), MTC, 2014.

#### **2.2.3.1.1. Gráfico de Distribución Granulométrica**

Los valores obtenidos del ensayo de granulometría se plasman en gráficas semilogarítmicas. El eje de las ordenadas expresan el porcentaje en peso de las partículas del material tamizado, mientras que en el eje de las abscisas se colocan la medida de los diámetros de las partículas (mm), realizando la gráfica con ayuda de las medidas de las aberturas de los tamices.

**Figura 1**

*Curva de distribución de tamaño de partículas: análisis de tamiz y de hidrómetro*



*Nota. De Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (p.39), por D. Braja, 2013, Cengage Learning.*

Braja (2013) señala que existen tres parámetros muy importantes que pueden ser determinados luego de encontrar la curva de distribución granulométrica. Estos parámetros son muy importantes cuando se busca clasificar granularmente los suelos.

- Tamaño efectivo
- Coeficiente de uniformidad
- Coeficiente de gradación

**a. Tamaño efectivo**

Se define como tamaño efectivo al diámetro que corresponde al 10% más fino. Conocido luego directamente como D10.

### **b. Coeficiente de Uniformidad**

Se calcula mediante la expresión mostrada:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

Cu: Coeficiente de uniformidad

D10: Diámetro que corresponde al 10% más fino en la curva de granulometría.

D60: Diámetro que pertenece al 60% más fino en la curva granulométrica.

Es así que esta relación sirve para determinar una tendencia de uniformidad de la gráfica granulométrica, la cual a su vez clasifica por tamaño a las partículas del material.

### **c. Coeficiente de gradación**

La expresión se detalla a continuación:

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

Donde:

Cc: Coeficiente de gradación

D10: Diámetro perteneciente al 10% más fino en la gráfica granulométrica.

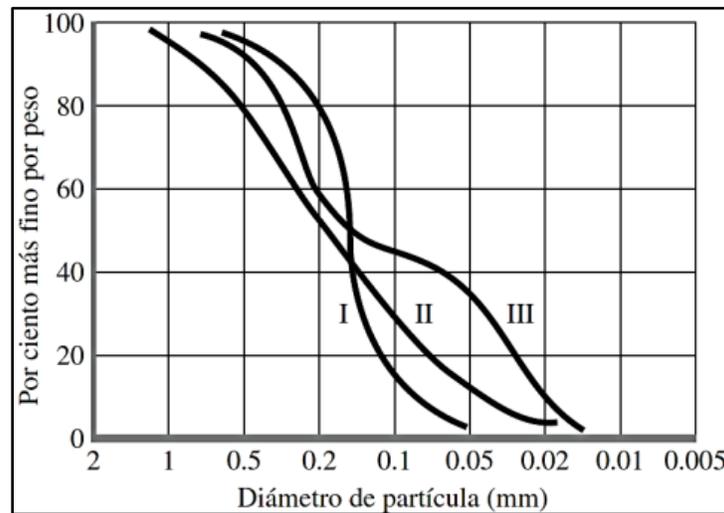
D30: Diámetro perteneciente al 30% más fino en la gráfica granulométrica.

D60: Diámetro que corresponde al 60% más fino en la gráfica de granulometría.

El coeficiente de gradación indica el equilibrio que existe entre los rangos de los tamaños distintos de las partículas del material estudiado.

## Figura 2

*Diferentes tipos de curva de distribución de tamaño de partícula*



*Nota.* De *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p.41), por D. Braja, 2013, Cengage Learning.

Como se observa en la figura 2, se pueden distinguir tres gráficas granulométricas, correspondientes a distintos materiales. De la curva I se puede afirmar por la forma que la mayoría de las partículas posee el mismo tamaño, y que al presentar este tipo de uniformidad se puede concluir que corresponde a un suelo pobremente graduado.

Por el contrario, la curva II presenta un intervalo mayor dentro del tamaño de sus partículas, lo cual permitiría una adecuada compactación del material ya que al poseer una gran variedad de tamaños, los vacíos pueden ser llenados más fácilmente.

Por último, la curva III muestra una gráfica que combina las tendencias de las curvas I y II. Para Braja (2013) este tipo de materiales con esta tendencia de gráfica se clasifican bajo el término de “brecha clasificada”, ya que poseen dos o más fracciones uniformemente gradadas.

### 2.2.3.1.2. Análisis Granulométrico por Tamizado

Busca clasificar la dimensión de las partículas del suelo, es decir, que busca hallar su distribución granulométrica, expresando porcentualmente los diversos tamaños de los granos.

En la tabla 7 se indica una relación de tamices utilizados en el análisis granulométrico.

**Tabla 7**

*Relación de tamices de malla cuadrada*

TAMICES	ABERTURA (milímetros)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N°4	4,760
N°10	2,000
N°20	0,840
N°40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

*Nota. De Manual de Ensayo de Materiales (p.44), MTC, 2016.*

### 2.2.3.2. Estados de consistencia del suelo

El comportamiento de este según su tipo está determinado principalmente por la cantidad de agua que tiene en su composición, y en menor medida, de la dimensión de las partículas que posee, conocer los distintos estados de consistencia que los suelos podrían presentar es muy importante, los cuales dependen de la humedad que posean (Moreno y Rodríguez, 2019).

La plasticidad es un término muy usado dentro del campo ingenieril, ya sea en el ámbito estructural donde presenta una gran importancia en el estudio de materiales, sino también dentro del área de la mecánica de suelos, ya que se considera que es una propiedad inherente de los suelos, midiendo la capacidad de deformarse hasta un cierto rango sin llegar a romperse.

Según Juárez y Rico (2005), es la cualidad de un material que le brinda la capacidad de soportar esfuerzos sin variación volumétrica apreciable, sin desmoronarse o agrietarse.

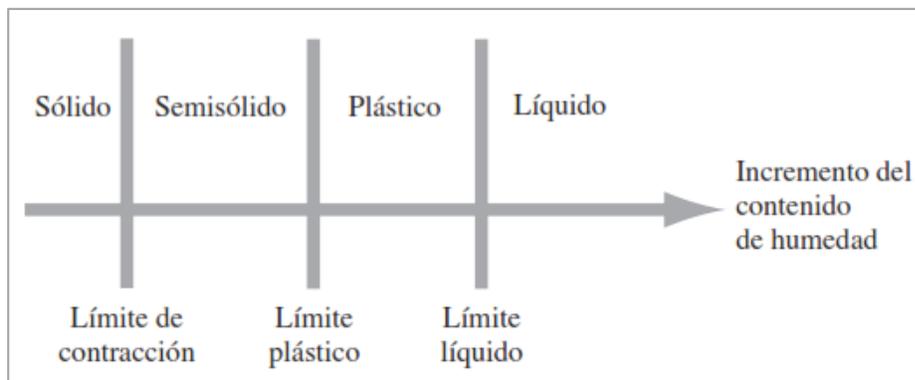
Entendemos por consistencia a la cualidad de aquello que posee la capacidad de mantener sus partes en conjunto, si aplicamos esto a la geotecnia, podemos afirmar que la consistencia que posee un suelo vendría a ser la habilidad con la que fluye, se deforma o llega al punto de romperse.

El científico Albert Atterberg logró idear un método para cuantificar los estados de consistencia en base al efecto que produce la presencia de humedad que contienen los poros de un suelo.

Según Braja M. (2013), en relación al porcentaje de humedad que posee un suelo, la naturaleza del comportamiento puede ser dividido en cuatro estados: sólido, semisólido, plástico y líquido.

**Figura 3**

*Límites de Atterberg*



*Nota.* De *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p.64), por D. Braja, 2013, Cengage Learning.

Como se observa en la figura 3, Atterberg también determinó las fronteras entre los estados de consistencia, llamándolos límites de consistencia. Los dos límites de consistencia fundamentales para el estudio de suelos y su importancia se muestran a continuación:

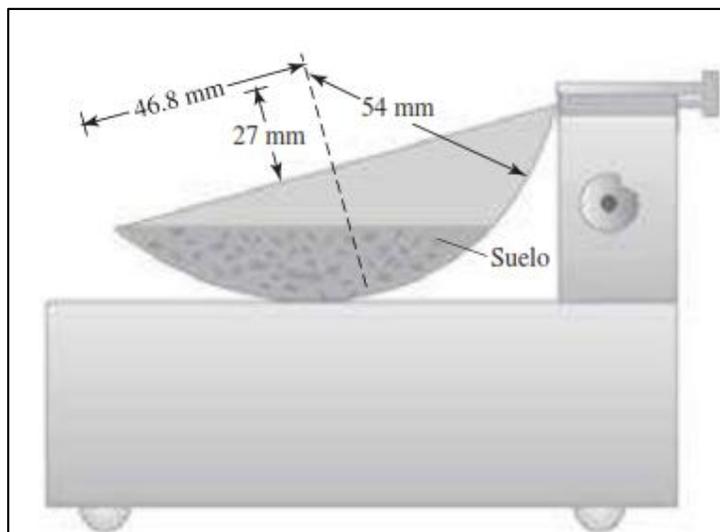
#### **2.2.3.2.1. Límite Líquido**

En cuanto al límite líquido, Quiroz (2017) afirma que es la cantidad de agua expresada porcentualmente respecto al peso del material seco, y que limita la frontera entre el estado líquido y plástico.

En la figura 4 se muestra la Copa de Casagrande, el límite líquido puede calcularse mediante un método basado en el uso de este aparato de medición, colocando muestras de suelo con humedad variable en un recipiente de bronce, para posteriormente accionar el dispositivo manualmente para hacer caer el recipiente continuamente, contra la base del dispositivo desde una altura de 10mm.

## Figura 4

### *Copa de Casagrande*



*Nota.* De *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p.66), por D. Braja, 2013, Cengage Learning.

De acuerdo al MTC (2016), el límite líquido guarda relación con el porcentaje de humedad al cual el surco hecho por el acanalador, que separa las mitades de la pasta del suelo, procede a cerrarse en la superficie del fondo con una distancia de 13 milímetros, por consecuencia de 25 golpes dados por el dispositivo a una altura de 1 cm a una velocidad de 2 caídas por segundo.

En el mismo manual se especifica detalladamente el procedimiento a seguir, la muestra representativa debe contener de 150 a 200 gramos que pasa el tamiz 40. Sobre la copa se pone el espécimen preparado con una humedad controlada en el recipiente mismo, para luego usar el acanalador para dividirla por la mitad.

Se levanta y se suelta la copa al mismo tiempo que se gira la manivela con una rapidez de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta lograr que las partes entren en contacto por 13 milímetros. Se registra la cantidad de golpes que se usaron, para luego tomar una tajada perpendicular al corte realizado del suelo para determinar el porcentaje de humedad. Esto se vuelve a realizar variando

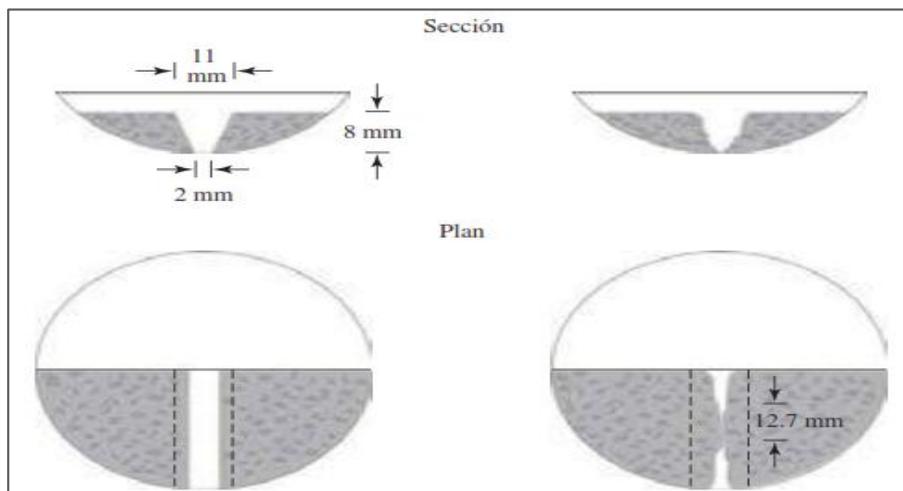
la porción de agua destilada añadida al espécimen, debido a la necesidad de completar los datos para hallar el límite líquido por el Método Multipunto.

El ensayo se puede dar por finalizado cuando se obtengan tres números de golpes que se encuentren dentro de los siguientes rangos: de 25 a 35, 20 a 30 y 15 a 25 golpes requeridos respectivamente. Para hallar el límite líquido se grafican los puntos sobre un plano, colocando la escala de número de golpes en la abscisa, mientras que en el eje de ordenadas se colocan los valores de porcentaje de humedad, luego de ubicar los puntos con sus coordenadas respectivas, se esboza la gráfica lineal que muestra la tendencia del comportamiento del material frente a la adición de agua en distintas proporciones.

Finalmente el límite líquido es el porcentaje de humedad que pertenece a la intersección de la gráfica, cuando el eje horizontal toma el valor de 25 golpes (MTC, 2016).

### Figura 5

*Vistas de la muestra de suelo al comienzo y final de la prueba en la copa de Casagrande*



*Nota. De Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (p.66), por D. Braja, 2013, Cengage Learning.*

### 2.2.3.2.2. Límite Plástico

Es la frontera que se encuentra entre el estado plástico y el estado semisólido. En concordancia con Braja M. (2013), es el porcentaje de humedad en el que el suelo al ser formados en hilos de 3.2 milímetros de diámetro entra en desmoronamiento.

El Manual de Ensayo indica sobre cómo realizar este ensayo de determinación de este parámetro. Aproximadamente se toman 20 gramos de material que pasa el tamiz 40, para luego añadirle agua destilada para formar una esfera luego de amasar. Para continuar se toma un poco del material, entre 1.5 g a 2.0 g de la esfera previamente hecha. Con ayuda de las manos se toma la mitad del espécimen y sobre una superficie lisa para formar cilindros con la muestra. La idea es que la muestra en forma de cilindro se desmorone aproximadamente cuando posee un diámetro de 3.2mm, caso contrario se vuelve a realizar el procedimiento.

Luego de reunir 6 g de material con dichas características se calcula el contenido de humedad. Se realiza nuevamente todo el ensayo descrito con el objetivo de hallar otro contenido de humedad. Finalmente el límite plástico será el promedio de estos dos porcentajes de humedad hallados mediante el procedimiento descrito en el manual.

El límite plástico al tratarse de un contenido de humedad se calcula de acuerdo a la siguiente expresión a continuación:

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso suelo seco al horno}} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

## Determinación del índice de plasticidad

Este índice establece el rango de humedad, en el que un suelo muestra un comportamiento plástico. Generalmente, el índice de plasticidad tiene estrecha relación con la cantidad de arcilla que este posee.

Numéricamente el valor del índice de plasticidad se puede calcular conociendo previamente los de límite líquido y límite plástico, ya que el índice de plasticidad (I.P) guarda relación con la diferencia entre el límite líquido (L.L) y el límite plástico (L.P).

$$I.P = L.L - L.P \dots\dots\dots (4)$$

Existen dos situaciones particulares sobre la determinación de este parámetro; el primero es el escenario en el que no se pudiera calcular el L.L o el L.P, en este caso el índice de plasticidad será catalogado como N.P (No plástico). El segundo caso es la existencia de un valor mayor o igual del límite plástico sobre el límite líquido, haciendo que el I.P se exprese también como N.P. (MTC, 2016).

Los suelos que poseen alto índice de plasticidad son conocidos por poseer una alta deformabilidad, poseen cambios muy notorios en su volumen, lo cual les hace inadecuados para realizar una buena función estructural.

La tabla 8 muestra cómo se clasifica un suelo de acuerdo con el valor de I.P.

**Tabla 8**

*Clasificación de suelos según índice de plasticidad*

I.P.	Plasticidad	Características
I.P superior a 20	Alta	muy arcillosos
I.P menor que 20 I.P superior que 7	Media	arcillosos
IP menor que 7	Baja	poco arcillosos
IP igual a 0	No plástico (N.P)	Libres de arcilla

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.32), MTC, 2014.

### **2.2.3.3. Clasificación de suelos**

En la naturaleza podemos encontrar suelos que posean características similares y partiendo de esta premisa, Braja (2013) indica que los suelos pueden clasificarse en grupos y subgrupos, de acuerdo a las características y comportamiento dentro del campo de la ingeniería.

La clasificación de los suelos se efectúa bajo los dos sistemas de clasificación más difundidos, ASTM (SUCS) y AASHTO.

#### **2.2.3.3.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S)**

Según Braja (2013), SUCS divide a los suelos de la siguiente forma:

El primero hace alusión a los suelos gruesos, que están compuestos de grava y arena en estado natural con menos de 50%, que pasa el tamiz número 200. Los símbolos de este grupo inician con el prefijo “G” o “S”. “G”, para grava, y S, para la arena o suelo arenoso.

El segundo tipo engloba a los suelos finos con 50% o más que pasa también por el tamiz número 200. En este caso, los símbolos empiezan con la “M”, que significa limo orgánico; “C” es arcilla inorgánica y “O” en limos orgánicos y arcillas. Para la turba, se emplea el símbolo Pt.

**Tabla 9**

*Símbolos de grupo (SUCS)*

Tipo de suelo	Prefijo	Sub grupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	L.L alto (mayor a 50)	H
Turba	Pt	L.L bajo (menor a 50)	L

*Nota.* Adaptado de “Suelos”, por Bañón, L. y Beviá, J., *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento* (p.21), 2000, Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S. A.

Según Juárez y Rico (2005), en los suelos gruesos encontramos a las gravas y las arenas, cuyas abreviaturas son G y S respectivamente por sus iniciales en el idioma inglés. Los autores indican que la separación de estos materiales se da en la malla N° 4, tal es así que el material pertenecerá al grupo G siempre que más del 50% del material de su fracción gruesa (material retenido en la N° 200) no logra pasar la malla #4; en el caso contrario el material será clasificado dentro del grupo S.

A continuación se detallan los grupos pertenecientes a los suelos gruesos, formados por la unión de los símbolos genéricos G y S con los sufijos (W, P, M, C) que indican características físicas y de gradación.

### **- Gravas y arenas bien graduadas (GW y SW)**

Poseen buena gradación, poseen muy pocos finos o están limpios en su totalidad, es decir, la porción de material fino no supera iguala ni supera el 5%.

Para el caso de las gravas se les considera bien graduadas si cumplen con que su  $C_u > 4$  y su  $C_c$  se encuentre entre 1 y 3; mientras que para catalogar a una arena que cuenta con buena gradación, el  $C_u$  debe ser superior a 6 y su coeficiente de curvatura debe encontrarse en el rango de 1 a 3.

### **- Gravas y arenas mal graduadas (GP y SP)**

En estos grupos encontramos a suelos mal graduados, aparentan ser uniforme debido al tamaño similar de sus partículas o predominancia de un tamaño en específico, haciendo que no posea partículas de tamaños intermedios que les permitiría alcanzar un mayor grado de compactación por el llenado de vacíos en los poros del suelo. Al igual que el grupo anterior posee una cantidad de finos inferior al 5%, sin embargo no satisfacen la condición de gradación mencionados en el grupo anterior, es decir sus valores de  $C_u$  y  $C_c$  están fuera de los intervalos dados.

### **- Grava y arena limosa (GM y SM)**

En estos grupos ya encontramos suelos que poseen una cantidad significativa de finos, los cuales son mayores al 12% en peso. Como consecuencia de tal cantidad de finos, algunas características del suelo como su capacidad resistente y su capacidad de resistir esfuerzos se ven afectadas. Estos suelos poseen niveles de plasticidad que fluctúan entre nula y media, además de poseer un I.P. inferior a 4.

### **- Gravas y arenas arcillosas (GC y SC)**

Estos suelos muestran un porcentaje de finos superior a 12% del peso total del suelo en cuestión, no obstante en contraposición al grupo anterior, el I.P. de los suelos comprendidos en estos grupos es mayor a 7. Asimismo se considera que poseen una plasticidad en el rango de media a alta.

A los suelos que poseen una cantidad de finos en el intervalo de entre 5% a 12%, SUSCS los cataloga como casos de frontera, de tal manera que se les asigna una denominación doble. Tomando como ejemplo la denominación SP-SM, esta indica que el material se trata de una arena con mala gradación, teniendo entre 5% a 12% en finos compuestos por limos.

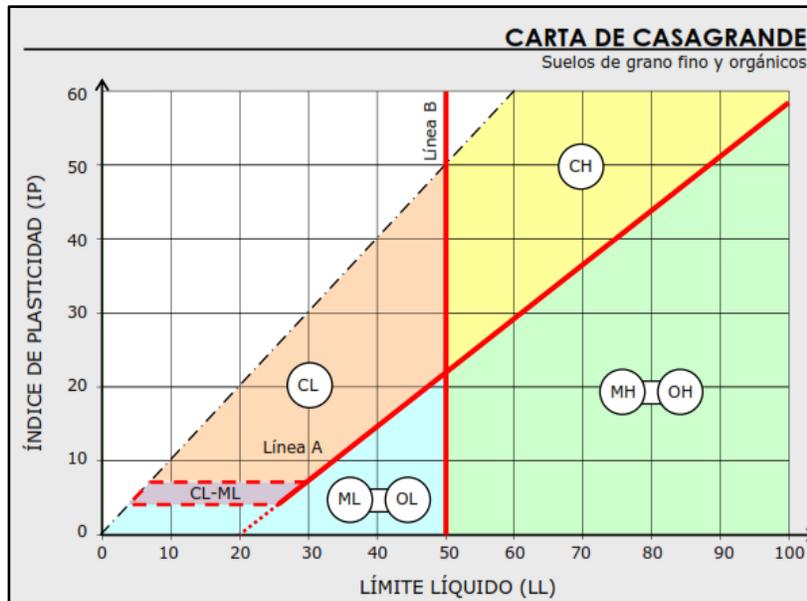
Dentro de los suelos finos tenemos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C), y por último, limos y arcillas orgánicas (O). Estos se subdividen de acuerdo al L.L, si el L.L es inferior al 50%, se establece que posee baja compresibilidad y se le cataloga con la letra (L), en otro caso el material posee una alta compresibilidad y se coloca (H).

Cabe señalar que existe un grupo independiente denominado Pt, que contiene a los suelos con contenido orgánico muy alto, cuya característica principal es su extremada compresibilidad.

En la figura 6 se muestra una gráfica elaborada originalmente por el científico Arthur Casagrande, luego de estudiar la correlación entre el I.P. y el L.L.

**Figura 6**

*Carta de Casagrande para los suelos cohesivos*



Nota: De “Suelos”, por Bañón, L. y Beviá, J., Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento (p.22), 2000, Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.

**- Grupos CL y CH**

En estos grupos se encuentran las arcillas inorgánicas. El grupo CL se encuentra ubicado en la zona sobre la línea A, poseen las características de tener un L.L. inferior al 50% y contar con un I.P. superior a 7. El grupo CH se ubica también en la zona sobre la línea A, sin embargo este tipo de suelo posee un L.L. mayor al 50%.

**- Grupos ML y MH**

En estos grupos se encuentran los suelos limosos inorgánicos y limos arcillosos. El grupo ML está comprendido por el área bajo la línea A con un L.L. inferior a 50 % y el área sobre la línea A, con un I.P. inferior a 4. El grupo MH es definido debajo de la línea A, delimitada también

por un L.L superior al 50 %. Algunos ejemplos de suelos ubicados a estos grupos son los polvos de roca, depósitos eólicos y las arcillas caolinitas.

Un caso especial se da en los suelos que se ubican sobre la línea A con un valor de índice de plasticidad de entre 4% a 7%, debido a que se les considera como casos de frontera, de tal modo que se les asigna la denominación doble CL-ML.

### **- Grupos OL y OH**

En ese grupo tenemos los suelos orgánicos, cuya ubicación en la carta es prácticamente la misma del grupo anterior ML y MH; un detalle importante en este tipo de suelos es que se puede dar un aumento de su límite líquido sin cambio apreciable en su índice de plasticidad, y esto es debido a que usualmente poseen materia orgánica del tipo coloidal. Suelos pertenecientes a estos grupos son inservibles como terrenos para construir cimentaciones.

### **- Grupos Pt**

Suelos compuesto por altas cantidades de sustancias orgánicas, poseen valores de límite líquido muy altos, que van del rango de 300% a 500%, así como un índice de plasticidad de entre 100% y 200%. Todos estos suelos se ubican completamente por debajo de la línea A.

Figura 7

Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)

DIVISIÓN MAYOR				SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 <b>PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4</b>	<b>GRAVAS LIMPIAS</b> Poco o nada de partículas finas	<b>GW</b>	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMÍNENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5% GW, GP, SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. **	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD $C_u$ : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA $C_c$ : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$
			<b>GP</b>	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.
			* <b>GM</b>	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.
		d				
		<b>GC</b>	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		
		<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 <b>PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4</b>	<b>ARENAS LIMPIAS</b> Poco o nada de partículas finas	<b>SW</b>		Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
	<b>SP</b>			Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW	
	* <b>SM</b>			Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
	d					
	<b>SC</b>		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		
	<b>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.		<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido menor de 50	<b>ML</b>	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad  <b>CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</b> 
		<b>CL</b>		Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
<b>OL</b>		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.				
<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido Mayor de 50		<b>MH</b>	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatómicos, más elásticos.			
		<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.			
		<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.			
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>		<b>P</b>	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.			

Nota. De Mecánica de Suelos y Cimentaciones (p.89), por C. Crespo, 2004, Limusa.

### **2.2.3.3.2. Sistema de Clasificación AASHTO**

La segunda forma más difundida de clasificar a los suelos es la establecida por AASHTO, la cual describe cómo proceder para establecer una clasificación de los suelos, basándose en los parámetros granulométricos y las características plásticas de los suelos, para agruparlos de acuerdo con su desenvolvimiento como capa de soporte.

Este sistema clasifica a los suelos mediante grupos, los cuales son denominados como grupo A-1, A-2, A-3, hasta llegar al A-7, los cuales fueron distribuidos según su granulometría y plasticidad. La clasificación en función de la granulometría se explica debido a que este sistema toma los porcentajes que pasan por los tamices: 10,40 y 200. En cuanto a lo referido a la plasticidad, toma los valores de los límites de consistencia y el I.P.

AASHTO toma como base para realizar su sistema de clasificación el tamaño de los suelos, cuyas categorías se detallan a continuación:

- Suelos granulares: Se consideran así a los que presentan como máximo 35% de material que pasa el tamiz N°200, y abarcan los grupos A-1, A-2 y A-3.

- Suelos finos: Aquellos que presentan más del 35% de material que pasa el tamiz N°200. Estos llenan los grupos desde el A-4 al A-7.

En la tabla 10 se presenta la clasificación según AASHTO, brindada por el MTC.

**Tabla 10**

*Clasificación de los suelos basada en ASSHTO M 145*

CLASIFICACIÓN	SUELOS GRANULARES 35% máximo que pasa por tamiz (N°200)						SUELOS FINOS Superior a 35% pasa el (N° 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
CLASIFICACIÓN DE GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5
<b>Porcentaje que pasa por el tamiz:</b>											
N°10	Máx. 50.	-	-	-			-				
N°40	Máx. 30	Máx. 50.	Min. 51	-			-				
N°200	Máx. 15.	Máx. 25	Máx. 10	Máx. 35.			Mínimo 36.				
<b>Características de la fracción que pasapor el tamiz N° 40</b>											
(L.L)	-		-	máx.40	mín. 41	máx.40	mín.40	máx. 40	mín.41	máx.40	mín.41
(I.P)	máx. 6		N.P.	máx.10	máx.10	mín.11	mín.11	máx.10	máx.10	mín.11	mín.11
<b>Principal Composición</b>	Piedras, gravas y arenas		Aren a fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
<b>Calidad del suelo como subrasante</b>	Excelente a bueno						Regular a insuficiente				

*Nota. Adaptado de Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (p.34), MTC, 2014.*

Braja (2013) señala que para evaluar la calidad de un suelo como un material de subrasante se añade un parámetro numérico denominado índice de grupo (I.G.) a los grupos y subgrupos.

Dicho parámetro se calcula haciendo uso de la expresión a continuación:

$$I.G. = (F - 35)[0.2 + 0.05(L.L. - 40)] + 0.01 (F - 35)(I.P. - 10) \dots \dots \dots (5)$$

Siendo:

I.G. = Índice de grupo

F = Porcentaje del suelo que pasa el tamiz N°200 (número entero)

L.L. = Límite Líquido

I.P. = Índice de plasticidad

Braja (2013) señala que se deben considerar algunas reglas al momento de determinar el I.G, los cuales se detallan en las siguientes líneas:

- Si el resultado de la ecuación es un número negativo, el IG tomará el valor de 0.
- El I.G. es un número entero, si en caso el resultado tiene decimales, este se redondea al entero más próximo.
- El I.G no posee un límite numérico.
- Los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre tienen I.G igual a 0.

- Para los grupos A-2-6 y A-2-7, el I.G. se calcula parcialmente con la expresión a continuación:

$$I.G. = 0.01(F - 35)(I.P. - 10) \dots \dots \dots (6)$$

Luego de describir los dos sistemas de clasificación de suelos más conocidos, es notorio el hecho que ambos sistemas utilizan muchos parámetros en común, siendo los más resaltantes los parámetros granulométricos y los relacionados con la plasticidad del material.

El MTC (2014) establece que existe una correlación del sistema AASHTO con el sistema de SUCS. En la tabla 11 se muestra dicha correlación.

**Tabla 11**  
*Correlación de Tipos de Suelos AASHTO – SUCS*

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

*Nota. De Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (p.33), MTC, 2014.*

#### **2.2.3.4. Compactación de los suelos**

En términos de Sánchez y Yataco (2017), hablamos de compactación de los suelos cuando nos referimos al proceso de aplicar al suelo suelto energía, con el propósito de descartar espacios vacíos; de ese modo, se incrementa la densidad y, por ende, la capacidad de soporte y estabilidad que poseerá y algunas otras propiedades.

Por otro lado, compactación de suelo alude al incremento de su peso específico seco y disminución de vacíos, empleando medios mecánicos. Las técnicas y métodos empleados para la compactación; será según el tipo de material o suelo con los que se trabaje en cada caso. Resulta imprescindible saber cuál es la MDS y el OCH de los tipos de suelo, si se pretende mantener el control durante la construcción.

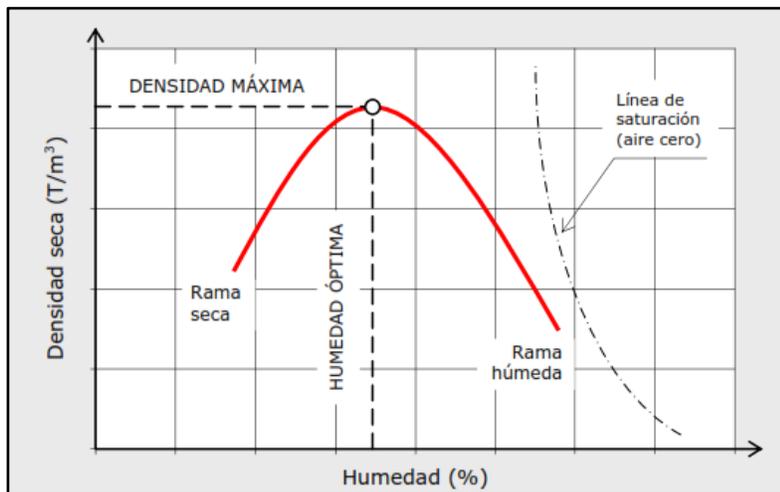
- MDS: Refiere al máximo peso seco, que resulta de comparar la compactación del suelo con la utilización de distintos contenidos de humedad.
- OCH: Relacionado con el porcentaje de humedad en que se logra la MDS. (Braja, 2013).

Claramente la humedad es un parámetro importantísimo, ya que influye en la resistencia del suelo y bajo ciertos parámetros controlados, como por ejemplo una energía de compactación constante, la densidad alcanzada será directamente proporcional a la cantidad de agua que tenga el suelo en ese momento, ya que el agua actúa como lubricante que disminuye la fricción entre las partículas del suelo, alcanzando a punto donde un valor de humedad determinado permitirá alcanzar una densidad seca máxima. Sin embargo, si la humedad aumenta ocasionará la saturación del suelo, haciendo que este disminuya su densidad seca.

En la figura 8 podemos observar el comportamiento de la densidad seca cuando varía la humedad del suelo.

**Figura 8**

*Curva humedad – densidad seca*



*Nota.* De “Suelos”, por Bañón, L. y Beviá, J., *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento* (p.13), 2000, Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.

La regularización de la correlación que hay entre la densidad del suelo y su humedad se consigue a través del ensayo de compactación, el cual busca encontrar la óptima humedad que permita alcanzar la MDS por medio de la aplicación de energía de compactación. Hay dos tipos de Proctor: estándar y modificado; cuya única distinción es la energía de compactación que se aplica en cada una de ellas, la cual se logra adecuar con el cambio de número de golpes, dimensión del molde, número de capas y el uso de un apisonador distinto (Bañón y Beviá, 2000).

#### **2.2.3.4.1. Ensayo Proctor Modificado**

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016) afirma en su Manual de Ensayo de Materiales que el ensayo de Proctor Modificado tiene que ver con los procedimientos necesarios que permitan calcular la correlación entre la porción de agua y el peso unitario seco, con el fin de poder realizar una curva de compactación.

La energía de compactación usada en este ensayo tiene un valor de  $2700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  ( $56000 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$ ) y se aplica de diversas maneras según el método seleccionado en base a la granulometría del material.

El manual señalado líneas atrás indica que este ensayo solo se realiza a suelos que tengan como máximo 30% en el peso de sus partículas contenidas en el tamiz 3/4". Además proporciona tres métodos para realizar el ensayo. En las especificaciones del material se debe precisar el método a emplear, pero en el caso de que este no esté expresado, entonces el método se elegirá mediante criterios granulométricos.

Los tres métodos son denominados Método A, Método B y Método C. Para cada método los materiales y procedimientos variarán un poco.

El Método A usa un molde con diámetro de 4", de modo que el suelo que se empleará será el que pase el tamiz N°4 y se colocará dentro del molde a través de 5 capas, mientras se compacta cada capa golpeando 25 veces con ayuda del martillo. Este método se aplica si el 20% o menos del peso del material se retienen en el tamiz N°4.

El Método B usa también el molde de 4" de diámetro; en este caso, el material para usar es el que pasa el tamiz 3/8" y se coloca dentro del molde en 5 capas, compactando cada una de las capas golpeándolas con el martillo por 25 veces. Cuando más del 20% del material es retenido en

el tamiz N°4 y además el 20% o menos del peso del suelo no pasan el tamiz 3/8", se ha de emplear este método.

Finalmente para realizar el Método C, se necesita un molde cilíndrico de 6". En este caso, el suelo que ha de emplearse es el que pasa el tamiz 3/4", las capas son 5 y además que cada capa tiene que compactarse con 56 golpes con ayuda del martillo. Este método se utiliza cuando más del 20% queda retenido en el tamiz 3/8" y menos del 30% en el tamiz 3/4".

#### **2.2.3.5. Resistencia del suelo**

Uno de los principales parámetros dentro del estudio de los suelos sin lugar a dudas es la resistencia de este, ya que indica capacidad del suelo para soportar y transmitir cargas sin comprometer su funcionalidad estructural. La capacidad de soporte a nivel de subrasante, en conjunto con las características del tráfico y lo que caracteriza a los materiales que se usan en la capas, componen los parámetros fundamentales para el diseño del pavimento que la subrasante soportará.

Según Bañón y Beviá (2000), la capacidad resistente viene a ser la carga que puede resistir sin que le produzca asentamientos considerables, para señalar esta propiedad en un suelo es el índice CBR (California Bearing Ratio) el indicador más empleado. Sin embargo, este índice está fundamentado en calibraciones empíricas previamente realizadas en distinto tipo de suelos.

El ensayo CBR cuantifica cuánta carga se requiere para introducir un pistón de dimensiones normadas a una rapidez que con anticipación se ha establecido en un modelo compactado de suelo, luego de haber pasado por inmersión en agua durante 96 horas. La muestra se sumerge este tiempo con el fin de simular la hipotética situación de saturación en el suelo (Díaz, 2018).

Generalmente para realizar el cálculo del CBR se consideran las cargas unitarias en las siguientes valores de penetración: 2.54mm (0.1”) y 5.08mm (0.2”), para luego compararse con los valores de carga unitaria patrón a esa profundidad de penetración respectivamente.

$$CBR = \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (7)$$

El CBR sirve como parámetro para determinar el modo en que se comportan las capas de suelo presentes en la estructura de un pavimento. En la tabla 12 se brinda una clasificación y el posible uso de los suelos según su CBR.

**Tabla 12**

*Clasificación del Suelo en función del Índice CBR*

No. CBR	Clasificación		SISTEMA DE CLASIFICACION	
	General	Usos	SUCS	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3-7	Pobre a regular	Subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7-20	Regular	Subbase	OL,CL.ML,SC,SM,SP	A2,A4,A6,A7
20-50	Bueno	Base, subbase	GM,GC,SW,SM,SP,GP	A1b,A2-5,A3,A2-6
>50	Excelente	Base	GW,GM	A1a,A2-4,A3

*Nota. De Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (p.191), por J. Bowles, 1981, McGraw-Hill.*

En la tabla 12, se considera que un suelo puede cumplir la función de subbase si tiene un valor CBR a partir de 7%, no obstante el Manual de Carreteras considera que un material a usarse como capa subbase debe cumplir con un  $CBR \geq 40\%$ , mientras que, cuando se trata de la capa base, el CBR mínimo es 80% (MTC, 2014).

En base a todo lo anterior, se denota que el índice CBR no es un valor constante, sino un parámetro que muestra la resistencia de este, supeditado a valores de humedad y densidad monitoreadas, que a su vez se desprenden del ensayo de Proctor modificado.

#### ***2.2.4. Mejoramiento de suelos***

Moreno y Rodríguez (2019) afirman: “El mejoramiento o el cambio del suelo para nuestra conveniencia es un proceso geotécnico que se enfoca en el mejoramiento de la resistencia mecánica, mediante un tratamiento de adición de agentes estabilizantes que logren mejorar las propiedades del suelo” (p. 43).

El mejoramiento de los suelos consiste en aumentar las propiedades de los distintas clases de suelo mediante la estabilización de estos, lo cual se puede lograr mediante la adición de agentes estabilizantes, cuya naturaleza puede ser química, natural o sintética (MTC, 2014).

#### ***2.2.5. Estabilización de suelos***

Existirán ocasiones en las que el suelo a disponibilidad no cumplirá con los requerimientos mínimos para ser parte de un elemento estructural, ya sea por ejemplo el diseño de un pavimento. Podría tratarse de un suelo destinado como subrasante, o podría ser material destinado para subbase o base granular. En estos casos, se necesita realizar una estabilización con el fin de solucionar el problema.

Según Díaz (2018), el objetivo de la estabilización es optimizar la serviciabilidad de la capa de rodadura y aumentar el tiempo de vida de las carreteras sin pavimentar, aminorar los asentamientos y elevar la resistencia de este.

### **2.2.5.1. Estabilización mecánica de suelos**

Es el tipo de estabilización que no necesita algún tipo de aditivo, es decir, se realiza sin alterar la estructura y composición del suelo, logrando su mejora reduciendo el porcentaje de vacíos mediante una buena compactación.

### **2.2.5.2. Estabilización por combinación de suelos**

Consiste en lograr la estabilización mediante la combinación del suelo natural y material clasificado como préstamo.

Se inicia con la escarificación del suelo existente una profundidad de 15cm, para luego colocar el material de préstamo. A continuación se humedece o se deja secar hasta alcanzar la óptima humedad de compactación. Antes de proceder se eliminan partículas mayores a 75mm. Finalmente se realiza el mezclado de ambos suelos, para luego conformarlos y realizar una adecuada compactación a fin de lograr la densidad y espesores de acuerdo a las especificaciones solicitadas.

### **2.2.5.3. Estabilización por sustitución de los suelos**

En caso se pretenda estabilizar la subrasante solo con material de préstamo, surgirán dos posibles escenarios de trabajo: el primero consiste en la construcción de la capa que está situada sobre el terreno natural existente con previa escarificación, conformación y compactación de esta una profundidad de 15cm. El segundo escenario consta en remover el suelo natural una profundidad igual al porcentaje de espesor de reemplazo con material de préstamo, luego de la colocación de este, se procede a la conformación y compactación según las especificaciones técnicas.

#### **2.2.5.4. Estabilización química**

Este tipo de estabilización para Díaz (2018) consiste en la utilización de un producto químico, generalmente llamado estabilizador, el cual se debe combinar con el suelo a mejorar, además de curar conforme con lo especificaciones técnicas inherentes al producto.

Ravines (2010) menciona que comúnmente se usa cemento, cal, cloruro de calcio, productos asfálticos, entre otros. Al usar estos aditivos se logra provocar que el suelo reaccione químicamente con el agente estabilizador, de tal manera que se logra cambiar las particularidades y propiedades del suelo natural, logrando así aumentar su capacidad frente a la exigencia de las cargas a la cual está sometido.

##### **2.2.5.4.1. Estabilización con productos asfálticos**

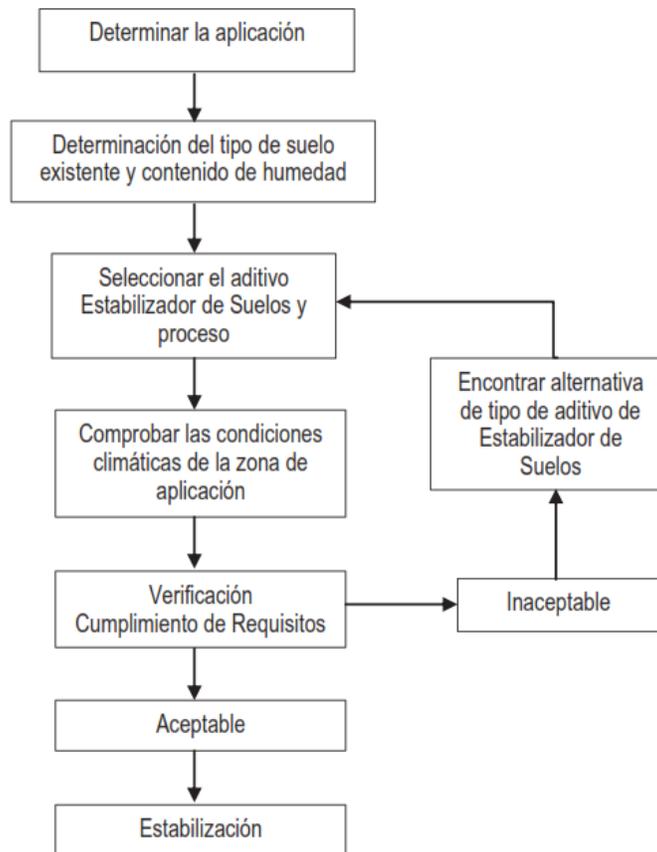
Al mezclar un suelo con un producto asfáltico tiene como objetivos: elevar la estabilidad de este a causa del ligante, ya que este posee grandes propiedades aglomerantes envolviendo las partículas del suelo; e impermeabilizarlo, logrando que sea menos susceptible a los cambios de humedad.

Uno de los productos empleados en esta categoría son las emulsiones asfálticas y su dosificación muchas veces es función de gradación del suelo, por ejemplo suelos finos demandan mayor cantidad de estabilizador. Encontrando un punto de equilibrio y considerando los diversos tipos de suelos, el Manual de Carreteras sugiere que el porcentaje a utilizar se encuentre entre un 4% a 7%, teniendo en consideración que la suma de agua destinada a la compactación en conjunto con el asfalto deben ser inferiores al porcentaje de agua que es requerida para cubrir los vacíos que existan en la mezcla en estado compactado. (MTC, 2014).

Es importante ordenar los criterios, ventajas y desventajas que ofrece cada uno de ellos, antes de decantarse por alguno. En la figura 9 se muestra un diagrama con el proceso de selección.

**Figura 9**

*Proceso de selección del tipo de estabilización*



*Nota.* De *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.95), MTC, 2014.

## 2.2.6. Pavimento

### 2.2.6.1. Definición

Estructura vial de una o múltiples capas de materiales granulares que se disponen de manera ordenada sobre el terreno de fundación o subrasante, cuyo objetivo es soportar las cargas causadas por el tránsito e intemperismo, las cuales llegan a ella transmitidas por las capas

estratificadas que están sobre ella. La subrasante a su vez transfiere al suelo de fundación todos los esfuerzos permisibles de deformación. El pavimento asimismo posibilita el desplazamiento del tránsito de una manera cómoda, segura, económica y rápida (Guerrero y Suconota, 2020).

Según el MTC (2014), un pavimento generalmente posee tres capas:

- **Capa de Rodadura:** Es la capa superficial dentro de la estructura de un pavimento, es del tipo bituminoso si se trata de un pavimento flexible, de concreto si se trata de un pavimento rígido o tener adoquines si es un pavimento del tipo semirrígido. La función principal de esta capa es resistir los efectos abrasivos que produce los usuarios a través de la superficie de rodadura, y en lo posible ser impedimento para el agua entre en el pavimento.

- **Base:** Ubicada al inferior de la capa de rodadura. Provee un elemento resistente que cumpla la labor de sostenimiento, para repartir y pasar las cargas de tráfico hacia la subbase y subrasante. Debe ser de material granular y poseer buena capacidad de drenaje, además bajo nuestra normatividad el índice CBR debe tener un valor mínimo de 80%.

-**Subbase:** Es la capa inferior, por ende, da soporte no solo a la base, sino además a la capa de rodadura. Transmite los esfuerzos que soporta hacia la subrasante, también cumple funciones relacionadas a drenar y controlar el ascenso capilar producto de niveles freáticos cercanos. Al separar la capa base de la subrasante impide contaminaciones entre ellas, como por ejemplo, inhibe la ascensión de finos de la subrasante que pudieses disminuir con el tiempo la calidad de la capa base. Esta capa puede ser prescindible, pero esto depende de los otros parámetros necesarios para el diseño estructural. El CBR debe tener un valor mínimo de 40%.

### **2.2.6.2. Características que debe reunir un pavimento**

El desempeño de un pavimento se puede catalogar como la capacidad que este posee para cumplir su función estructural y su objetivo funcional durante el periodo por el cual fue diseñado inicialmente. En otras palabras, un pavimento con buen desempeño según Montejo (2002) reúne las condiciones que se detallan a continuación:

- Resiste las cargas ocasionadas por el tránsito e intemperismo.
- Cuenta con regularidad transversal y longitudinal, de tal manera que los usuarios tengan comodidad.
- Poseer una textura superficial capaz de tolerar las velocidades previstas por el tráfico, por ende, tener la capacidad de resistir al desgaste causado por las llantas de los vehículos.
- Poseer un correcto funcionamiento como drenaje.
- Debe ser durable y económicamente viable.

### **2.2.6.3. Clasificación de los pavimentos**

#### **2.2.6.3.1. Pavimentos flexibles**

Sobre estos, Montejo (2002) afirma que “están compuestos por una carpeta de bitumen apoyada usualmente sobre dos capas, la base y subbase” (p. 2). Sin embargo, de cualquier de dichas capas se puede prescindir siempre considerando los requerimientos singulares de cada caso.

Desde un punto de vista económico y estructural, las capas superiores del pavimento flexible están compuestas por materiales de alta calidad y elevado precio, debido a su función de soportar esfuerzos considerables debido a la acción del tráfico. Por otro lado, las capas inferiores

del pavimento flexible están conformadas por materiales más baratos y de menos calidad, puesto que reciben esfuerzos menores ya degradados debido a la profundidad de su ubicación. (Vega, 2018).

El MTC (2014) señala dos tipos de pavimentos flexibles:

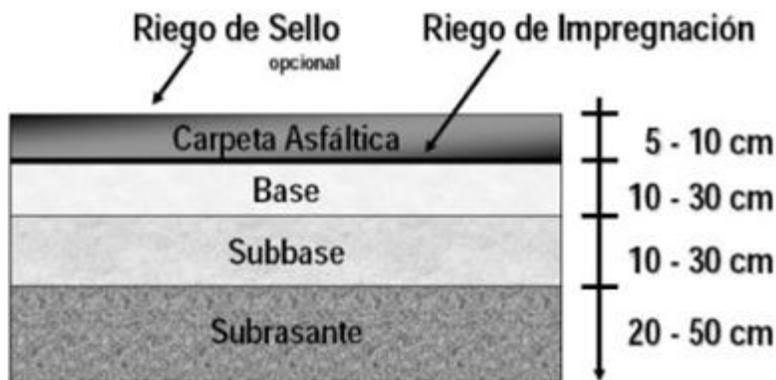
- Pavimentos flexibles cuya estructura comprende capas compuestas de material granular como subbase y base, de tal manera que cumplan una buena función drenante, y que posea además una carpeta de rodadura bituminosa en frío, como el riego bicapa o mezclas asfálticas en frío.

- Pavimentos Flexibles compuestos, al igual que en el caso anterior, por subbase y base de material granular con buena capacidad drenante, sin embargo en este caso este cuenta con una capa de rodadura de naturaleza bituminosa elaborada a partir de mezcla asfáltica en caliente, y cuyo espesor depende del diseño estructural de pavimento.

En la figura 10 se tiene la sección de un pavimento del tipo flexible, compuesta por subrasante, la subbase y base, cuya función es transferir las cargas de tráfico hacia la subrasante. Mientras que en la última parte de la estructura se encuentra la carpeta asfáltica, compuesta por agregados grueso, fino y un ligante, siendo los cementos asfálticos los más utilizados para esta función.

## Figura 10

*Sección convencional de un pavimento flexible*



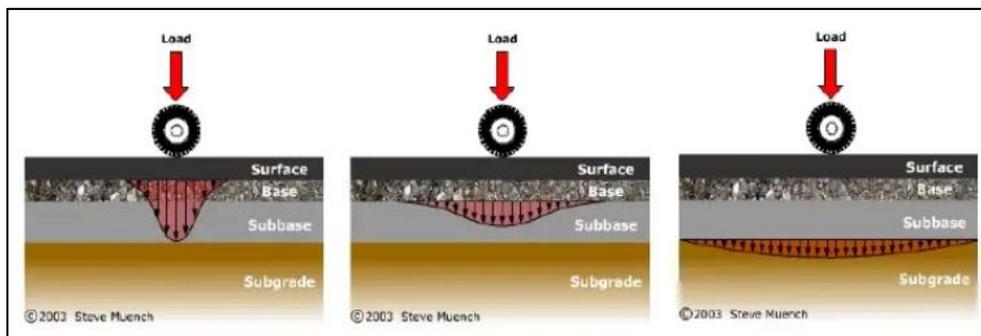
*Nota. De Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta S/R: Santa Elvira – El Arenal, en la Comuna de Valdivia (p.34), por P. Burgos, 2014, Universidad Austral de Chile.*

Este tipo de pavimento al poseer una carpeta de naturaleza bituminosa, esto debido a la presencia del asfalto que forma parte junto a los demás agregados minerales en la composición de dicha carpeta, brinda a este tipo de pavimentos una alta flexibilidad, capaz de resistir cargas que le causen deformaciones sin llegar al estado de rotura. En consecuencia, los pavimentos flexibles son capaces de tratar a las cargas vehiculares como cargas puntuales, disminuyendo su efecto conforme se profundiza más en la estructura, entendiendo que cada capa recibe la carga de la capa inmediata superior, la extiende en una mayor área, para luego transmitirla a la capa inferior inmediata, llegando finalmente a la subrasante de forma distribuida y atenuada.

En la figura 11 se tiene la distribución de cargas, partiendo de las condiciones explicadas en el párrafo anterior.

**Figura 11**

*Distribución de cargas en un pavimento flexible*



*Nota.* De *Diseño del Pavimento de un Aeropuerto* (p.17), por E. Delgado y V. Quispe, 2012, Pontificia Universidad Católica del Perú.

#### **2.2.6.3.2. Pavimentos semirrígidos**

Los pavimentos semirrígidos, según el MTC (2014) “están conformados por capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente)” (p. 11); pero igualmente se habla de pavimentos semirrígidos a aquellas estructuras conformadas por carpetas asfálticas calientes sobre base que se ha tratado con cemento o cal.

Cuenta con sus capas inferiores estabilizadas, como por ejemplo por acción del cemento, o también por la presencia de capas bituminosas de mucho más espesor. Esto hace que el comportamiento estructural de los pavimentos semirrígidos sea contrario al de los pavimentos flexibles, puesto que en los semirrígidos, el soporte de las capas aumenta conforme la profundidad es mayor. Generalmente los pavimentos semirrígidos suelen incluirse dentro de la clasificación de pavimentos flexibles debido a que también posee una carpeta superior bituminosa (Bañón y Beviá, 2000).

### 2.2.6.3.3. Pavimentos rígidos

Se denomina pavimento rígido a aquel que tiene una losa de concreto simple o armado, con gran rigidez y cuyo apoyo puede ser directamente la subrasante u otra capa. Una de las características principales del concreto es su alto valor de rigidez, esto hace que la losa de concreto absorba notablemente los esfuerzos aplicados al pavimento cuyo origen se da en la superficie de rodadura por causa del tráfico (Aliaga y Soriano, 2019).

Según Rengifo (2014), la capacidad para soportar cargas de un pavimento rígido está íntimamente relacionado a las losas en lugar de las capas inferiores, las cuales no poseen mucha importancia cuando de diseñar estructuralmente un pavimento rígido se trata. El concreto utilizado posee alta resistencia a la compresión, que va entre 200 a 400 kg/cm<sup>2</sup>.

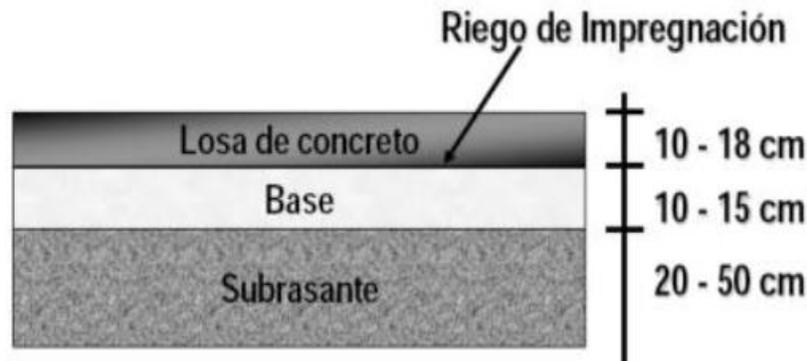
Al conocer las propiedades del pavimento rígido y flexible, se puede establecer que la mayor diferencia entre ambos tipos de pavimento, es la manera en como transfieren las cargas que se les imponen. El pavimento rígido por mencionar resiste: esfuerzos de abrasión por parte de las neumáticos de los vehículos, así como esfuerzos de compresión y tensión causada por la deflexión de la misma losa de concreto debido a las cargas de las ruedas.

El pavimento flexible permite la deflexión de su estructura y considera a las cargas como puntuales, distribuyendo los esfuerzos a las capas inferiores, sin embargo el área donde se distribuye estas cargas es mucho menor al área con la que un pavimento rígido, ya que la losa de concreto actúa como una gran placa que distribuye los esfuerzos en una área mucho mayor.

A continuación se tiene la sección de un pavimento de tipo rígido, compuesta en este caso de una base, y una losa, que puede ser de concreto simple, reforzado o preesforzado.

## Figura 12

*Sección típica de un Pavimento Rígido*



*Nota. De Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta S/R: Santa Elvira – El Arenal, en la Comuna de Valdivia (p.54), por P. Burgos, 2014, Universidad Austral de Chile.*

### 2.2.6.4 Factores a considerar en el diseño de Pavimentos

#### 2.2.6.4.1 El Tráfico

Si se busca diseñar un pavimento por alguno de los métodos existentes, el principal dato que se debe tener en cuenta en sin duda es el tráfico, cuyo estudio radica en conocer las clases de vehículos que circulan en el lugar y su periodicidad.

El diseño de pavimento por metodóloga AASHTO requiere para el desarrollo del procedimiento que especifica, el valor de un parámetro al que denominan ESAL (Equivalent Single Axle Load), el cual se calcula en base al tráfico vehicular de la zona en estudio. El parámetro ESAL indica el total de repeticiones de todos los tipos carga a causa de los vehículos durante el tiempo de diseño del pavimento, en función de un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas ubicados en sus lados extremos, es decir, el número de ejes equivalentes.

Bañón y Beviá (2000) afirman que el factor tráfico influye en la determinación del tiempo de diseño del pavimento, puesto que la repetición de cargas vehiculares a lo largo del tiempo y sus efectos se acumulan, produciendo el efecto de fatiga del pavimento.

#### **2.2.6.4.2 Estudio de mecánica de suelos**

Respecto a esto, se puede señalar que sirven para determinar uno de los parámetros de diseño más importante, la capacidad portante de la subrasante (Vega, 2018).

Con base en lo anterior, se resalta la importancia de calcular el índice CBR, puesto que en la metodología AASTHO existe una fórmula que determina el módulo Resiliente de cada suelo que constituye la estructura, en base a su CBR.

En el caso de la subrasante, el MTC (2014) establece que el CBR mínimo para un suelo que tenga que cumplir esta función es de 6%, por lo cual todo suelo a desempeñarse como subrasante debe cumplir este requisito, o de lo contrario se evalúa una estabilización.

En la capa subbase se indica ciertos valores mínimos para una lista de ensayos que sirven para calificar la calidad de un material granular en base a sus propiedades mecánicas y físicas.

Para la capa base, el MTC (2014) establece que el CBR mínimo para un material granular que tenga que cumplir esta función es de 80%.

#### **2.2.6.4.3 Condiciones climatológicas**

Es importante conocer las condiciones meteorológicas en la zona donde se busca diseñar el pavimento. Los dos principales factores climáticos que se consideran en el diseño estructural de pavimento son: las precipitaciones fluviales, porque elevan el nivel de la napa freática, el cual

afecta a la resistencia del suelo, haciendo más difícil su compactación y causando variaciones en el volumen; y la variación de la temperatura.

Según Rengifo (2014) una información imprescindible para el diseño es la precipitación media diaria de una estación autorizada, cuya data recopilada a lo largo de varios años sirve para tener un padrón confiable, ya que en la metodología de diseño AASHTO, se tiene un parámetro llamado el coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos y el parámetro  $m_i$  en el caso de flexibles, cuyos valores influyen en la determinación posterior de los coeficientes estructurales que sirven para calcular los espesores de las capas de la estructural del pavimento.

El otro factor climatológico muy importante cuando se busca diseñar pavimento era la temperatura, debido a que afecta la deformación de la carpeta asfáltica, así como en el hecho de variaciones de temperatura, cuya consecuencia es la aparición de tensiones en dicha carpeta, causando degradación de la misma. En el caso de tener temperaturas muy bajas, estas producen agrietamiento, mientras que las temperaturas muy elevadas producen ahuellamiento.

### ***2.2.7. Metodología AASHTO 1993 para el diseño de un pavimento flexible***

#### **2.2.7.1 Introducción**

Esta metodología de diseño se basa en identificar un parámetro llamado “número estructural SN”, asociado a la resistencia que debería tener un pavimento para soportar una mezcla de factores extraídos de condiciones, tales como el tránsito total, capacidad portante del terreno de fundación, serviciabilidades y parámetros ambientales.

#### **2.2.7.2 Desarrollo del método**

Se especifican a continuación los parámetros a tener en consideración para el método AASHTO.

### 2.2.7.2.1 Variables de diseño

Existen dos tipos de variables a tener en consideración: período de diseño y período de análisis.

Se define como “período de diseño” al tiempo transcurrido que se necesita para que el pavimento nuevo o rehabilitado se deteriore desde un estado inicial de serviciabilidad, hasta un nivel de serviciabilidad final.

El “período de análisis” es el tiempo que puede ser cubierto bajo cualquier estrategia de diseño. Por lo general coincide con el “período de diseño”, no obstante en la actualidad se recomienda que las consideraciones para el período de análisis sean mayores ya que puede ser necesario que se considere múltiples etapas durante su construcción o una rehabilitación posterior.

**Tabla 13**

*Periodos de análisis y diseño de vías*

<b>Clasificación de la vía</b>	<b>Período de análisis (años)</b>
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20

*Nota.* Adaptado de “*Design Requirements*”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.7), 1993, Autoedición.

### 2.2.7.2.2 Tipo de tráfico

a) Caminos de bajo volumen de tránsito de 150,001 hasta 1'000,000 (EE)

#### Figura 13

*Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 t, en el carril de diseño*

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T <sub>P1</sub>	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T <sub>P2</sub>	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T <sub>P3</sub>	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T <sub>P4</sub>	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.128), MTC, 2014.

b) Caminos que tienen un tránsito, de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE

**Figura 14**

*Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 t, en el carril de diseño*

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T <sub>P5</sub>	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T <sub>P6</sub>	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T <sub>P7</sub>	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T <sub>P8</sub>	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T <sub>P9</sub>	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T <sub>P10</sub>	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T <sub>P11</sub>	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T <sub>P12</sub>	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T <sub>P13</sub>	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T <sub>P14</sub>	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

*Nota. Adaptado de Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (p.129), MTC, 2014.*

c) Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE

**Figura 15**

*Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 t, en el carril de diseño*

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T <sub>P15</sub>	> 30'000,000 EE

*Nota. Adaptado de Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (p.129), MTC, 2014.*

### 2.2.7.2.3 Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad

Se define como serviciabilidad de un pavimento a su capacidad servicio durante el periodo de diseño. La serviciabilidad primaria se determina a través del índice de serviciabilidad presente (PSI).

Este índice de representa el valor que tendrá el pavimento inmediatamente después de su construcción.

#### Figura 16

*Índice de serviciabilidad Inicial (Pi) según rango de tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	3.80
	TP2	300,001	500,000	3.80
	TP3	500,001	750,000	3.80
	TP4	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.00
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.00
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.00
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.00
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.00
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.00
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.20
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.20
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.20
	TP15	>30'000,000		4.20

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.137), MTC, 2014.

El índice de serviciabilidad final es el valor más bajo tolerable antes que sea necesario una reparación, refuerzo superficial o reconstrucción.

**Figura 17**

*Índice de serviciabilidad Inicial (Pt) según rango de tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	2.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	2.50
	TP9	7,500,001	10'000,000	2.50
	TP10	10'000,001	12'500,000	2.50
	TP11	12'500,001	15'000,000	2.50
	TP12	15'000,001	20'000,000	3.00
	TP13	20'000,001	25'000,000	3.00
	TP14	25'000,001	30'000,000	3.00
	TP15		>30'000,000	3.00

Nota. Adaptado de Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (p.138), MTC, 2014.

Los índices de serviciabilidad inicial (Pi) y final (Pt), son necesarios para el cálculo de la pérdida de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI).

$$\Delta\text{PSI} = P_i - P_t \dots\dots\dots (8)$$

**2.2.7.2.4 Confiabilidad**

Se define como la probabilidad de que la estructura desarrolle su función pronosticada durante el periodo para el cual fue diseñado. El nivel de confiabilidad está ligado directamente al volumen de tráfico al cual estará sometido el pavimento. En la figura 18, se muestran los niveles de confiabilidad de acuerdo a los distintos tipos de tráfico:

**Figura 18**

*Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años) según rango de tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	100,000	150,000	65%
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	70%
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	75%
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	80%
	T <sub>P4</sub>	750 001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	85%
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	85%
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	85%
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	90%
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	90%
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	90%
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	90%
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	95%
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	95%
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	95%
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		95%

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.133), MTC, 2014.

### 2.2.7.2.5 Desviación Estándar

El parámetro ( $Z_r$ ) refleja el valor correspondiente a la confiabilidad elegida con respecto a un grupo de datos en una distribución del tipo normal.

#### Figura 19

*Coefficiente estadístico de la desviación estándar normal ( $Z_r$ ) para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL ( $Z_r$ )
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	100,001	150,000	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		-1.645

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.135), MTC, 2014.

### 2.2.7.2.6 *Desviación Estándar Combinada (So)*

Representa la variabilidad esperada del tránsito y otros factores que influyen directamente el desempeño de la estructura.

**Tabla 14**

*Desviación estándar combinada*

0.30	-	0.40	Pav. rígidos
0.40	-	0.50	Pav. flexibles

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.136), MTC, 2014.

### 2.2.7.2.7 *Módulo resiliente del material*

Se define como la cuantificación de la rigidez del material el cual se establece como una de las variables más importantes por lo cual su definición debe mantener el mayor cuidado posible, es por ello que para su determinación es conveniente relacionarlo con el CBR. La guía de diseño AASHTO recomienda la siguiente ecuación:

$$Mr = 2,555 \times (CBR)^{0.64} \dots\dots\dots (9)$$

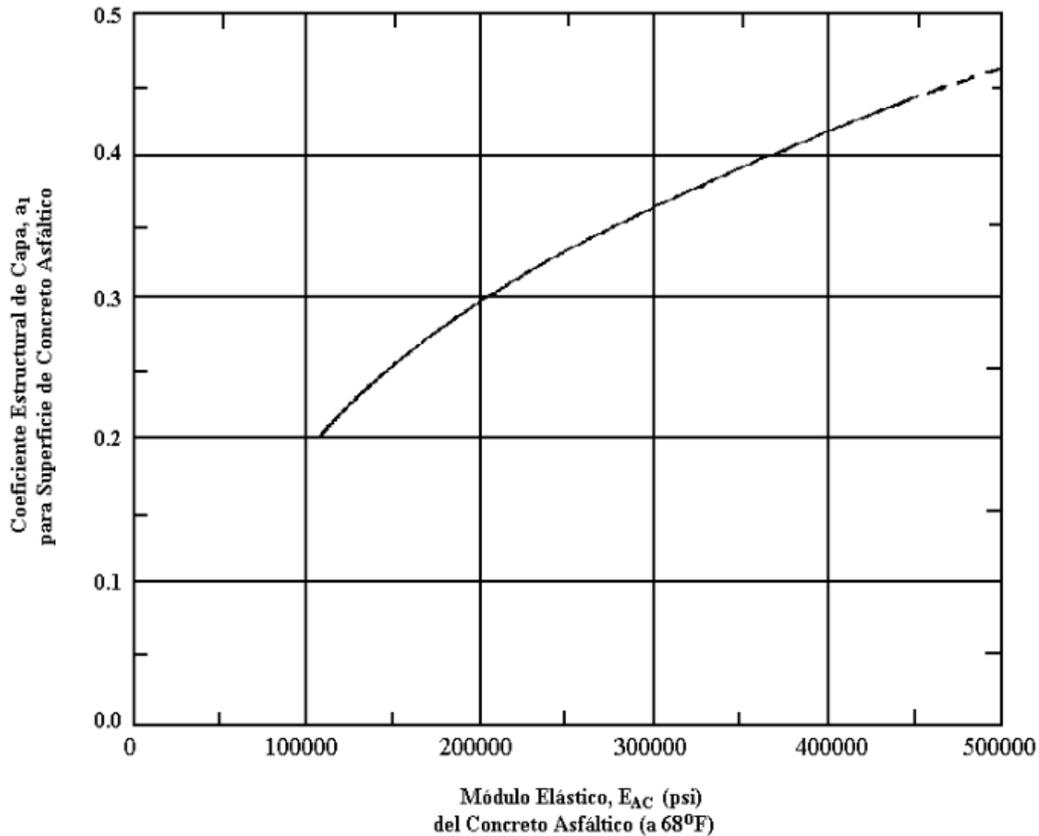
### 2.2.7.2.8 *Coefficientes estructurales de los materiales*

#### 2.2.7.2.8.1 **Concreto asfáltico**

Para hallar el coeficiente estructural (a1) se utiliza el ábaco presentado en la figura 20.

**Figura 20**

Grafico para determinar el coeficiente estructural para la capa de concreto asfáltico ( $a_1$ ) en función del módulo elástico.



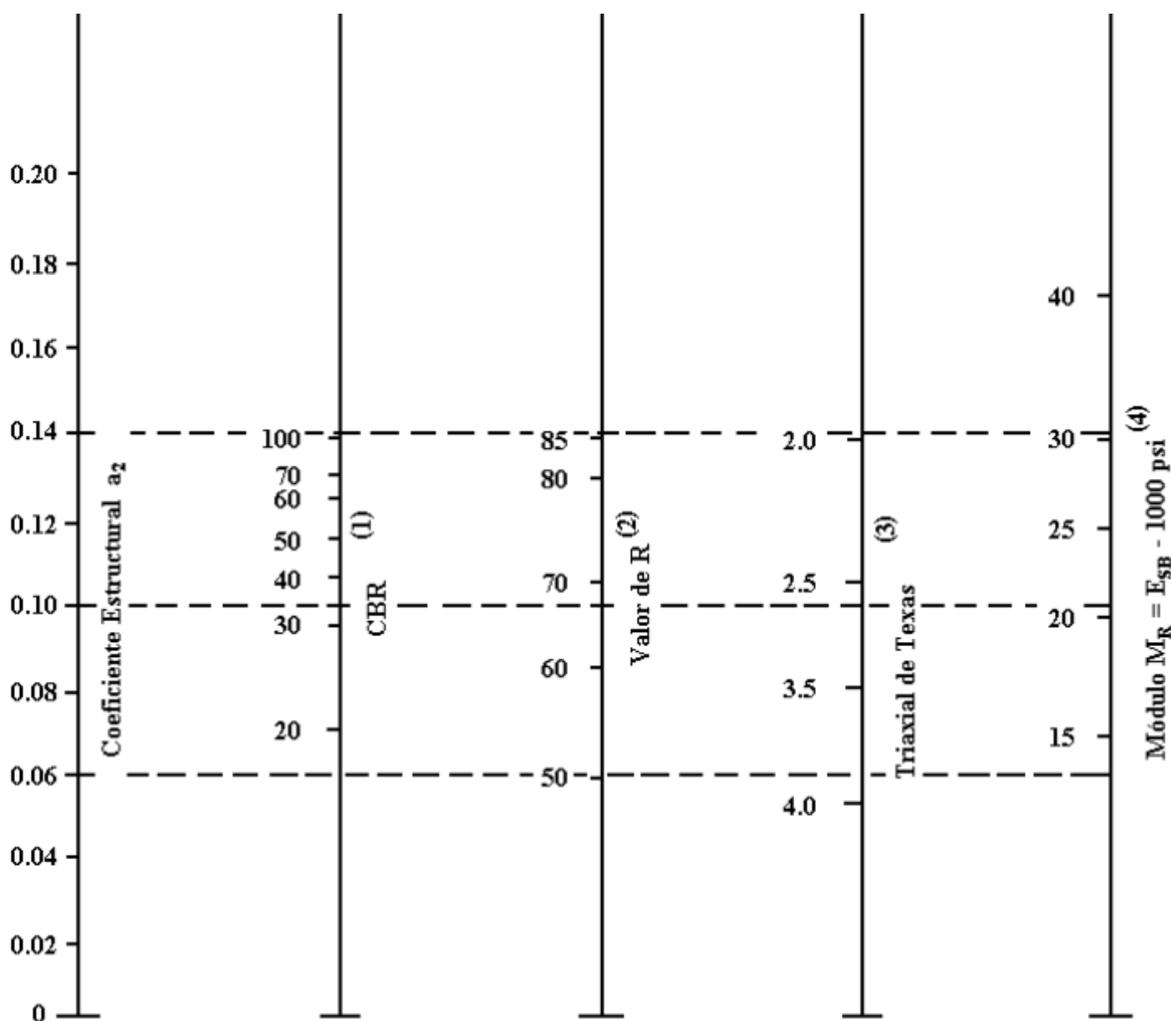
Nota. Adaptado de “*Design Requirements*”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.18), 1993, Autoedición.

#### 2.2.7.2.8.2 Bases granulares

El grafico mostrado en la figura 21 se emplea para determinar el valor del coeficiente estructural de la capa de base granular ( $a_2$ ).

**Figura 21**

Variación en el coeficiente estructural de la capa base granular ( $a_2$ ) con varios parámetros de resistencia de la base



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

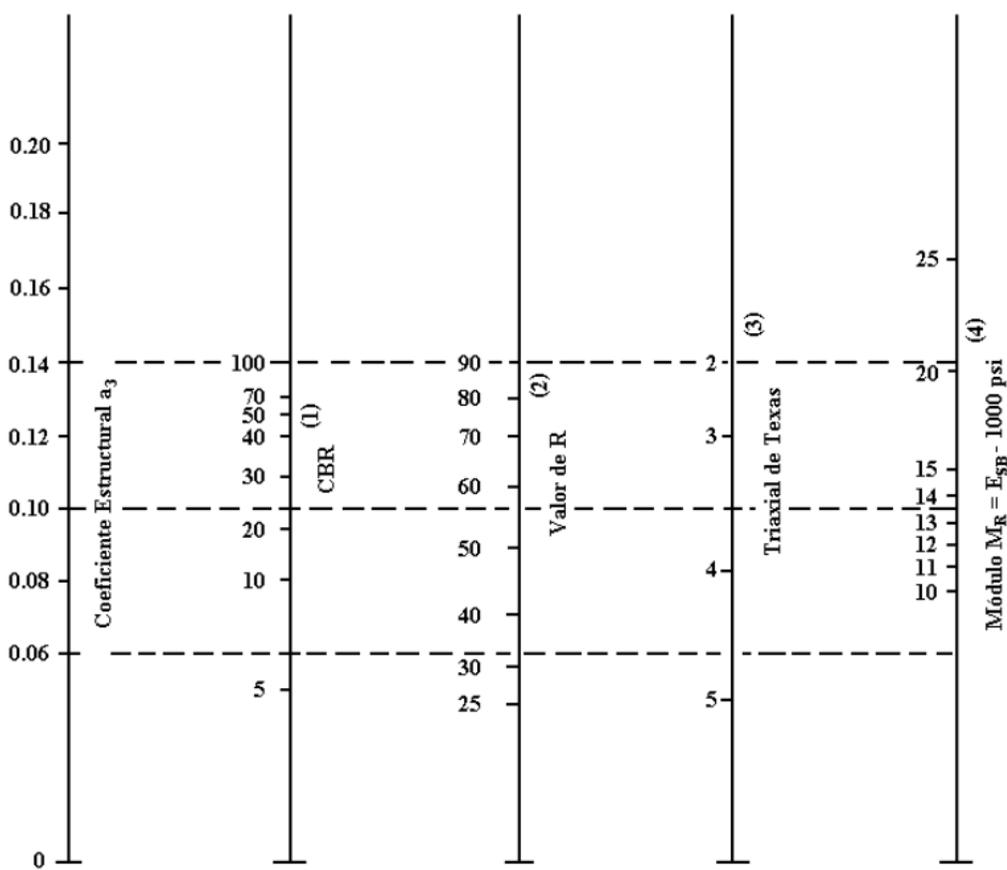
Nota. Adaptado de "Design Requirements", por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.19), 1993, Autoedición.

### 2.2.7.2.8.3 Subbases granulares

El gráfico de la Figura 22 se emplea para determinar el valor del coeficiente estructural de la subbase granular ( $a_3$ )

**Figura 22**

*Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase granular ( $a_3$ ) con varios parámetros de resistencia de la subbase*



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Nota. Adaptado de “*Design Requirements*”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.21), 1993, Autoedición.

### 2.2.7.2.9 Coeficiente de drenaje

Según el MTC (2014), este coeficiente depende directamente de dos factores: la capacidad del drenaje, el cual representa el tiempo que demora el agua en salir y el tiempo durante el cual la estructura se encuentra expuesta a humedades cercanas a la saturación durante el periodo de un año.

**Tabla 15**

*Capacidad de Drenaje*

Calidad del drenaje	Tiempo de evacuación del agua
Excelente	2 horas
Bueno	24 horas
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	(No drena)

*Nota.* De *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.142), MTC, 2014.

Se tienen valores recomendados, en base a las consideraciones establecidas por AASHTO para el coeficiente de drenaje ( $m_i$ ), en función del periodo de tiempo en que la estructura está expuesto a valores próximos a saturación, y también a la calidad drenante propio de la estructura del pavimento.

En la figura 23 se presentan los valores de coeficiente de drenaje en función de lo anteriormente detallado.

## Figura 23

Valores Recomendados del coeficiente de drenaje  $m_i$  para bases y subbases granulares no tratadas en Pavimentos Flexibles

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Nota. De Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (p.142), MTC, 2014.

### 2.2.7.2.10 Determinación de Espesores

#### 2.2.7.2.10.1 Determinación del Número Estructural (SN)

La metodología AASHTO 1993 establece la siguiente ecuación de diseño

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07 \dots (10)$$

Donde:

$W_{18}$ : Número de cargas de 18,000 lb previstas

$Z_R$ : Desviación normal estándar

$S_o$ : Desviación estándar combinada

$\Delta PSI$ : Pérdida de serviciabilidad

$M_R$ : Módulo resiliente de la capa en estudio

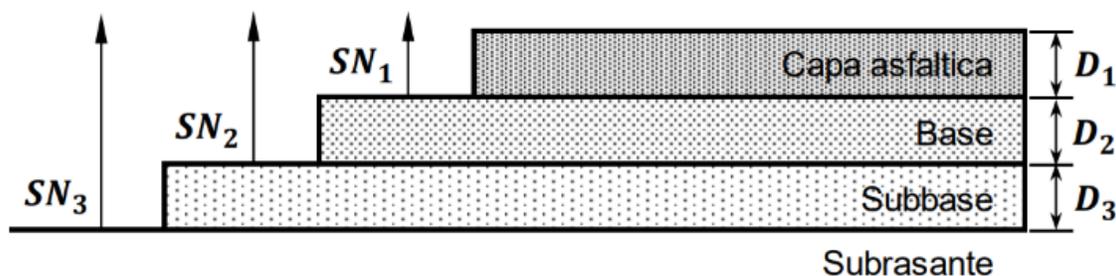
SN: Número estructural indicativo del espesor total requerido

Posterior a la introducción de los valores de  $W_{18}$ ,  $Z_R$ ,  $S_o$ ,  $\Delta PSI$  y  $M_R$ , en la ecuación de diseño, esta se resuelve para la obtención del valor de SN. Mediante la aplicación de un proceso iterativo, en el cual se va dando valores arbitrarios a SN, hasta lograr que con un determinado valor de SN se logre obtener un valor igual que el obtenido para  $\log_{10}(W_{18})$ .

### 2.2.7.2.11 Espesores mínimos en función del ESALs

**Figura 24**

*Esquema de pavimento flexible según Metodología AASHTO*



*Nota. De Diseño Óptimo de la estructura del pavimento flexible en la H.U.P. Villa Victoria del Distrito de Nuevo Chimbote mediante el Método del Instituto del Asfalto y AASHTO (p.65), por D. Lozano, 2015, Universidad Nacional del Santa.*

En la figura 24 se tiene la sección de un pavimento flexible, así como los parámetros cuya relación viene dada por la siguiente ecuación, la cual forma parte fundamental en el procedimiento de determinación de los espesores de las distintas capas del pavimento.

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times m_2 \times D_2 + a_3 \times m_3 \times D_3 \dots\dots\dots(11)$$

Dónde:

$a_1, a_2, a_3$ : Coeficientes estructurales de capa

$m_2, m_3$ : Coeficientes de drenaje

$D_1, D_2, D_3$ : Espesores de capa (en pulgadas)

En la Tabla 16 se muestra los espesores mínimos para algunas capas establecidos por AASHTO.

**Tabla 16**

*Espesores mínimos de capa en función del ESALs de diseño*

Tráfico, ESAL	Concreto Asfáltico (pulg)	Agregado Base (pulg)
Menor a 50,000	1.0	4
50,001-150,000	2.0	4
150,001-500,000	2.5	4
500,001-2,000,000	3.0	6
2,000,001-7,000,000	3.5	6
Mayor a 7,000,000	4.0	6

*Nota.* Adaptado de “*Design Requirements*”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.35), 1993, Autoedición.

### 2.3. Definición de términos

**-Agente emulsivo:** “La sustancia química, agregada al agua y al asfalto, que mantiene al asfalto en suspensión estable en el agua. El agente emulsivo determina la carga de la emulsión y controla la velocidad de rotura de la emulsión” (Villa, 2007, p. 88).

**-Agregado fino:** Material retenido en el tamiz N°4, y cuyas especificaciones satisfacen los requerimientos dados en la NTP 400.037.

**-Agregado grueso:** Material que pasa el tamiz N°4, y cuyas especificaciones satisfacen los requerimientos dados en la NTP 400.037.

**-Asfalto:** Material negro que posee características cementantes, a temperaturas normales es sólido o semisólido. Al aplicarle temperaturas altas, el asfalto se emblandece hasta pasar al estado líquido, permitiéndole de esta manera cubrir las partículas de agregado cuando se produce mezclas en caliente (González et al., 2007).

**-Calicata:** Técnica prospectiva que suele emplearse con el objetivo de hacer más sencillo el reconocimiento geotécnico. Además permite la inspección directa del suelo.

**-Capacidad portante:** Moreno y Rodríguez (2019) refieren que “es el indicador que nos indica a que nivel el suelo puede soportar una carga sin que se produzcan en este asientos excesivos” (p. 43).

**-CBR:** Sobre el CBR (California Bearing Ratio), Tibán (2015) afirma que “es una medida relativa de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, en condiciones de humedad y densidad controlados que tiene aplicación especialmente para el diseño de vías terrestres” (p. 35).

**-Cemento asfáltico:** “Asfalto que ha sido refinado para cumplir las especificaciones para pavimentación, techado, aplicaciones industriales y usos especiales” (Villa, 2007, p.87).

**-Coalescencia:** “Proceso mediante el cual dos o más partículas se funden para formar una partícula más grande. En este proceso si se pierde la identidad de las partículas originales” (Villa, 2007, p.88).

**-Emulsión asfáltica:** “Una emulsión compuesta de cemento asfáltico, agua y una pequeña cantidad de agente emulsivo. Las pequeñas gotas de asfalto emulsificado puede ser aniónicas (carga negativa), catiónicas (carga positiva) o no iónicas (sin carga eléctrica)” (Villa, 2007, p.88).

**-Lechada asfáltica:** Mezcla formada por agregados finos, filler, emulsión, agua y aditivos. Se aplica en promedio 3 a 6mm de espesor. Sirven para impermeabilizar, así como en dar tratamiento de terminado superficial, blindando antideslizamiento (Ontiveros, 2013).

**-Rotura:** Es el fenómeno dado en las emulsiones asfálticas, la cual consiste en la separación del agua y el asfalto, permitiendo que la emulsión asfáltica funcione de acuerdo a su propósito de aplicación.

## **2.4. Marco normativo**

### ***2.4.1 Manual de Ensayo de Materiales – Ministerio de Transportes y comunicaciones***

Aprobado el 03 de junio del 2016 mediante la RD N°18-2016-MTC/14, y en donde se establecen los ensayos necesarios para diversos materiales, como los ensayos para determinar las propiedades de los suelos.

### ***2.4.2 Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Ministerio de Transportes y Comunicaciones***

Aprobado el 09 de abril del 2014 mediante la RD N°10-2014-MTC/14, y en donde se brindan criterios respecto a suelos y pavimentos, los cuales servirán para realizar correctamente el diseño de las capas superiores de un pavimento, de tal manera que este posea una buena estabilidad estructural, cumpla un buen desempeño y presente una buena relación costo – beneficio.

### ***2.4.3 Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción – Ministerio de Transportes y Comunicaciones***

Aprobado el 07 de agosto del 2013 mediante la RD N°22-2013-MTC/14, con el fin de homogeneizar las condiciones, parámetros, requisitos y procedimientos afines a la infraestructura vial, con el objetivo de normalizar los procedimientos que conlleven a realizar una obra de buena calidad.

**CAPÍTULO III**  
**MATERIALES Y**  
**MÉTODOS**

### **3.1 Tipo de investigación**

Hernández et al. (2014) afirma que para investigar y generar conocimiento, se emplean dos métodos diferenciados según su propio enfoque, estos son el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo. El enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos secuenciales y probatorios, con un orden de etapas precedidas una de otra, sin eludir una de estas; este proceso es deductivo y probatorio con el fin de analizar la realidad objetiva, para ello hace uso de la estadística. Establece hipótesis y determina variables utilizando la recolección de datos para probar dicha hipótesis, teniendo como objetivo de disponer pautas y corroborar teorías. Al final se logra extraer conclusiones que corroborar la validez de la hipótesis planteada.

Bajo esta premisa, la presente investigación posee un enfoque cuantitativo, ya que sigue pasos del proceso de investigación de manera ordenada, estableciendo una hipótesis y realizando los ensayos necesarios para conocer las características del material en estudio en su estado inalterado en la naturaleza, y luego de añadirle emulsión asfáltica en diversos porcentajes. Realizando la recolección de datos y analizándolas, para finalmente realizar conclusiones en base a estos.

También según la finalidad, la presente es una investigación aplicada, la cual se caracteriza porque busca utilizar los conocimientos ya adquiridos con el fin de contribuir con nuevos, con el objetivo de mejorar la calidad de vida, como en el caso de buscar solucionar problemas de transitabilidad optimizando el espesor de la estructura del pavimento.

### **3.2 Nivel de investigación**

Fue de carácter descriptivo – predictivo, ya que para realizar la investigación se buscó predecir los efectos causadas en una variable en función de la otra, en el caso del presente trabajo

la relación entre el grado de estabilización de la subrasante utilizando emulsión asfáltica y un óptimo espesor de pavimento.

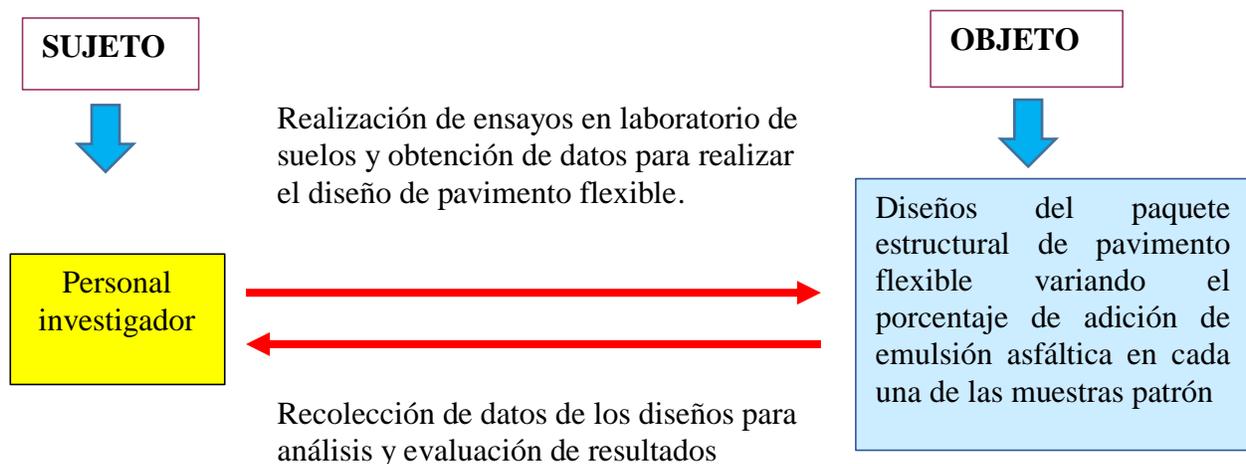
### 3.3 Diseño de investigación

Fue de carácter experimental, se manipuló la variable independiente con la finalidad de conocer los efectos que tiene sobre la variable dependiente bajo condiciones controladas.

La presente investigación pertenece a la clase de experimentos puros, debido a que presenta grupos de comparación: control y experimental; y sus respectivos resultados (igual tipo de ensayos hechos para ambos grupos de comparación). Los grupos de control están compuestos por las muestras, las cuales no han sido adicionadas, mientras que por otro lado, los grupos experimentales son las muestras mezcladas con emulsión asfáltica en dosificaciones determinadas previamente.

**Figura 25**

*Diseño de investigación*



### **3.3.1 Diseño experimental**

El proyecto de investigación contempló un procedimiento, el cual se explica mediante la siguiente secuencia: Se realizaron las calicatas previamente ubicadas en el lugar de estudio con el fin de extraer muestras del suelo local, asegurando además que las excavaciones tengan las dimensiones necesarias para que permitan la maniobrabilidad.

Después de extraer las muestras, estas fueron llevadas a un laboratorio para ejecutar los ensayos correspondientes para conocer las características mecánicas y físicas del material natural, para luego realizar el diseño de pavimento usando el método AASHTO 1993, conociendo así los espesores de cada capa de un pavimento sin subrasante estabilizada. Los ensayos a realizar en el presente proyecto se harán a las especificaciones dadas por: Manual de Ensayo de Materiales (MTC), la Norma Técnica Peruana (NTP) y el ASTM.

Una vez hecho esto, se procedió a precisar las características geotécnicas del suelo que cuenta con emulsión asfáltica como estabilizador, suministrados en distintas dosificaciones, con el objetivo de comparar los resultados y observar cual es el mejor porcentaje de adición de emulsión asfáltica que resulta en una mejora de sus propiedades, la cual conlleva a una optimización del espesor del pavimento.

Se realizó por medio del Método AASHTO 1993 el diseño del paquete estructural, tomando en cuenta los datos obtenidos en la investigación y otros factores necesarios tomados de la zona de estudio. Finalmente, se contrastó los diseños por método AASHTO 1993, el diseño inicial del paquete estructural con el diseño final que presenta una subrasante estabilizada con emulsión asfáltica para medir el grado de optimización.

### **3.4 Unidad de análisis**

Suelo extraído del Centro Poblado San Luis y sus combinaciones dosificadas con emulsión asfáltica.

### **3.5 Ubicación**

#### **Ubicación geográfica**

El Centro poblado San Luis se encuentra ubicado al lado continuo de la panamericana norte, es un centro poblado perteneciente al Distrito de Santa, Provincia del Santa.

Región: Ancash

Altitud media: 15.000 m.s.n.m.

Superficie: 47,777.73 m<sup>2</sup>

### **3.6 Población y muestra**

#### ***3.6.1 Población***

Fue finita, la población fue el suelo perteneciente a la subrasante de las vías ubicadas en el centro poblado San Luis, ubicado en el distrito de Santa, provincia del Santa - Ancash.

#### ***3.6.2 Muestra***

El muestreo fue del tipo no probabilística y por conveniencia, ya que de manera aleatoria se eligió los lugares a usar. La muestra consistió en el material extraído de calicatas hechas en el suelo con el fin de identificar y hacer un estudio geotécnico del suelo de la subrasante. Dichas calicatas tenían una profundidad de 1.50 m o hasta encontrar nivel freático.

**Tabla 17**
*Ubicación de Calicatas*

Calicata	Ubicación	Profundidad
C-01	761548.51 m S 9004022.75 m E	1.35m
C-02	761620.63 m S 9003862.61 m E	1.50m
C-03	761529.22 m S 9003863.76 m E	1.35m
C-04	761376.15 m S 9003924.73 m E	1.50m
C-05	761554.02 m S 9003787.84 m E	1.50m
C-06	761617.68 m S 9003662.68 m E	1.50m
C-07	761753.90 m S 9003718.01 m E	1.50m
C-08	761671.45 m S 9003591.84 m E	1.50m
C-09	761505.40 m S 9003365.09 m E	1.50m

### 3.7 Variables

#### 3.7.1 Variable independiente

- Estabilización de subrasante con emulsión asfáltica.

#### 3.7.2 Variable dependiente

- Optimización del espesor de la estructura del pavimento.

3.7.3 Matriz de consistencia

Tabla 18

Matriz de consistencia

Título	Pregunta de Investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables
OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	<u>Pregunta Principal</u>	<u>Objetivo Principal</u>		
	¿La subrasante estabilizada empleando emulsión asfáltica garantizara una optimización del espesor de la estructura de pavimento?	Optimizar el espesor de la estructura de pavimento utilizando emulsión asfáltica como estabilizante de la subrasante.		<i>Variable Independiente</i>
	<u>Preguntas Específicas</u>	<u>Objetivos Específicos</u>		Estabilización de subrasante con emulsión asfáltica
	¿Cuál será el diseño del paquete estructural del pavimento flexible, según los parámetros del Método AASHTO 1993, en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural obtenidos mediante los estudios de mecánica de suelos?	Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural obtenidos mediante los estudios de mecánica de suelos.		Si se estabiliza la subrasante utilizando emulsión asfáltica, entonces se optimiza el espesor de la estructura de pavimento en el Centro Poblado San Luis.
	¿Cuáles serán los efectos de adición de emulsión asfáltica a la subrasante en las siguientes proporciones: 4% - 6% y 8% del peso de la muestra representativa respectivamente?	Realizar los ensayos de laboratorios necesarios para conocer los efectos de adición de emulsión asfáltica a la subrasante en las siguientes proporciones: 4% - 6% y 8% del peso de la muestra representativa respectivamente.		<i>Variable Dependiente</i>
	¿De qué manera se puede seleccionar el óptimo porcentaje de emulsión asfáltica necesaria para optimizar la subrasante?	Determinar el porcentaje de emulsión asfáltica que se utilizará en la estabilización de la subrasante para optimizar el espesor de pavimento.		Optimización del espesor de la estructura del pavimento
	¿Cuál será el diseño del paquete estructural del pavimento flexible, según los parámetros del método AASHTO 1993, en base a la subrasante estabilizada con emulsión asfáltica?	Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible, según los parámetros del Método AASHTO 1993, en base a la subrasante estabilizada con emulsión asfáltica.		

3.7.4 Operacionalización de variables

Tabla 19

Operacionalización de variables

Variable	Nombre de la variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Herramientas	Métodos
Independiente	Estabilización de subrasante con emulsión asfáltica	El mejoramiento de la sub rasante mediante la estabilización, es un proceso que altera la estructura del terreno o sub rasante por medio de procedimientos químicos físicos, de este modo se mejora las características del suelo en la etapa de la construcción, asimismo, la incorporación de este elemento aporta propiedades mecánicas al suelo, generando mejoras en las características del terreno, y estas viéndose reflejadas en el pavimento diseñado. (Montejo,2002)	Determinar por intermedio de las prácticas y ensayos cuanto y como ha cambiado la estructura y propiedades del suelo por la incorporación del elemento denominado emulsión asfáltica, asimismo, se busca resolver cual es el porcentaje recomendable para optimizar el espesor de pavimento.	Propiedades físicas del suelo	Ensayo de Limite de Consistencia	Tamices	Normativa del MTC
					Ensayo de Análisis Granulométrico	Copa Casagrande	
				Propiedades mecánicas del suelo	Ensayo de Humedad	Balanza eléctrica	
					Proctor Modificado	Horno eléctrico	
				Porcentaje de Emulsión Asfáltica	CBR	Recipientes	
	Peso en gramos de emulsión asfáltica en 4%, 6% y 8%	Hoja de cálculo y conteo					
Dependiente	Optimización del espesor de la estructura de pavimento	Es la determinación de los materiales y diferentes espesores estructurales del pavimento mediante la selección de una metodología a desarrollar, que va a proporcionar un cierto nivel de servicio y confiabilidad durante el periodo de diseño al costo mas efectivo. (Irgoin,2018)	Dimensionamiento y optimización de las capas del pavimento utilizando la subrasante estabilizada	Indice medio diario anual (IMDA)		Hoja de cálculo	Normativa del MTC
					Conteo de tráfico		
					Clasificación de vehículos	Conteo	Método AASHTO 93 - Diseño de pavimentos
					Método de diseño AASHTO 1993		
	Diseño estructural	Estudio comparativo	Documento, libros y manuales				

### **3.8 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

#### ***3.8.1 Técnicas de recolección de datos***

Para el presente trabajo de investigación, se utilizó la observación directa para primero realizar la ubicación de los puntos en el lugar, para obtener el material a través de calicatas, muestras que sirvieron para realizar los ensayos necesarios, registrándose luego estos en una base de datos, cuyo posterior procesamiento permitió realizar el perfil estratigráfico de cada una de las calicatas realizadas.

También se utilizó el análisis documentario debido a que recolección de datos se realizó mediante a través del uso de fichas técnicas aceptadas por la normativa, manuales y metodologías de diseño relacionadas al enfoque de la investigación, que garantizaron realizar de manera correcta los ensayos de campo y ensayos en el laboratorio, habiéndose realizados estos en el laboratorio de mecánica de suelos de la UNS y en el laboratorio GEOMG SAC. A través de dichos ensayos y mediante mediciones directas e indirectas, se logró realizar la clasificación del suelo en los sistemas de clasificación más utilizados, así también las propiedades físicas del suelo (contenido de humedad, L.L, L.P, I.P); y mecánicas (MDS, CBR) tanto para el suelo de terreno natural como para el suelo mezclado en distintas dosificaciones con adición de emulsión asfáltica.

#### ***3.8.2 Instrumentos de recolección de datos***

Para recopilar la información de los ensayos que se realizaron, se emplearon las siguientes fichas de recolección de datos correspondiente para cada uno de los ensayos señalados. Estos formatos cumplen y tienen como base lo estipulado e indicado por el Manual de Ensayo de Materiales en su versión 2016, aprobado por el R.D N° 18-2016-MTC/14 el 03 de marzo del 2016.

Este manual toma como referencia a su vez lo señalado por instituciones internacionales, tales como la norma ASTM, el Instituto del Asfalto y AASHTO. Asimismo lo regulado por la Norma Técnica Peruana.

**A) Ensayos de campo**

- Muestreo de suelos y rocas (MTC E 101)

**B) Ensayos de laboratorio para las características físicas y mecánicas**

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107)
- Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108)
- Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110)
- Determinación del límite plástico (L.P) de los suelos e índice de plasticidad (I.P) (MTC E 111)
- Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado) (MTC E 115)
- CBR en laboratorio (MTC E 132)

Para el diseño de pavimento flexible se hizo uso de la metodología AASHTO 1993, la cual brinda formatos que permiten recopilar los datos necesarios para calcular los parámetros necesarios en dicha metodología, tales como el ESALs de diseño, coeficientes y números estructurales. Destacándose también el uso de la sección de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Manual de Carreteras aprobado por R.D N°10-2014-MTC/14, que también brinda parámetros necesarios para la metodología AASHTO.

### ***3.8.3 Validación y confiabilidad de los instrumentos***

Las fichas empleadas tienen sustento en el Manual de ensayo de materiales, las normas ASTM, el Manual de Carreteras y la metodología propuesta por AASHTO 1993.

La validez y confiabilidad de los instrumentos empleados para los ensayos de laboratorio, así como la validez de los instrumentos para diseñar el diseño flexible fue aprobado por la Jefatura del Laboratorio de Mecánica de Suelo de la UNS, a cargo del Ms. Julio César Rivasplata Díaz.

## **3.9 Procedimientos para recolección de datos**

### ***3.9.1 Procedimientos para diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural.***

#### **3.9.1.1 Muestreo de suelos y rocas (MTC E 101)**

Los trabajos en el campo consistieron principalmente tomar las muestras del suelo natural del sitio en estudio con el fin de realizar los ensayos necesarios a realizar en laboratorio. Se ejecutaron 9 calicatas excavadas manualmente con una profundidad de 1.50 metros.

#### **- Calicatas**

#### ***Equipos y materiales***

- 03 palanas
- 02 barretas
- Wincha metálica de 5m
- Sacos y bolsas para recolección

### ***Procedimiento***

-Se ubicó los puntos donde se realizaría las calicatas, evitando obstaculizar el tránsito de la zona.

- Se delimitó el área, siendo de 1.00m x 1.50m.

- Con ayuda de las palanas y barretas se excavo hasta una profundidad mínima de 1.50m, salvo cuando si se encontraba nivel freático.

- Una vez llegado a la profundidad mínima, se procedió a extraer las muestras para cada una de las 09 calicatas, las cuales se almacenaron con cuidado en sacos y bolsas para evitar contacto con sustancias externas al suelo natural.

- Se trasladó el material a una zona de almacenamiento, siendo posteriormente trasladadas al Laboratorio de Mecánica de Suelo de la UNS.

**- TPDA**

### ***Equipos y Materiales***

-Lapiceros

-Libreta de apuntes

### ***Procedimiento***

Para calcular el tránsito promedio diario Anual (TPDA), se asistió en horas de mayor tránsito para realizar la cuenta de vehículos que circulan por las vías de la zona estudiada en esta investigación, así como identificar qué clase de vehículos son los que transitan ahí.

### **3.9.1.2 Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107)**

Este análisis tiene como fin obtener una distribución según el tamaño de las partículas, de esta forma se pudo clasificar los suelos por el sistema SUCS y sistema AASHTO.

#### ***Equipos y materiales***

- Juego de Tamices
- Tamizadora Eléctrica.
- 01 balanza eléctrica con aproximación de 0.01 g.
- 01 balanza eléctrica con aproximación de 1g.
- Cepillo y brocha.
- Taras de aluminio
- Horno eléctrico con temperatura  $110 \pm 5$  °C.

#### ***Procedimiento***

- Se comenzó realizando la toma de una muestra representativa, mediante la técnica del cuarteo se obtuvo aproximadamente 1kg de material.
- En vista que el suelo presentaba muchos finos, se necesitó realizar una granulometría por lavado, para esto se puso a secar en horno 1kg del material previamente cuarteado por tiempo de 24 horas.
- Se pesó la muestra, esto es el peso inicial seco.
- Se colocó a remojar en agua la muestra, hasta que los terrones del suelo se hayan disuelto.

- Luego se realizó el lavado con ayuda de la fuerza con la que el agua sale del grifo de agua, con el fin de que las partículas como limos y arcillas pasen a través de la malla N°200, ya que estas partículas forman parte del peso a lo sobrante en cazoleta. Se repitió el procedimiento hasta que el agua mezclada con la muestra sea transparente.

- Se vierte el suelo retenido en la malla N°200 en una bandeja, y se colocó en el horno por 24 horas.

- Se pesó esta muestra, esto es el peso lavado seco.

- El material se pasó por el conjunto de tamices, y se colocó en la tamizadora por 15min.

- Al final del procedimiento, se pesó el material retenido en cada tamiz.

### **3.9.1.3 Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108)**

Todo suelo natural posee una humedad propia, para determinar dicha humedad se realizó este ensayo, el cual consistió en hallar la proporción de agua presente en una muestra de suelo expresada en porcentaje, con respecto de su peso seco.

#### ***Equipos y materiales***

- 01 balanza eléctrica con aproximación de 0.01 g.

- Taras de aluminio

- Horno eléctrico a temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C.

- 01 espátula

- Cepillo y brocha

### ***Procedimiento***

- Se determinó la cantidad de taras a usar, se pesó y anotó el peso de cada una de ellas.
- Se colocó muestra de suelo húmedo en las taras, y se volvió a realizar el pesaje.
- Fueron colocadas en el horno por un intervalo de 24 horas a temperatura  $110 \pm 5$  °C.
- Las taras se sacaron del horno, se pesaron las muestras secas y se anotó dichos pesos.
- Se calculó el porcentaje de humedad.

#### **3.9.1.4 Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110)**

Cuando hablamos del L.L. de un suelo, nos referimos a la cantidad de humedad en porcentaje que establece la frontera entre su estado plástico y el líquido. Este parámetro es muy importante cuando se quiere clasificar un suelo en los sistemas SUCS y AASHTO.

#### ***Equipos y materiales***

- Tamiz N°40
- 01 espátula de acero
- Copa de Casagrande con acanalador
- Taras de aluminio
- 01 balanza electrónica con aproximación 0.01 g.
- Agua destilada
- Recipiente de porcelana

### ***Procedimiento***

- Se utilizó el método multipunto para hallar el límite líquido, lo cual requiere tres o más determinaciones en la copa Casagrande con diversos contenidos de humedad.

-El método se inicia con un punto que corresponde a la humedad menor, luego se va incrementando la humedad y hallando los 2 o más puntos adicionales.

- Se colocó, a secar por un lapso de 24 horas, una muestra de suelo en el horno eléctrico.

- Luego, la muestra seca se pasó por el tamiz N°40, el material que pasaba dicho tamiz fue usado para este ensayo.

- Se colocó 100 g en el recipiente de porcelana y se le añadió agua destilada, batimos hasta formar una pasta con textura uniforme que posea una consistencia de 25 a 35 golpes.

- Con asistencia de la espátula se colocó pasta en la cazuela de la copa hasta alcanzar 1 centímetro de espesor.

- Se hizo un corte de la pasta en el eje central de la cazuela con el acanalador para separar en 2 partes iguales, es muy importante mantener el acanalador en forma perpendicular a la copa durante el corte.

- Se procedió a aplicar los golpes girando la manivela a una rapidez de 1.9 a 2.1 golpes por segundo, se contó y anotó los golpes usados para cerrar la ranura en una longitud de 13 milímetros.

- Para determinar la humedad contenida, se tomó una porción de suelo, con la espátula se le hizo un corte en la zona de cierre de la ranura y se colocó en una tara pesada previamente.

- El material restante en la copa Casagrande se regresa al recipiente de mezclado. Se procede a limpiar para continuar con otra determinación.

- Para continuar con el ensayo se añadió un poco cantidad de agua destilada al recipiente con el fin de incrementar la humedad, de esta forma, disminuyó la cantidad de golpes.

- Este proceso descrito, se repitió para por lo menos dos ensayos de determinación, donde se buscó obtener el cierre de la ranura con 20-30 golpes y 15-25 golpes respectivamente.

- Todas las muestras de cada determinación fueron colocadas en horno durante 24 horas para el posterior cálculo del porcentaje de humedad.

- Los datos de humedad y cantidad de golpes se graficaron en una escala semilogarítmica y se logró construir una recta llamada como curva de fluidez, la cual nos permite determinar el límite líquido como la humedad necesaria para que la ranura cierre con 25 golpes.

### **3.9.1.5 Determinación del Límite Plástico (L.P.) e índice de Plasticidad (I.P.) (MTC E 111)**

#### ***Equipos y materiales***

-Tamiz N°40

- 01 balanza eléctrica con aproximación 0.01 g.

-01 espátula

- Agua destilada

- Recipientes de aluminio

- Horno eléctrico

- Recipiente de porcelana

- Vidrio grueso esmerilado

### ***Procedimiento***

- De una muestra seca luego de estar dentro del horno por 24 horas, se pasa a través del tamiz N°40, y se trabaja con el material que logra pasar dicho tamiz.

- Se toma aproximadamente una muestra de 20g, la cual se combinó con agua destilada para formar una pasta uniforme, la cual se amasó para que adquiriera una forma de esfera.

- De esta esfera se tomó una pequeña porción de 2g y se amaso en forma elipsoidal.

- Se rodó la pequeña muestra entre la palma de la mano o dedos y la superficie del vidrio, ejerciendo fuerza de tal forma que el suelo adelgace hasta alcanza una forma cilíndrica con diámetro de aproximadamente 3.2mm en un lapso de 2 min.

- Debido al proceso, el suelo va perdiendo humedad por evaporación y retención de la superficie, se secó en caso de evidenciar esto último.

- Si la muestra en forma de cilindro alcanza el diámetro de 3.2mm y no presenta agrietamiento, se vuelve a amasar en forma elipsoidal y se repite el procedimiento de rolado sobre la superficie hasta que se observe que aparecen grietas o el pequeño cilindro se quebrase por la presión.

- Cuando se llegó a este estado, se colocó la muestra cilíndrica de 3.2mm en una tara previamente pesada.

- Se realizó el mismo procedimiento para formar otras muestras de 3.2mm, que en peso tuvieron en conjunto 6g mínimo, también se colocaron en la tara y se llevó al horno por un tiempo de 24 horas.

- Luego de ese lapso de tiempo, se retiró la tara del horno y se determinó el porcentaje de humedad.

- El promedio de humedad de las taras utilizadas en el ensayo, es el límite plástico.

- Finalmente se calculó el índice de plasticidad (I.P.), como la resta entre el L.L. y el L.P., ambos previamente determinados mediante sus ensayos correspondientes.

### **3.9.1.6 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado) (MTC E 115)**

#### ***Equipos y materiales***

- Molde cilíndrico de 4" de diámetro y  $4.5 \pm 0.018$ " de altura, placa base y collar de extensión.

- Pisón con masa de  $10 \pm 0.02$  lb-m, y altura de caída de  $18 \pm 0.05$  pulgadas.

- Balanza eléctrica de precisión de 1g.

- Balanza eléctrica de precisión de 0.01g.

- Bandejas, espátulas y cucharas

- Tamiz N° 4

- Regla metálica

- 01 probeta de 500ml.

- Taras

- Horno eléctrico

### ***Procedimiento***

- Se seleccionó el método de ensayo, ya que se tiene tres métodos: A, B y C, los cuales tienen distintos parámetros para trabajar, la elección se da en base a la granulometría.

- Se utilizó el método A, debido a que el material acumulado retenido por el tamiz N° 4 fue menos del 25% del peso del material.

- Para cada punto de la gráfica del Proctor, se utilizó aproximadamente 3kg de muestra seca, previamente colocada en horno.

- En un recipiente se realizó la mezcla entre el suelo con un porcentaje en peso de agua. Se realizó un batido tal que la mezcla sea homogénea.

- Determinamos el peso del molde cilíndrico, luego se ensambló con la placa base, y también se ensambló el collar de extensión.

- Se colocó el suelo en 5 capas de aproximadamente igual espesor dentro del molde, y se compactó cada una aplicando 25 golpes, ya que se trabajó con el método A. Se tuvo cuidado de que los golpes sean bien distribuidos cubriendo toda el área que ocupaba la muestra dentro del molde.

- Luego se sacó cuidadosamente el collar y se procedió a enrasar la parte superior con la regla metálica.

- Se determinó la masa del molde y del espécimen húmedo compactado dentro del mismo.

- Se desmoldó el suelo, y se tomó una muestra para colocarla en una tara y llevarla al horno para hallar la humedad presente.

- Para determinar más puntos, se repite el procedimiento para el resto de especímenes, incrementando los porcentajes de humedad en 2% en peso.

- Se halló la humedad de todas las muestras, así como su densidad seca de cada espécimen en estado compactado.

- Con estos valores se graficó la curva Proctor, y se pudo determinar el punto máximo que indica la MDS, así como el OCH.

### **3.9.1.7 CBR de suelos (laboratorio) (MTC E 132)**

#### ***Equipos y materiales***

- 03 Moldes cilíndricos de  $6 \pm 0.026''$  de diámetro y  $7 \pm 0.018''$  de altura con placa base perforada de  $3/8''$  de espesor y collar de extensión de  $2''$  de altura para cada molde.

- 01 disco espaciador circular de acero

- 03 placas de expansión provistas de un vástago que permita regular la altura.

- Pesas metálicas como sobrecarga con masa total de  $4.54 \pm 0.02$  kg

- Pisón de Proctor modificado con masa de  $10 \pm 0.02$  lb-m, y altura de caída de  $18 \pm 0.05$  pulgadas

- Papel filtro

- 03 trípodes

- Diales de expansión con aproximación  $0.001''$ .

- Prensa Hidráulica para CBR
  
- 01 balanza eléctrica con precisión de 1g.
  
- Taras
  
- 01 regla metálica
  
- Horno eléctrico
  
- Bandejas
  
- Espátulas y cucharas.
  
- Poza de Saturación

### ***Procedimiento***

- El procedimiento del ensayo CBR consiste en obtener los valores de soporte a partir de especímenes elaborados en determinadas condiciones de humedad y densidad, pero compactados con diversas energías de compactación.

- Se seleccionó previamente material, 6kg para cada molde y se colocó en el horno para su secado.

- Se preparó el espécimen mezclando la muestra del suelo con agua en proporción con el OCH hallado en el ensayo de compactación.

- Como la muestra iba a ser sumergida, se recolectó una pequeña porción del material antes del proceso y otro al final para mezclarlas y determinar el contenido de humedad.

- Se pesó el molde con su base, para luego colocar el collar de extensión, y se introdujo el papel filtro junto al disco espaciador.

- En el primer molde se colocó el espécimen en 5 capas de igual espesor dentro del molde, y se compactó cada capa aplicando 56 golpes con el pisón. Se tuvo cuidado de que los golpes sean bien distribuidos cubriendo toda el área que ocupaba la muestra dentro del molde.

- El segundo molde se elaboró con una energía de compactación menor, colocando la muestra en 5 capas, pero el número de golpes aplicados fueron 25 para cada capa.

- El tercer molde se elaboró con una energía de compactación aún menor, colocando la muestra en 5 capas, pero el número de golpes aplicados por capa fueron 10.

- Luego de compactar, se retiró el collar de extensión y se procedió a enrasar la superficie con ayuda la regla metálica.

- Se desmontó, se rearmó pero de manera invertida, ya sin disco pero si con papel filtro, de tal forma que el espacio libre generado por el disco espaciador quede hacia arriba y permita colocar la sobrecarga.

- Se procedió a pesar el conjunto compuesto por suelo húmedo compactado, molde cilíndrico y base.

- Se procedió a colocar la placa de expansión con vástago ajustable y encima las pesas de sobrecarga.

- Con ayuda de los trípodes, se colocaron en cada molde un dial de expansión, y se registró el valor inicial.

- Los moldes fueron inmersos en agua por un lapso de 96 horas (4 días).

- Cada día se tomó control del dial para ver si se producía una expansión del espécimen.

- Cuando los moldes se retiraron del agua luego del tiempo indicado, se retiró el trípode con el dial luego de registrar la lectura final de este último, también se retiraron las sobrecargas junto con la placa de expansión.

- Se vertió el agua y luego se dejó escurrir el molde por un periodo aproximado de 15 minutos en posición normal, inmediatamente se procedió a determinar la masa de este conjunto en estado saturado. Se repitió este procedimiento para cada molde.

- Se volvió a colocar la placa de expansión con sobrecarga, y se procedió inmediatamente al ensayo de penetración.

- En la prensa hidráulica, se colocó cuidadosamente el molde a ensayar, se aplicó la carga a través del pistón, cuya área de contacto fue de 3 pulgadas cuadradas, con una velocidad de ensayo de 0.05” (1.27mm) por minuto.

- Se registraron lecturas de carga a 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 y 0.500 pulgadas.

- Se repitió este proceso en la prensa hidráulica para cada uno de los moldes restantes.

### **3.9.1.8 Diseño de pavimento flexible mediante Método AASHTO 1993**

El procedimiento se realizó usando plantillas de Microsoft Excel basados en lo estipulado en la metodología AASHTO, este se detalla a continuación:

- En la zona de estudio se realizó el conteo de vehículos livianos y pesados durante un lapso de 7 días conforme indica el formato de estudio de tráfico.

- Se calculó el valor de IMDs y del IMDA.

- Se determinó el periodo de diseño según los parámetros de la guía.

- Se calculó el ESALs de diseño

- Para realizar los cálculos de los siguientes pasos, se necesitó los valores de otros parámetros además del número de ejes equivalentes total ( $W_{18}$ ), como la selección del tipo de tráfico en función del ESALs, que permitió establecer los demás parámetros de diseño tales como: Serviciabilidad Inicial, Serviciabilidad Final, la confiabilidad, la desviación estándar ( $Z_r$ ), la desviación estándar combinada ( $S_o$ ), Módulo resiliente ( $M_r$ ), los coeficientes estructurales de la capas del pavimento ( $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$ ), coeficientes de drenaje y el número estructural (SN).

Los valores de estos parámetros se obtuvieron usando las tablas y formulas brindadas por la metodología AASHTO, los cuales están señalados dentro del contenido del ítem 2.2.7.

- Conociendo los valores de los parámetros mencionados anteriormente, se determinó número estructural requerido (SN), a través de la ecuación de diseño.

- Se halló el número estructural requerido para la capa de base ( $SN_1$ ) con los mismos valores iniciales de diseño pero sustituyendo el valor de ( $M_r$ ) de la subrasante por el valor del módulo de la base, posteriormente se procedió a dividir el valor de ( $SN_1$ ) entre el coeficiente de capa del concreto asfáltico ( $a_1$ ) establecido para determinar el espesor ( $D_1$ ), dicho espesor calculado se verifica que cumpla con el espesor mínimo correspondiente a la capa y el tránsito establecido en la Tabla 19. De cumplir esta condición se redondea ( $D_1$ ) a la  $\frac{1}{2}$  pulgada siguiente, de lo contrario se asigna el espesor mínimo que corresponda. Una vez definido el espesor ( $D_1^*$ ), este debe multiplicarse por el coeficiente ( $a_1$ ) para el cálculo de un ( $SN_1^*$ ) definitivo.

- Se calculó el número estructural para la capa de subbase ( $SN_2$ ), con los mismos valores iniciales de diseño pero sustituyendo el valor de ( $M_r$ ) de la subrasante por el valor del módulo de la subbase, restar ( $SN_1^*$ ) de ( $SN_2$ ), y posteriormente se procedió a dividir entre el coeficiente de capa y drenaje de la base ( $a_2 \times m_2$ ) para determinar el espesor ( $D_2$ ), dicho espesor calculado se

verifica que cumpla con el espesor mínimo correspondiente a la capa y el tránsito establecido en la Tabla 19. De cumplir esta condición se redondea ( $D_2$ ) a la  $\frac{1}{2}$  pulgada siguiente, de lo contrario se asigna el espesor mínimo que corresponda. Una vez definido el espesor ( $D_2^*$ ), este debe multiplicarse por el producto de coeficientes ( $a_2 \times m_2$ ) para el cálculo de un ( $SN_2^*$ ) definitivo.

- Se calculó el número estructural requerido de la capa de subrasante ( $SN_3$ ), el cual tiene el mismo valor que el (SN) calculado al inicio, por lo que el espesor de la subbase ( $D_3$ ) se calculó restando ( $SN_1^* + SN_2^*$ ) de ( $SN_3$ ) y posteriormente dividiendo el resultado por el producto de los coeficientes de capa y drenaje de la subbase ( $a_3 \times m_3$ ), el espesor ( $D_3$ ) se redondea a la  $\frac{1}{2}$  pulgada obteniéndose un nuevo espesor ( $D_3^*$ ) para luego multiplicarse por el producto de coeficientes ( $a_3 \times m_3$ ) y obtener un ( $SN_3^*$ )

- El valor obtenido de la sumatoria de los números estructurales calculados como el de la base ( $SN_1^*$ ), subbase ( $SN_2^*$ ) y subrasante ( $SN_3^*$ ) debe ser igual a mayor que el (SN) requerido por las condiciones iniciales de diseño, de cumplirse la condición antes mencionada, se da por concluido la etapa de diseño.

### ***3.9.2 Procedimientos para conocer los efectos de adición de emulsión asfáltica a la subrasante en proporciones de 4%, 6% y 8%.***

Para determinar los efectos de la adición de emulsión asfáltica en la subrasante con las proporciones antes señaladas, se utilizaron los siguientes ensayos de laboratorio: el ensayo de Proctor modificado cumpliendo con lo establecido en su procedimiento indicado en el ítem 3.9.1.6; y CBR laboratorio, cuya secuencia para su realización se describe en el ítem 3.9.1.7.

### ***3.9.3 Procedimientos para determinar el porcentaje de emulsión asfáltica a usar en la estabilización de la subrasante para optimizar el espesor de pavimento.***

Una vez conocidos los efectos de adición de emulsión asfáltica en las proporciones 4%, 6% y 8%, se procedió a comparar los resultados de índice CBR, buscando elegir el porcentaje de adición que aumenta en mayor cantidad este parámetro de resistencia al corte. Bajo esta premisa, el porcentaje de adición de emulsión asfáltica elegido para optimizar el espesor de pavimento es de 8% en peso de la muestra representativa.

### ***3.9.4 Procedimientos para diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a subrasante estabilizada con emulsión asfáltica.***

Finalmente determinado el porcentaje de emulsión asfáltica según el criterio señalado en el ítem 3.9.3, se realizó el diseño de pavimento flexible mediante los pasos establecidos en el ítem 3.9.1.8.

## **3.10 Métodos de Análisis de Datos**

La presente investigación posee como se mencionó anteriormente, un enfoque cuantitativo, esto es, que posee un conjunto de procesos secuenciales que sirven para analizar una realidad objetiva, estableciendo una hipótesis que se debe comprobar mediante el uso de recolección de datos, para luego usar la estadística y procesar los datos con la finalidad de probar dicha hipótesis planteada.

En este caso se hará uso de la Estadística Descriptiva para el procesamiento de los datos, los cuales luego de ser recolectados fueron procesados para su posterior análisis e interpretación, haciendo uso de tablas, gráficas y textos.

### **3.10.1 Instrumentos de análisis de datos**

Los datos fueron analizados haciendo uso del software Microsoft Excel, el cual permitió utilizar hojas de cálculo, realizar tablas y gráficas, tanto del tipo comparativo como del tipo informativo.

La hipótesis de la presente consistía en la suposición de que una subrasante estabilizada con emulsión asfáltica optimiza el espesor del pavimento. En la búsqueda de corroborar dicha hipótesis, se buscó comparar el diseño de pavimento flexible del terreno natural con el diseño del pavimento flexible con una subrasante que contenga emulsión asfáltica, para esto los datos obtenidos de los ensayos tales como: granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, fueron analizados mediante tablas y gráficas, que permitieron realizar el diseño de pavimento mediante la metodología AASHTO. Siendo que al final, haciendo uso de una comparativa mediante gráficas de espesores de pavimento, se pudo corroborar la hipótesis planteada.

CAPÍTULO IV.  
RESULTADOS Y  
DISCUSIÓN

## 4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El presente capítulo presenta los resultados conseguidos por medio de los ensayos de laboratorio, realizados a las muestras del suelo en su estado natural perteneciente al centro poblado San Luis, así como los ensayos aplicados a la combinación de suelo y emulsión asfáltica.

### *4.1.1 Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a las características físicas y mecánicas del terreno natural.*

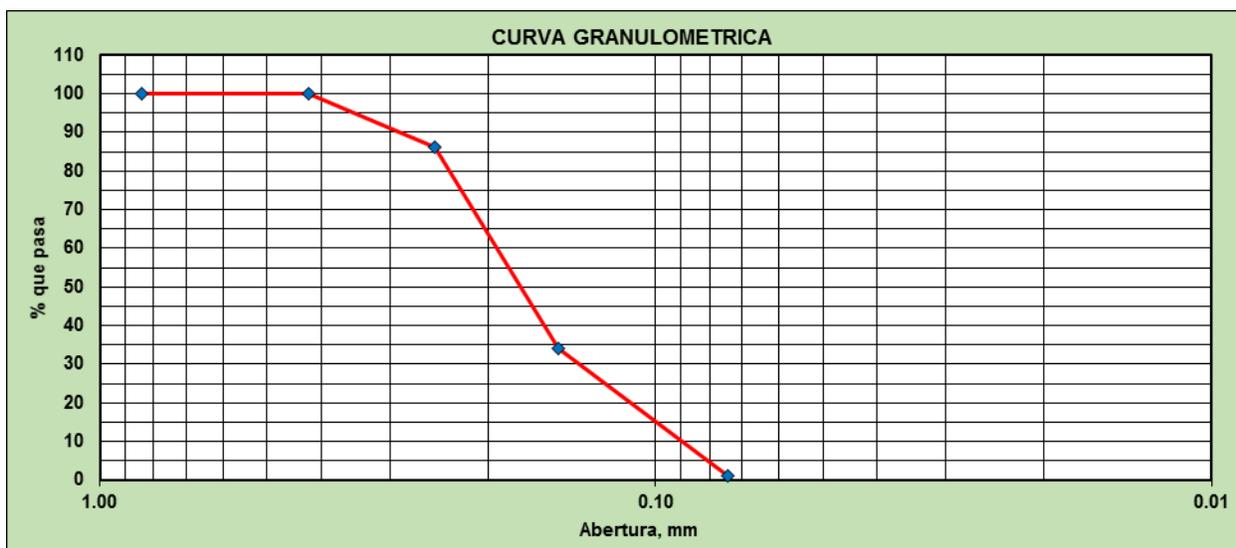
#### 4.1.1.1 Ensayos de Caracterización física

##### 4.1.1.1.1 Análisis Granulométrico de suelos por tamizado

Se hizo bajo los lineamientos de la norma MTC E 107. Los resultados se presentan a continuación:

**Figura 26**

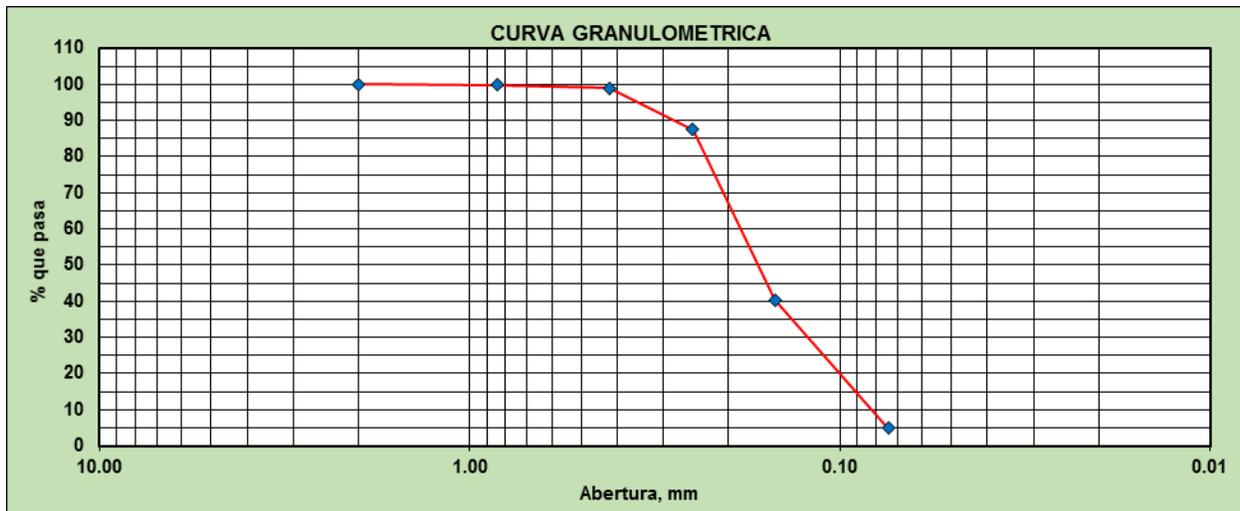
*Granulometría Calicata C-01*



*Nota.* En la figura 26 se muestra la curva granulométrica perteneciente a la calicata C-01, compuesta por 0.00% de grava, 98.91% de arena y 1.09% de finos. Además tuvo un Cu de 2.11 y un Cc de 1.05.

**Figura 27**

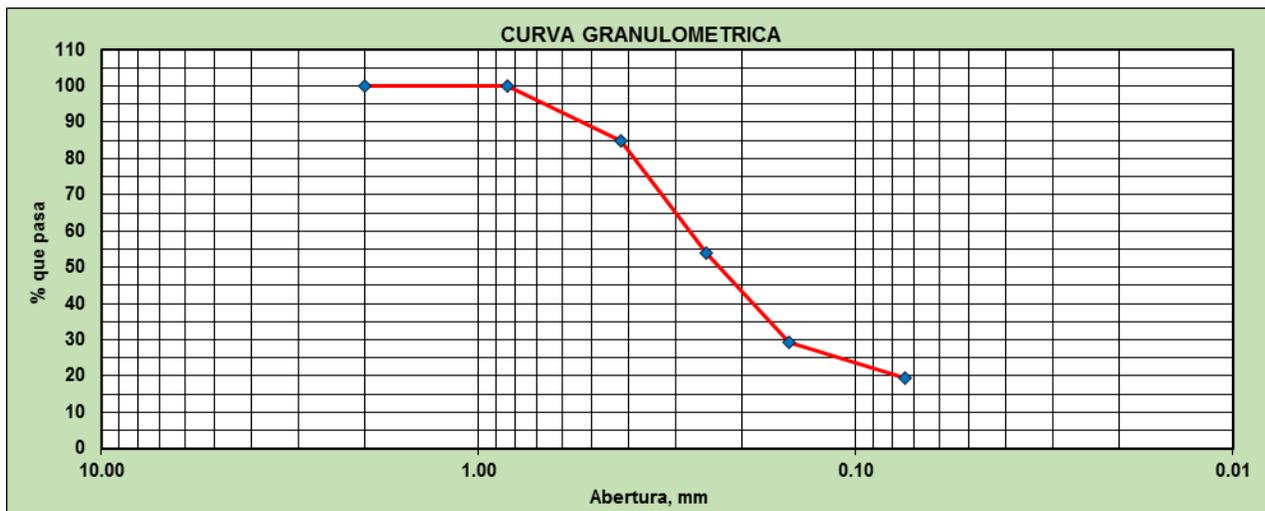
*Granulometría Calicata C-02*



*Nota.* Se tiene la curva granulométrica del suelo de C-02, presentó 0.00% de grava, 95.06% de arena y 4.94% de finos. Tuvo un Cu de 2.26 y un Cc de 1.00.

**Figura 28**

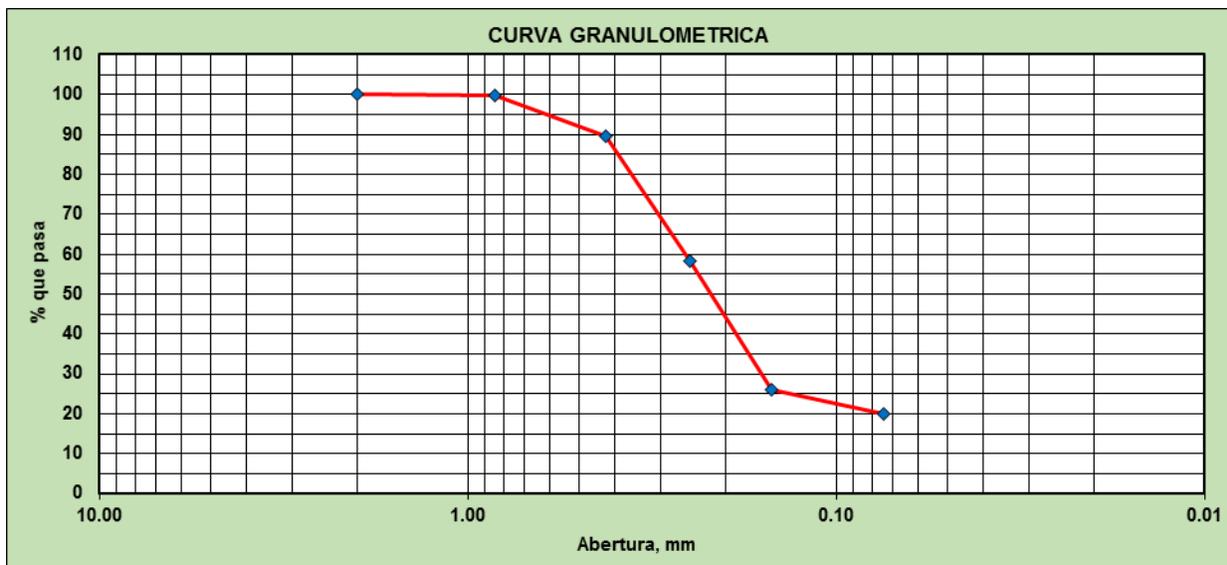
*Granulometría Calicata C-03*



*Nota.* En la figura 28 se muestra la curva granulométrica perteneciente a la calicata C-03, conformada por: 0.00 % grava, 80.44 % arena y 19.56 % finos.

**Figura 29**

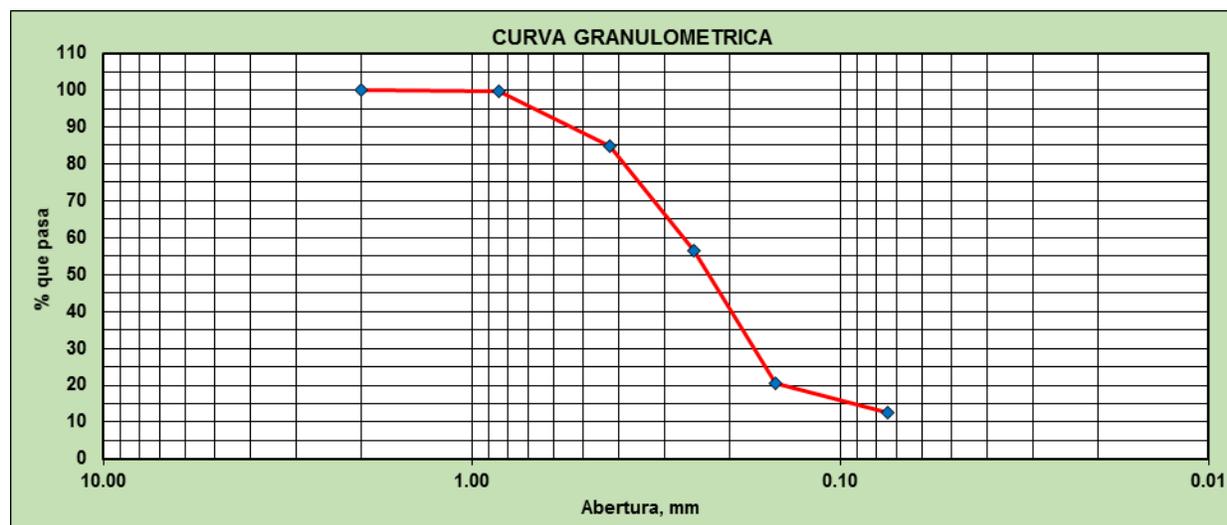
*Granulometría Calicata C-04*



*Nota.* En la figura 29 se tiene la curva granulométrica del suelo perteneciente a la calicata C-04, conformado por: 0.00 % de grava, 80.08 % de arena y 19.92 % de finos.

**Figura 30**

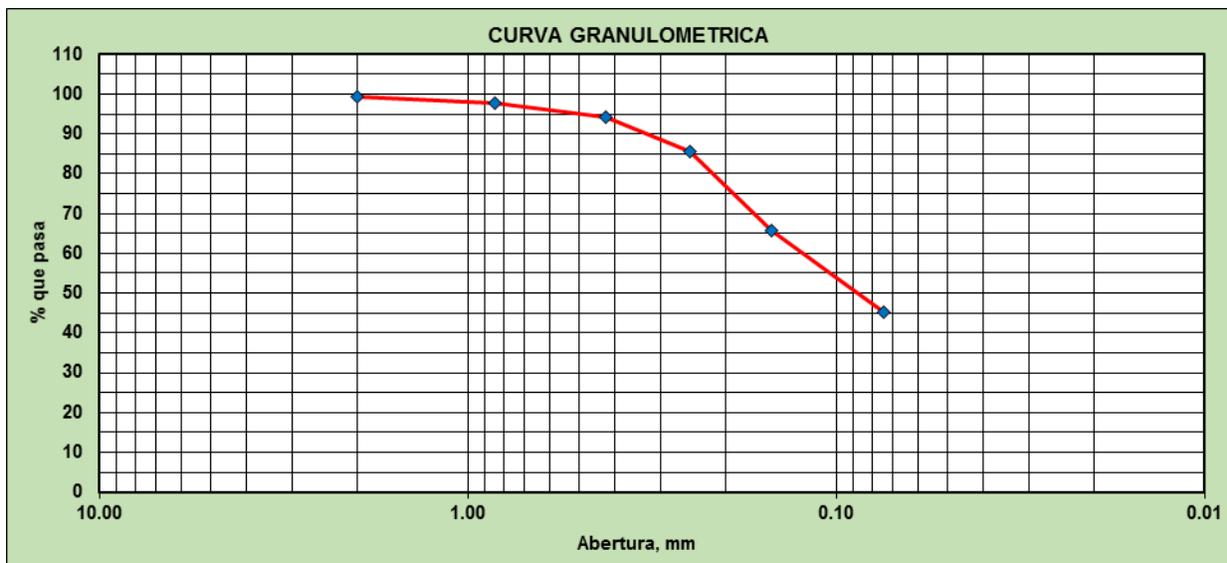
*Granulometría Calicata C-05*



*Nota.* En la figura 30 se muestra la curva granulométrica perteneciente a la calicata N° 5, cuya conformación fue: 0.00 % de grava, 87.33 % de arena y 12.67 % de finos.

**Figura 31**

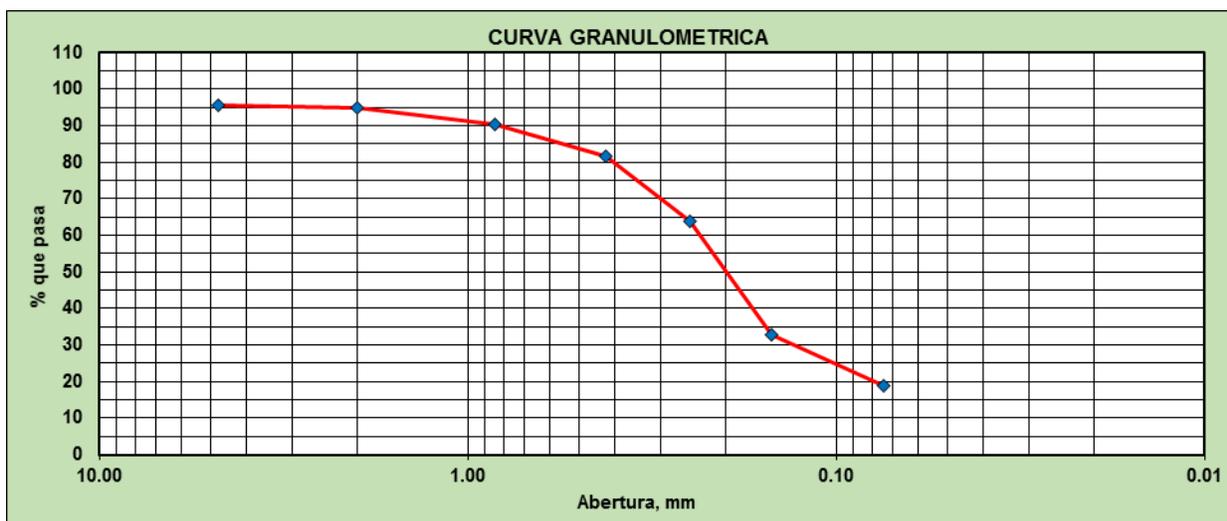
*Granulometría Calicata C-06*



*Nota.* Se tiene la gráfica granulométrica perteneciente a la C-06, cuya conformación fue: 0.00 % de grava, 54.78 % de arena y 45.22 % en finos.

**Figura 32**

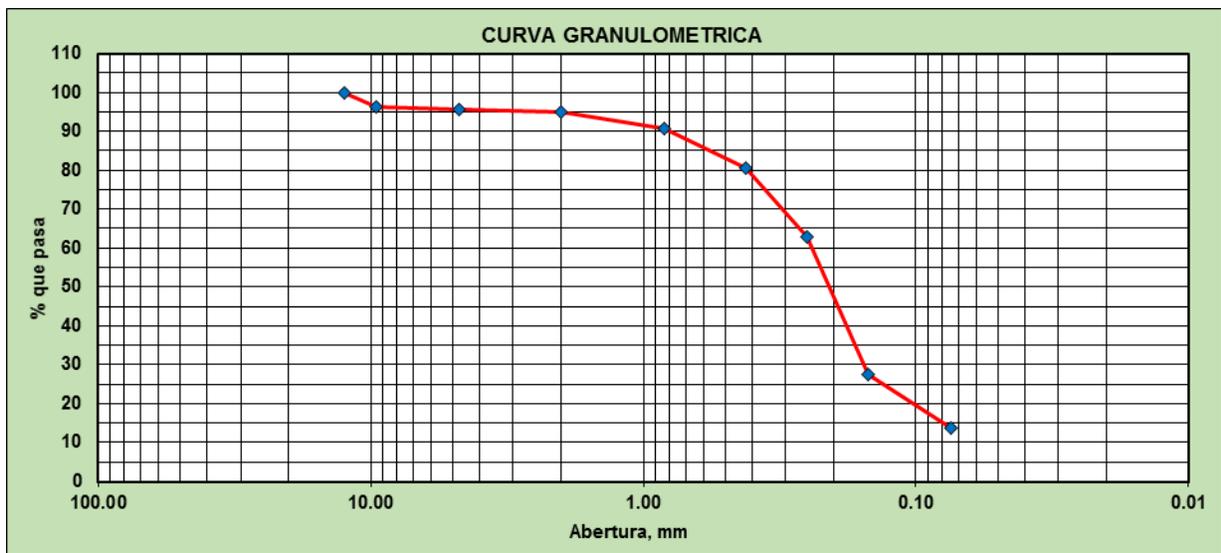
*Granulometría Calicata C-07*



*Nota.* El suelo referente a la calicata C-07 estuvo conformado por: 4.40 % de grava, 76.58 % de arena y 19.02 % de finos.

**Figura 33**

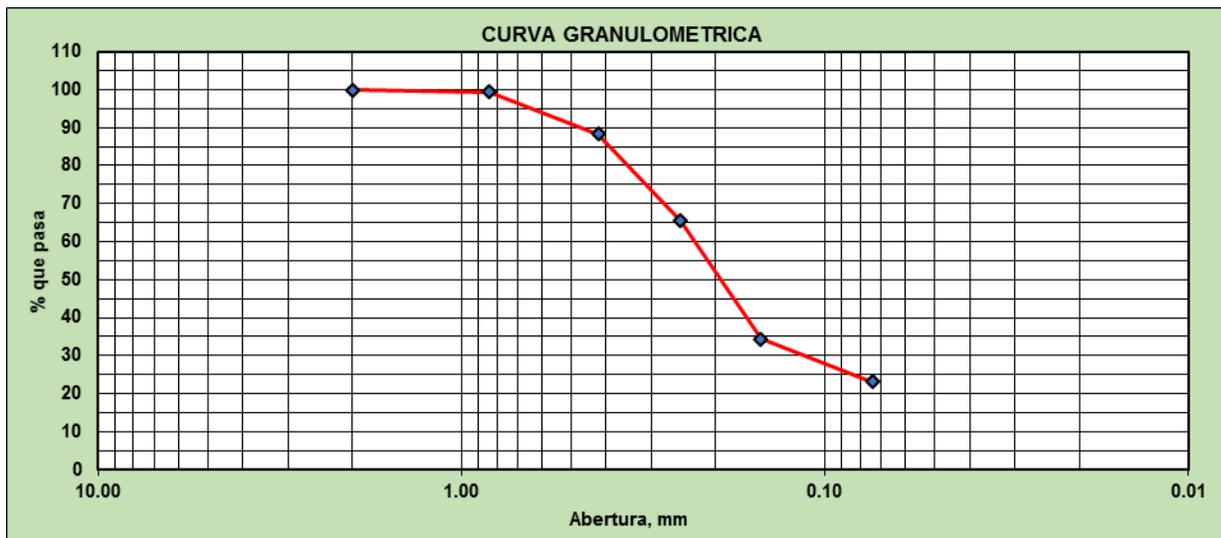
*Granulometría Calicata N°8*



*Nota.* Se tiene la gráfica granulométrica del suelo perteneciente a la calicata C-08, cuya conformación fue: 4.36 % de grava, 81.96 % de arena y 13.68 % de finos.

**Figura 34**

*Granulometría Calicata C-09*



*Nota.* El suelo referente a la calicata C-09 estuvo conformado por: 0.00 % de grava, 76.87% de arena y 23.13 % de finos.

#### ***4.1.1.1.2 Determinación del contenido de humedad de un suelo***

Se realizó bajo los lineamientos de la norma MTC E 108. Los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 20**

*Contenido de humedad promedio*

Calicata	Contenido de Humedad (%)
C-01	18.27
C-02	15.95
C-03	17.89
C-04	14.56
C-05	16.38
C-06	17.60
C-07	14.36
C-08	15.58
C-09	17.44

#### ***4.1.1.1.3 Límites de consistencia***

Se determinó el L.L, L.P e I.P. según los ensayos normados en MTC E110 y E111.

En la tabla 21 se exponen los resultados conseguidos:

**Tabla 21**
*Límites de Atterberg e índice de plasticidad del suelo*

Calicata	L.L. (%)	L.P. (%)	I.P
C-01	N.P	N.P	N.P
C-02	N.P	N.P	N.P
C-03	15.29	N.P	N.P
C-04	15.72	N.P	N.P
C-05	N.P	N.P	N.P
C-06	21.25	N.P	N.P
C-07	16.77	N.P	N.P
C-08	N.P	N.P	N.P
C-09	17.04	N.P	N.P

*Nota.* Cuando no es posible determinar alguno de los límites de Atterberg, el I.P. se cataloga como N.P. (No Plástico).

#### **4.1.1.2 Clasificación de suelos**

Conociendo los resultados de la granulometría y los límites de consistencia previamente determinados, se realizó la clasificación de suelos de cada calicata mediante los parámetros establecidos por el SUCS y el sistema AASHTO.

En la tabla 22 se muestra la denominación de cada calicata bajo cada uno de los sistemas, además de una pequeña descripción sobre la calidad que posee.

**Tabla 22**

*Resumen de Clasificación de Suelos*

CALICATA	SUCS		AASHTO	
	GRUPO	DESCRIPCIÓN	GRUPO	DESCRIPCIÓN
C-01	SP	Arena mal graduada	A-3(0)	Arena Fina - Excelente a Bueno
C-02	SP	Arena mal graduada	A-3(0)	Arena Fina - Excelente a Bueno
C-03	SM	Arena limosa	A-2-4(0)	Arena Limosa - Excelente a Bueno
C-04	SM	Arena limosa	A-2-4(0)	Arena Limosa - Excelente a Bueno
C-05	SM	Arena limosa	A-2-4(0)	Arena Fina - Excelente a Bueno
C-06	SM	Arena limosa	A-4(0)	Arena Limosa - Regular a Insuficiente
C-07	SM	Arena limosa	A-2-4(0)	Arena Fina - Excelente a Bueno
C-08	SM	Arena limosa	A-2-4(0)	Arena Fina - Excelente a Bueno
C-09	SM	Arena limosa	A-2-4(0)	Arena Limosa - Excelente a Bueno

Mediante la realización de la clasificación del suelo de cada una de las calicatas, se logró determinar las 3 más desfavorables: C-03, C-06 y C-09, las cuales serán las únicas que serán objeto de estudio para los posteriores ensayos.

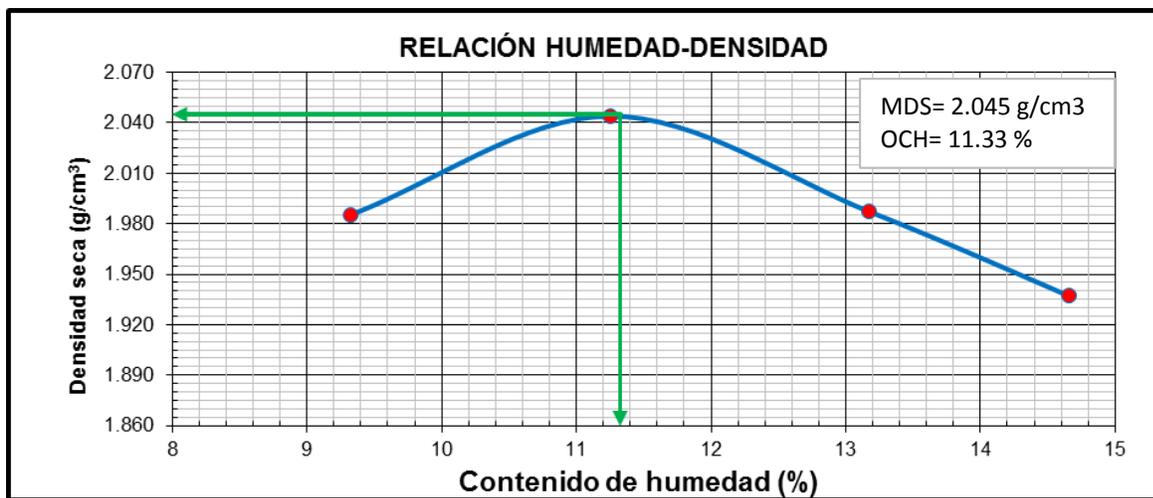
**4.1.1.3 Ensayos de caracterización mecánica**

**4.1.1.3.1 Compactación de suelos en laboratorio (Proctor Modificado)**

Se realizaron los ensayos según los lineamientos que estipula la norma MTC E117 con el objetivo de determinar el óptimo contenido de humedad de cada calicata, que les permite alcanzar la MDS bajo condiciones de compactación controladas. Las calicatas en cuestión fueron las más desfavorables mencionadas anteriormente. Los resultados se presentan a continuación:

**Figura 35**

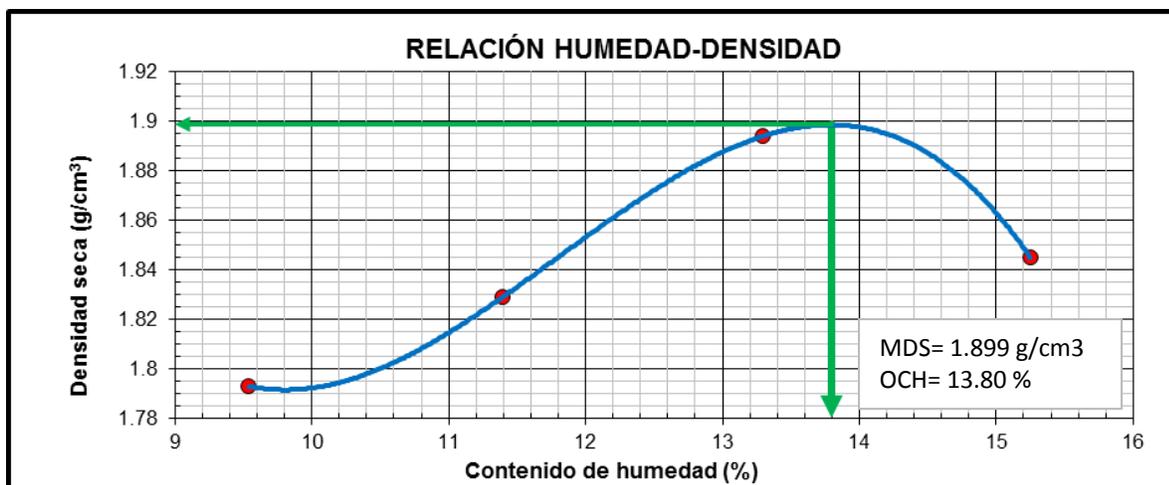
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-03*



La C-03 fue la calicata más desfavorable de las tres que se realizaron dentro de una de las subdivisiones de la zona, por esto se le consideró como la muestra patrón correspondiente a la subdivisión denominada Centro Poblado, de la localidad de San Luis.

**Figura 36**

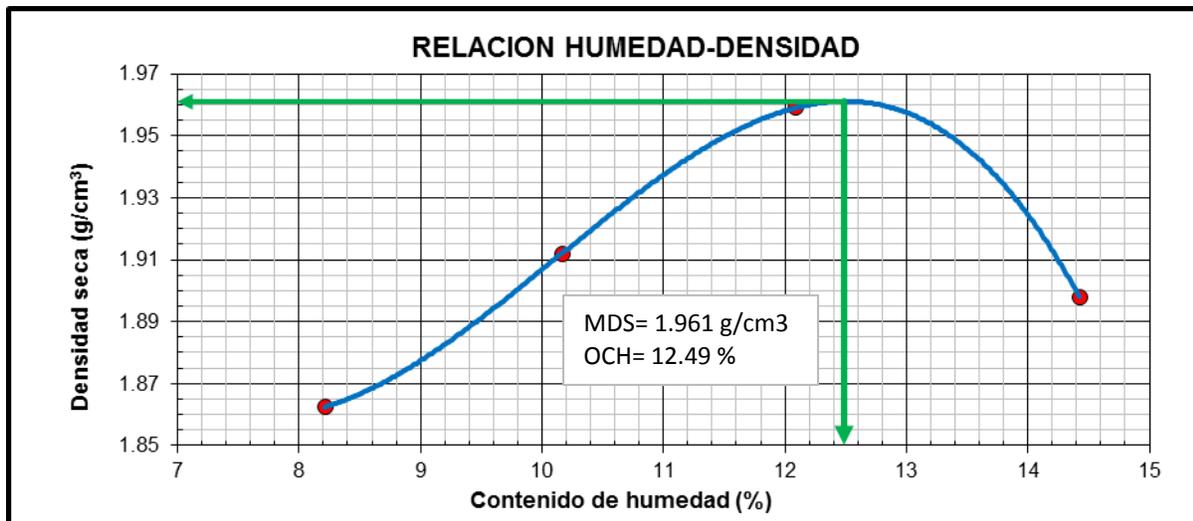
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-06*



La C-06 fue la calicata más desfavorable de las tres que se hicieron en una de las vías de acceso al Centro Poblado, esta subdivisión fue denominada como Tramo 2.

**Figura 37**

*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-09*



La C-09 fue la calicata más desfavorable de las tres que se realizaron en la otra vía de acceso a la zona, por esto se le consideró como la muestra patrón correspondiente a la subdivisión denominada Tramo 1.

En la tabla 23 se muestran los datos obtenidos de los ensayos de compactación usando energía modificada a cada una de las tres calicatas patrón, correspondientes a cada una de las subdivisiones que se realizaron para un estudio detallado con el fin de optimizar el espesor de pavimento en dicha zona.

Es importante señalar que el enfoque de la presente consistió en subdividir la zona de estudio en tres partes: *Centro Poblado*, lugar donde habitan los pobladores, *Tramo 2* y *Tramo 1*, siendo estos las dos vías de acceso principal hacia la zona. Fueron ordenados de esta forma según la numeración que se le otorgó a las 9 calicatas realizadas en total. Bajo esta condición, se infiere como ejemplo que en la subdivisión *Centro Poblado* se realizaron las siguientes calicatas: C-01, C-02 y C-03; mientras que en *Tramo 2*, las C-04, C-05 y C-06.

**Tabla 23**

*Resultados del Proctor Modificado*

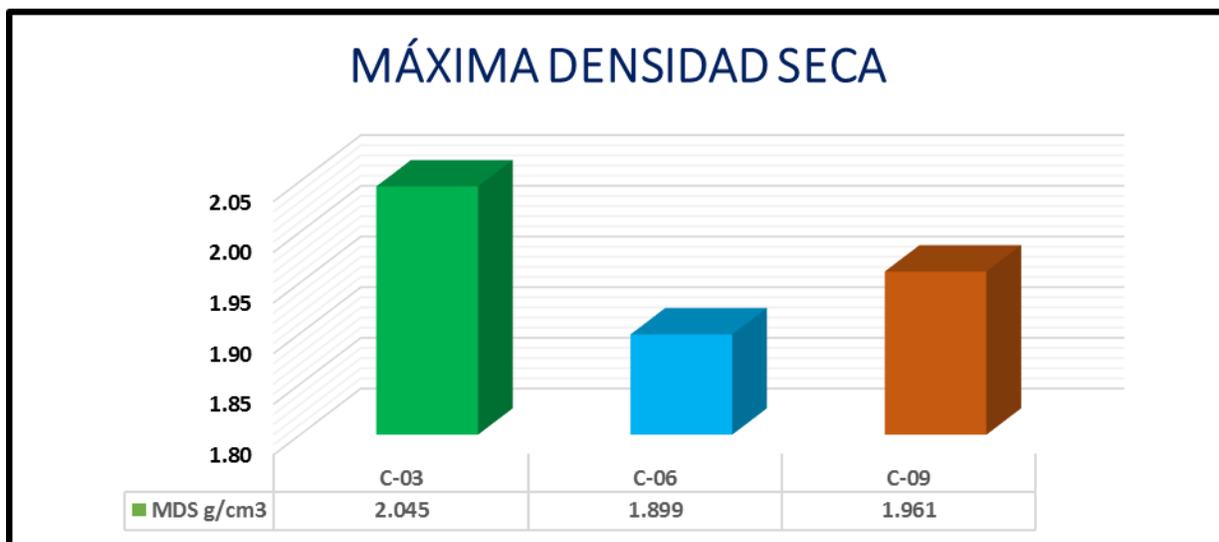
CALICATA	PROCTOR MODIFICADO	
	O.C.H (%)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )
C-03	11.33	2.045
C-06	13.80	1.899
C-09	12.49	1.961

Las tres muestras patrón según la tabla 22 poseen la misma clasificación SUCS, sin embargo este hecho no indica que los valores obtenidos en este ensayo deban ser iguales, puesto que existen otros parámetros a considerar en los suelos que pertenecen a un mismo grupo.

En la figuras 38 y 39 se exponen unos gráficos comparativos de dos valores que se obtienen luego de efectuar el ensayo de compactación en las calicatas patrón.

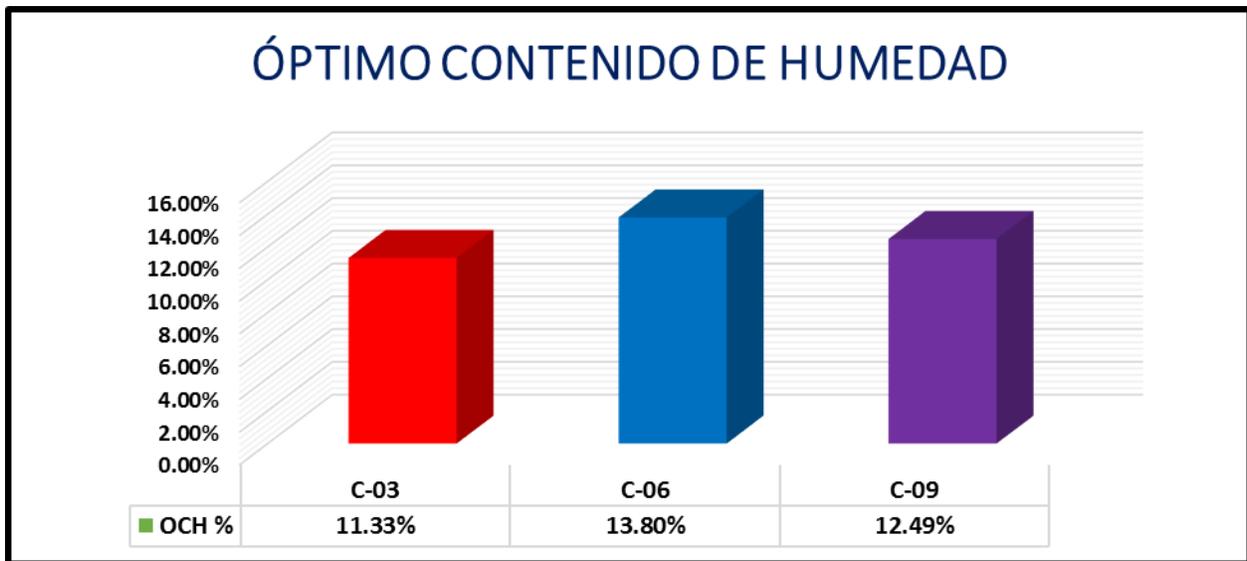
**Figura 38**

*Gráfico comparativo de la máxima densidad seca*



**Figura 39**

*Gráfico comparativo del óptimo contenido de humedad*



De la tabla 23, que contiene los resultados del ensayo de compactación para las calicatas desfavorables, se tiene que para la C-03 la MDS posee un valor de 2.045 g/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad de 11.33%. Mientras por el contrario, la menor densidad seca la posee C-06 con un valor de 1.899 g/cm<sup>3</sup> con un OCH de 13.80%. Por lo cual, notamos que cuando el valor de humedad óptima necesaria aumenta, disminuye el valor de la MDS, si es que se comparan suelos clasificados dentro de una misma categoría.

De acuerdo a la tabla 22 donde se indican las clasificaciones de suelo de las calicatas realizadas, la C-03 es una arena limosa (SM) al igual que la C-06 según SUCS, sin embargo su comportamiento mecánico en el ensayo Proctor puede ser evidenciado si se analiza la clasificación AASHTO, donde la C-03 pertenece al grupo A-2-4 y la C-06 al grupo A-4, pudiendo así notar que la C-06 presenta un material de peor calidad en comparación a la C-03, justificando así el hecho de alcanzar valores menores de densidad seca a comparación de las otras muestras patrón.

#### 4.1.1.3.2 CBR Laboratorio

Luego de obtener los resultados de MDS y OCH para las muestras pertenecientes a las calicatas patrón mediante el ensayo de Proctor Modificado, se procedió realizar el ensayo CBR, con el fin de calcular el índice de resistencia de cada una de las muestras en estudio.

El procedimiento para este ensayo se realizó según los lineamientos que estipula la norma MTC E132.

**Tabla 24**

*Resultados del ensayo CBR de las muestras patrón*

CALICATA	CBR 0.1" (%)	
	AL 95% DE M.D.S	AL 100% DE M.D.S
C-03	13.66	22.94
C-06	12.53	18.58
C-09	10.17	17.83

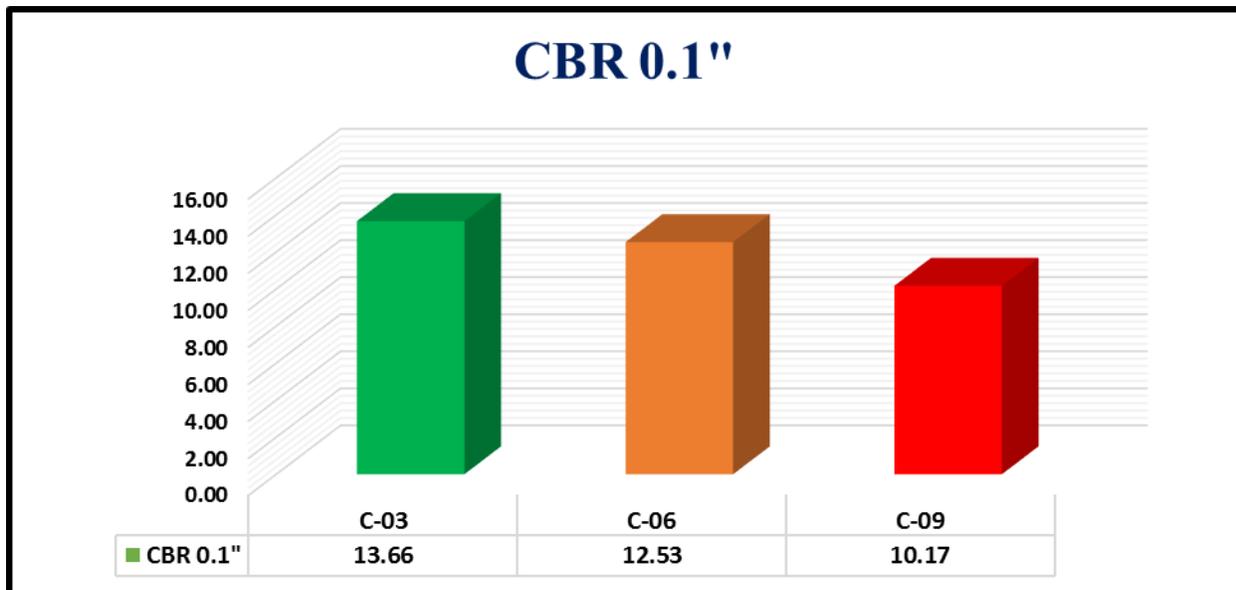
*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio “GEOMG S.A.C”, agosto del 2022.

En la tabla 24 se observa los resultados de CBR, para un 95% y 100% de la MDS a una profundidad de 0.1”, de estos valores podemos concluir que la calicata C-09 posee el valor CBR más bajo, por ende es la más desfavorable de todas las realizadas para esta investigación.

En la figura 40 se presenta una gráfica comparativa del índice CBR de las muestras de terreno natural de cada una de las calicatas patrón, a una penetración de 0.1”.

**Figura 40**

*Grafica comparativa de CBR a 0.1” – Suelo natural*



*Nota.* Valores de índice CBR a un 95% de M.D.S.

Los valores de CBR al 95% de M.D.S correspondiente a una penetración de 0.1” que se muestran en la figura 40, se tomaron como dato para calcular el Mr de la subrasante, valor fundamental durante el diseño del pavimento por medio del método AASHTO.

La C-03 posee un mayor CBR, debido a su mejor distribución en sus partículas, equilibrados porcentajes entre su contenido de arena y de fracción fina, así como también sus propiedades de consistencia.

Estos valores en concordancia a la tabla 5, que indica la calidad de subrasante en función del CBR, señala que C-03, C-06 y C-09 se colocan dentro de la categoría de subrasante regular a bueno.

#### 4.1.1.4 Diseño de pavimento flexible – Método AASHTO 1993

##### 4.1.1.4.1 Diseño de pavimento flexible – Centro Poblado

##### 4.1.1.4.1.1 Parámetros de diseño

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 25, necesarios para realizar el diseño de la estructura del pavimento mediante el método AASHTO.

**Tabla 25**

*Parámetros de diseño para pavimento flexible - Centro Poblado*

Parámetros de diseño	
Periodo de diseño	20 años
Numero de cargas 18,000 lb (w18)	486,437.068
Confiabilidad (R)	75.00%
Desviación estándar normal (Zr)	-0.674
Desviación estándar combinada (So)	0.45
Serviciabilidad inicial (Po)	3.80
Serviciabilidad final (Pt)	2.00
Perdida de Servicios (ΔPSI)	1.80
Módulo elástico del concreto asfáltico (EAC)	430,000.00
Coefficiente de capa del concreto asfáltico (a1)	0.432
Módulo de la base granular (Mr)	28,300.00
Coefficiente de capa de la base granular (a2)	0.132
Coefficiente de drenaje de la base granular (m2)	1.00
Módulo de la subbase granular (Mr)	17,200.00
Coefficiente de capa de la subbase granular (a3)	0.120
Coefficiente de drenaje de la subbase granular (m3)	1.00

#### 4.1.1.4.1.2 Módulo de resiliencia de la subrasante

Se calculó el módulo de resiliencia de acuerdo a la formula brindada por la metodología usada, cuyo valor se calculó a partir de los resultados de CBR. El resultado se presenta en la tabla 26.

**Tabla 26**

*Módulo de resiliencia – Centro Poblado*

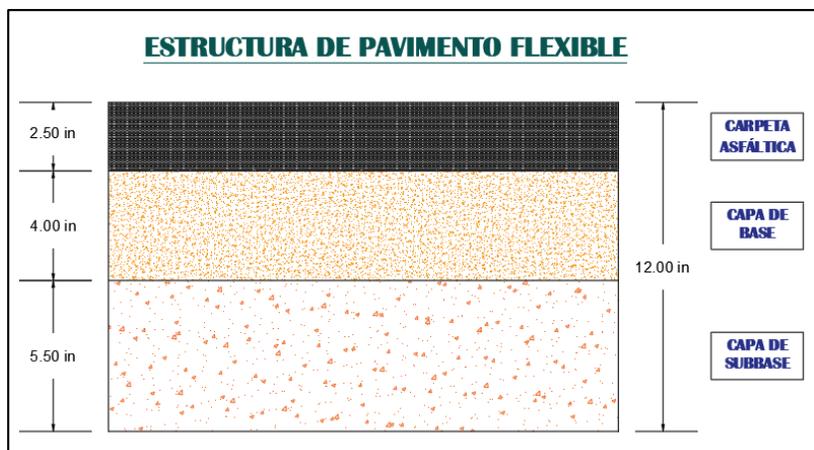
Material de la subrasante	Mr (psi)
C-03	13,616.935

#### 4.1.1.4.1.3 Determinación de los espesores de las capa de pavimento

En la figura 41 se tiene la estructura del pavimento flexible correspondiente a la muestra C-03 en su estado natural, la cual presenta un espesor total de 12.00 pulgadas, conformada por los espesores de 2.50, 4.00 y 5.50 pulgadas pertenecientes a las capas de carpeta asfáltica, base y subbase respectivamente.

**Figura 41**

*Distribución de la estructura de pavimento flexible para C-03*



#### 4.1.1.4.2 Diseño de pavimento flexible – Tramo 2

##### 4.1.1.4.2.1 Parámetros de diseño

Los datos de entrada se presentan en la tabla 27, necesarios para realizar el diseño estructural mediante la metodología AASHTO.

**Tabla 27**

*Parámetros de diseño para pavimento flexible - Tramo 2*

Parámetros de diseño	
Periodo de diseño	20 años
Numero de cargas 18,000 lb (w18)	1'421,769.964
Confiabilidad (R)	85.00%
Desviación estándar normal (Zr)	-1.036
Desviación estándar combinada (So)	0.45
Serviciabilidad inicial (Po)	4.00
Serviciabilidad final (Pt)	2.50
Perdida de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)	1.50
Módulo elástico del concreto asfaltico (EAC)	430,000.00
Coefficiente de capa del concreto asfaltico (a1)	0.432
Módulo de la base granular (Mr)	28,300.00
Coefficiente de capa de la base granular (a2)	0.132
Coefficiente de drenaje de la base granular (m2)	1.00
Módulo de la subbase granular (Mr)	17,200.00
Coefficiente de capa de la subbase granular (a3)	0.120
Coefficiente de drenaje de la subbase granular (m3)	1.00

#### 4.1.1.4.2.2 Módulo de resiliencia de la subrasante

Se calculó el Mr de acuerdo a la formula brindada por la metodología, cuyo valor se calculó a partir del CBR. El resultado se presenta en la tabla siguiente.

**Tabla 28**

*Módulo de resiliencia – Tramo 2*

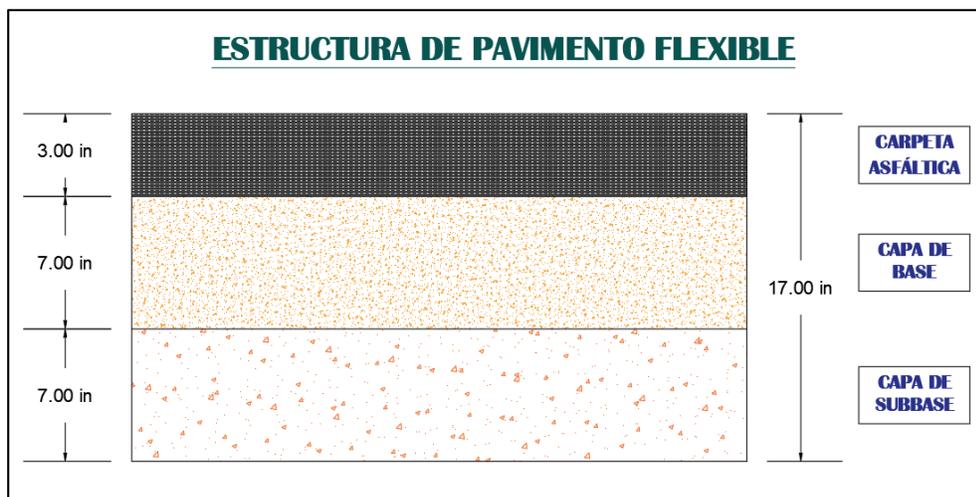
Material de la subrasante	Mr (psi)
C-06	12,884.857

#### 4.1.1.4.2.3 Determinación de los espesores de las capa de pavimento

En la figura 42 se muestra la sección del pavimento flexible correspondiente a la muestra C-06 en su estado natural, la cual presenta un espesor total de 17.00 pulgadas, conformada por los espesores de 3.00, 7.00 y 7.00 pulgadas pertenecientes a las capas de carpeta asfáltica, base y subbase respectivamente.

**Figura 42**

*Distribución de la estructura de pavimento flexible para C-06*



#### 4.1.1.4.3 Diseño de pavimento flexible – Tramo 1

##### 4.1.1.4.3.1 Parámetros de diseño

Los resultados obtenidos se brindan en la tabla 29, siendo necesarios para realizar el diseño del pavimento mediante la metodología AASHTO.

**Tabla 29**

*Parámetros de diseño para pavimento flexible - Tramo 1*

Parámetros de diseño	
Periodo de diseño	20 años
Numero de cargas 18,000 lb (w18)	1'840,962.300
Confiabilidad (R)	85.00%
Desviación estándar normal ( $Z_r$ )	-1.036
Desviación estándar combinada ( $S_o$ )	0.45
Serviciabilidad inicial ( $P_o$ )	4.00
Serviciabilidad final ( $P_t$ )	2.50
Perdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )	1.50
Módulo elástico del concreto asfáltico (EAC)	430,000.00
Coefficiente de capa del concreto asfáltico ( $a_1$ )	0.432
Módulo de la base granular ( $M_r$ )	28,300.00
Coefficiente de capa de la base granular ( $a_2$ )	0.132
Coefficiente de drenaje de la base granular ( $m_2$ )	1.00
Módulo de la subbase granular ( $M_r$ )	17,200.00
Coefficiente de capa de la subbase granular ( $a_3$ )	0.120
Coefficiente de drenaje de la subbase granular ( $m_3$ )	1.00

#### 4.1.1.4.3.2 Módulo de resiliencia de la subrasante

Se calculó a partir de los resultados de CBR. El resultado se presenta en la tabla 30.

**Tabla 30**

*Módulo de resiliencia – Tramo 1*

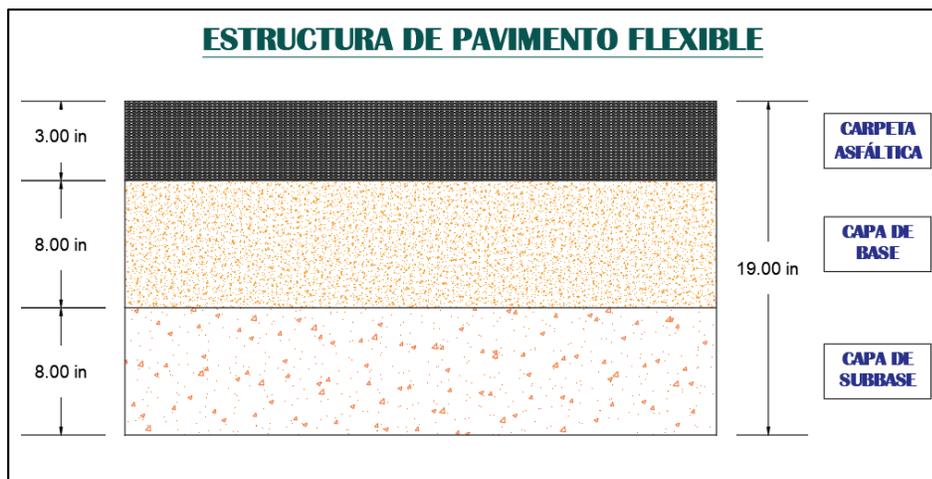
Material de la subrasante	Mr (psi)
C-09	11,273.955

#### 4.1.1.4.3.3 Determinación de los espesores de las capa de pavimento

En la figura 43 se muestra la estructura del pavimento de la muestra C-09 natural, la cual presenta un espesor total de 19.00 pulgadas.

**Figura 43**

*Distribución de la estructura de pavimento flexible para C-09*



#### 4.1.2 Conocer los efectos de adición de emulsión asfáltica a la subrasante en las proporciones de 4%, 6% y 8%.

Se realizaron combinaciones entre el suelo natural extraído de las tres calicatas patrón con emulsión asfáltica. Al material de cada calicata se le adicionó tres dosificaciones: 4%, 6% y 8% en peso de emulsión asfáltica catiónica, con el fin de conocer los efectos de este aditivo en el suelo.

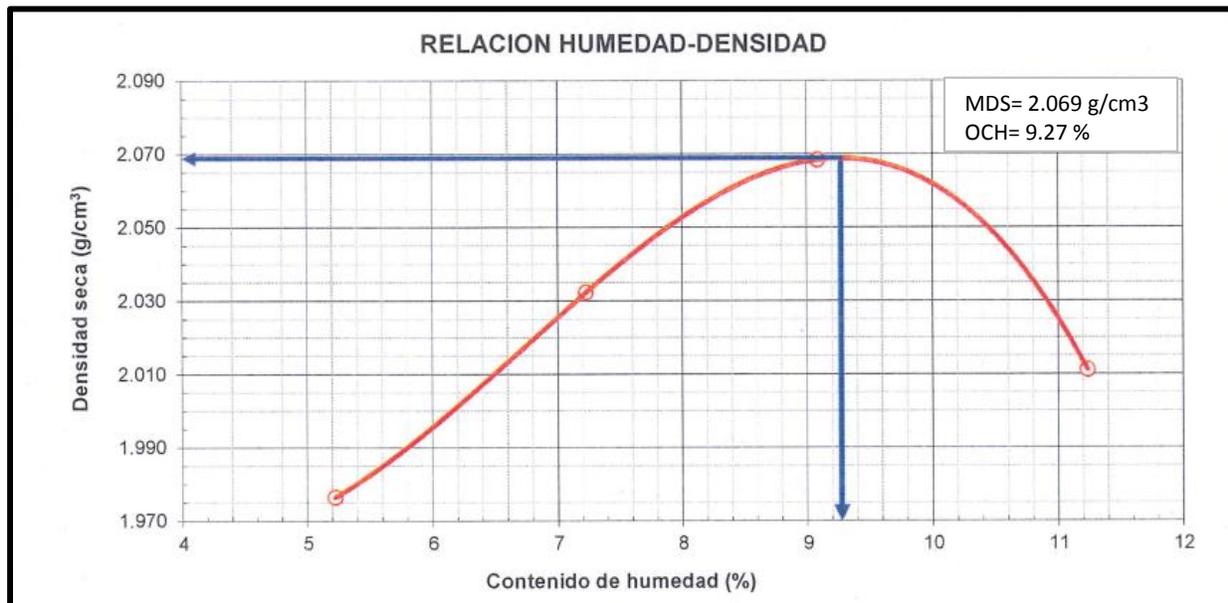
##### 4.1.2.1 Ensayos de Caracterización Mecánica

###### 4.1.2.1.1 Compactación de suelos en laboratorio (Proctor Modificado)

Se realizó los ensayos de compactación del suelo mezclado con emulsión asfáltica en dosificaciones ya estipuladas previamente, utilizando una energía modificada, según los lineamientos que estipula la norma MTC E117. Los resultados se presentan a continuación:

**Figura 44**

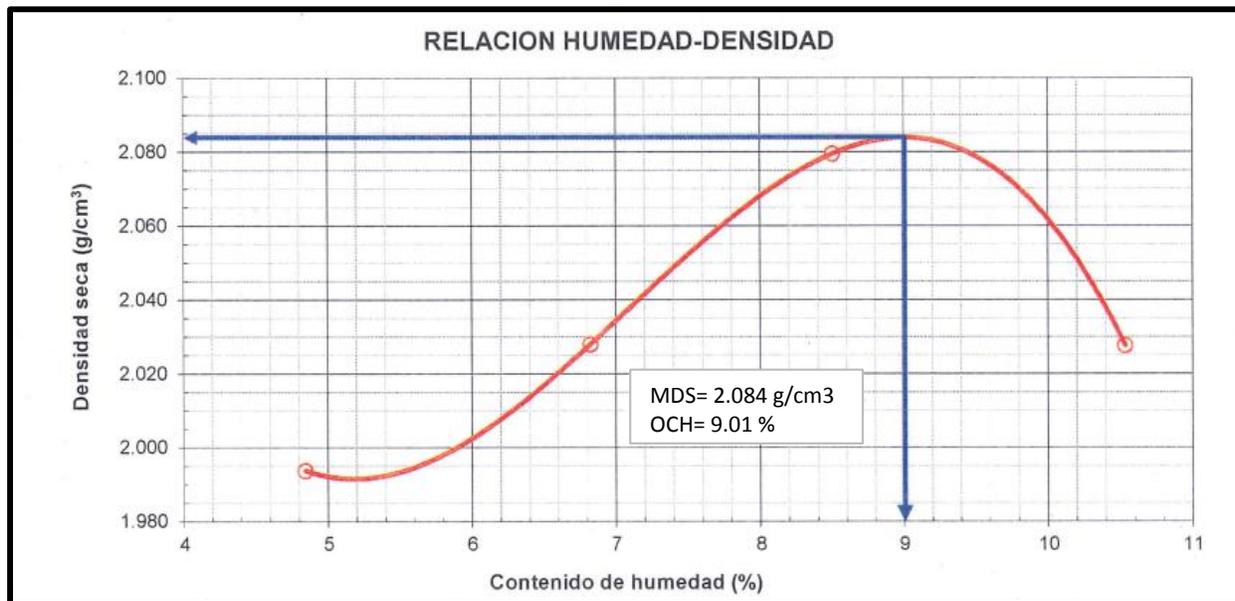
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-03 + 4% de emulsión asfáltica*



*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio GEOMG S.A.C.

**Figura 45**

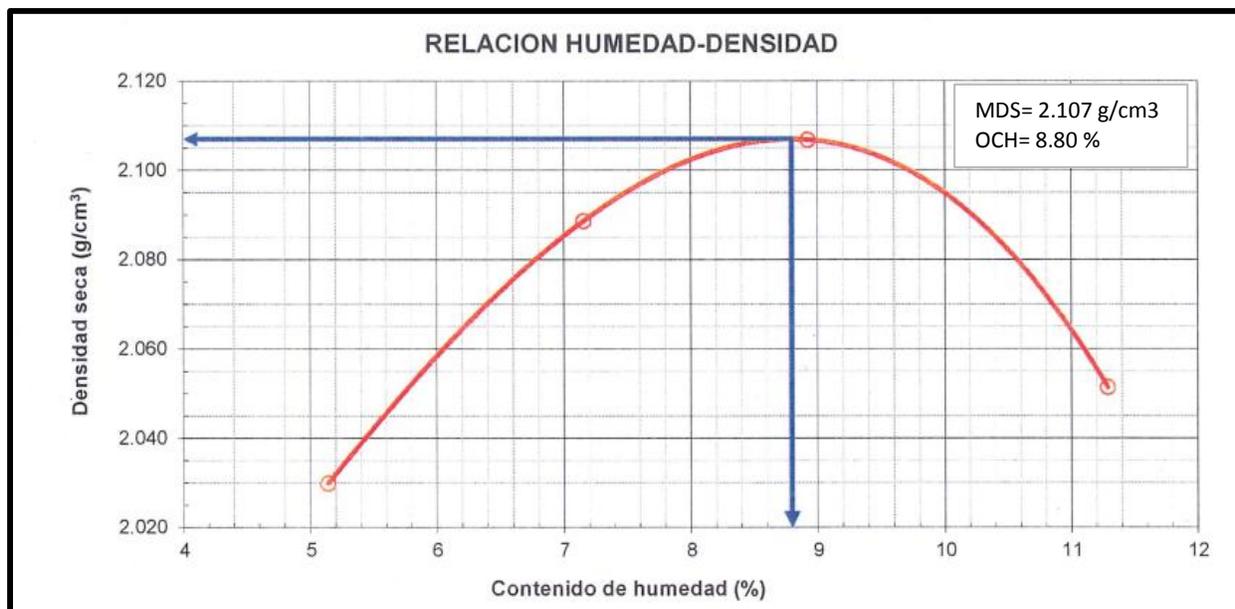
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-03 + 6% de emulsión asfáltica*



*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio GEOMG S.A.C.

**Figura 46**

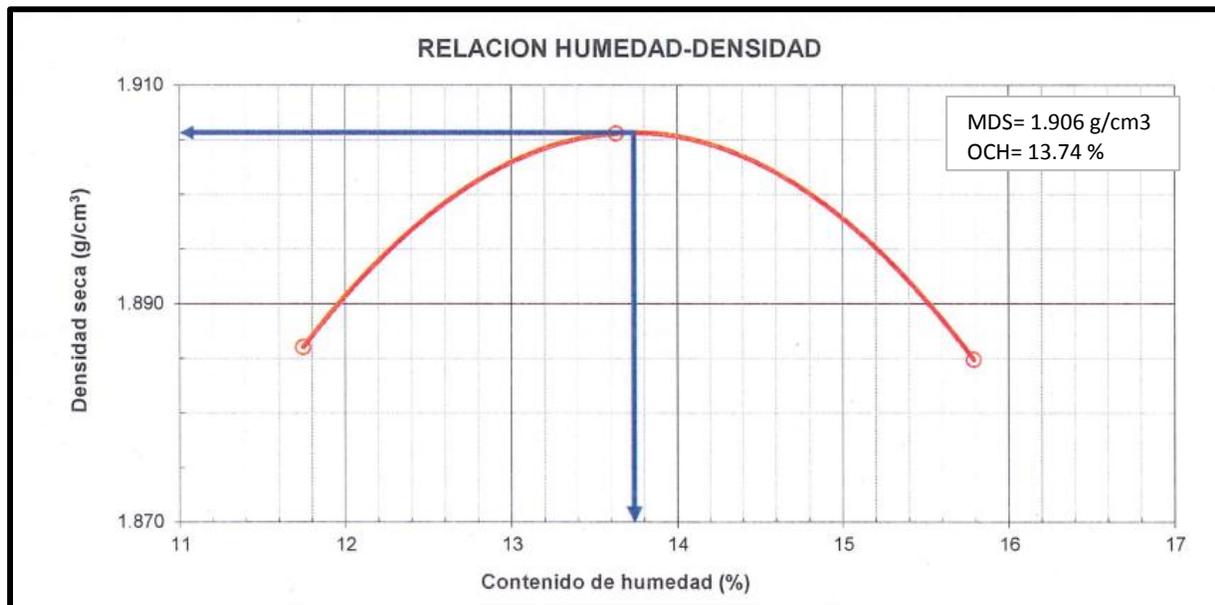
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-03 + 8% de emulsión asfáltica*



*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio GEOMG S.A.C.

**Figura 47**

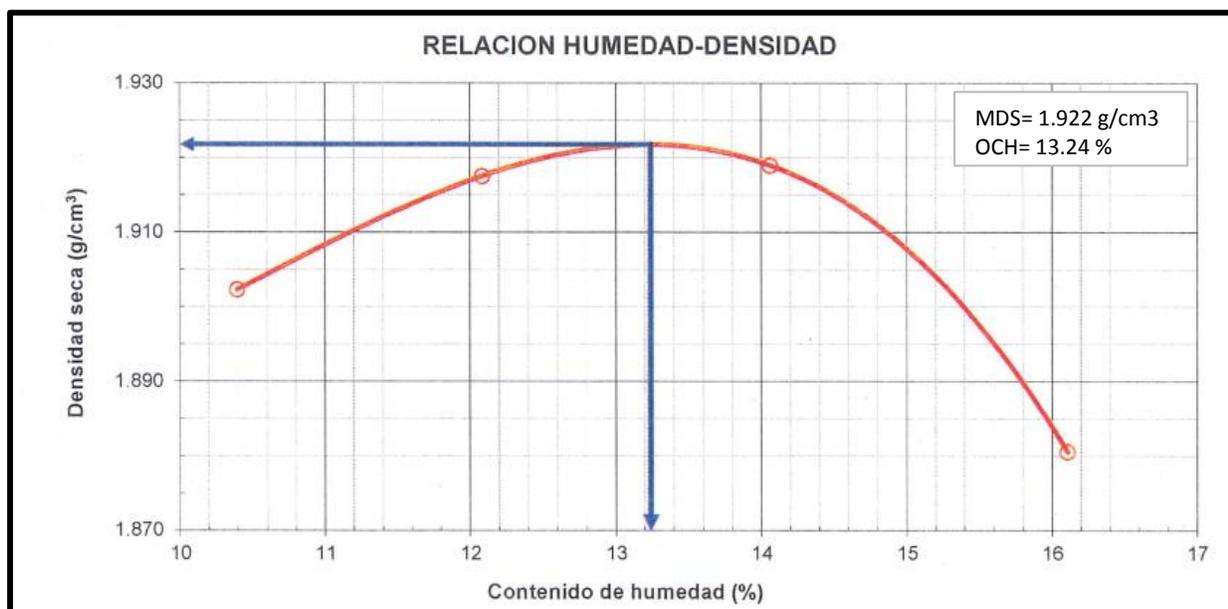
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-06 + 4% de emulsión asfáltica*



*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio GEOMG S.A.C.

**Figura 48**

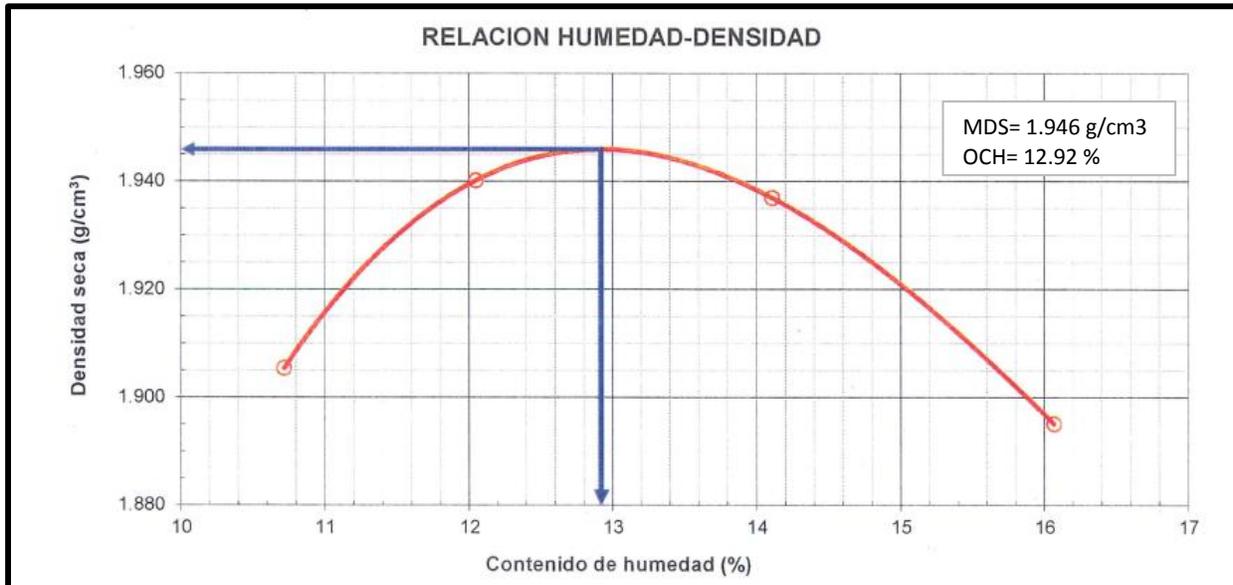
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-06 + 6% de emulsión asfáltica*



*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio GEOMG S.A.C.

**Figura 49**

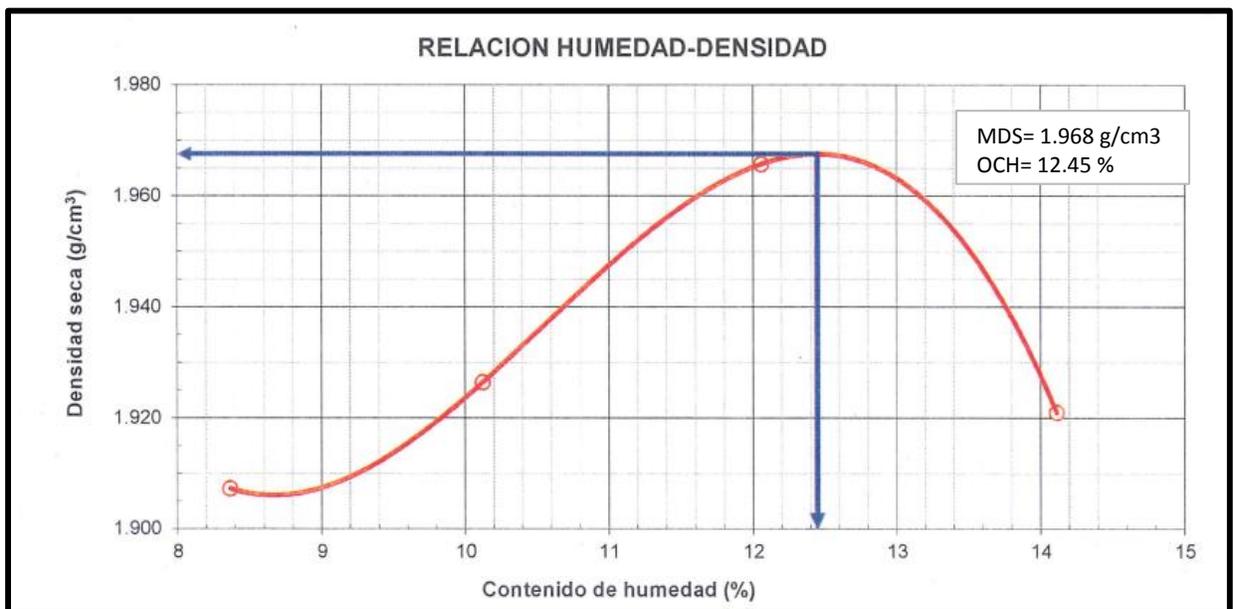
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-06 + 8% de emulsión asfáltica*



*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio GEOMG S.A.C.

**Figura 50**

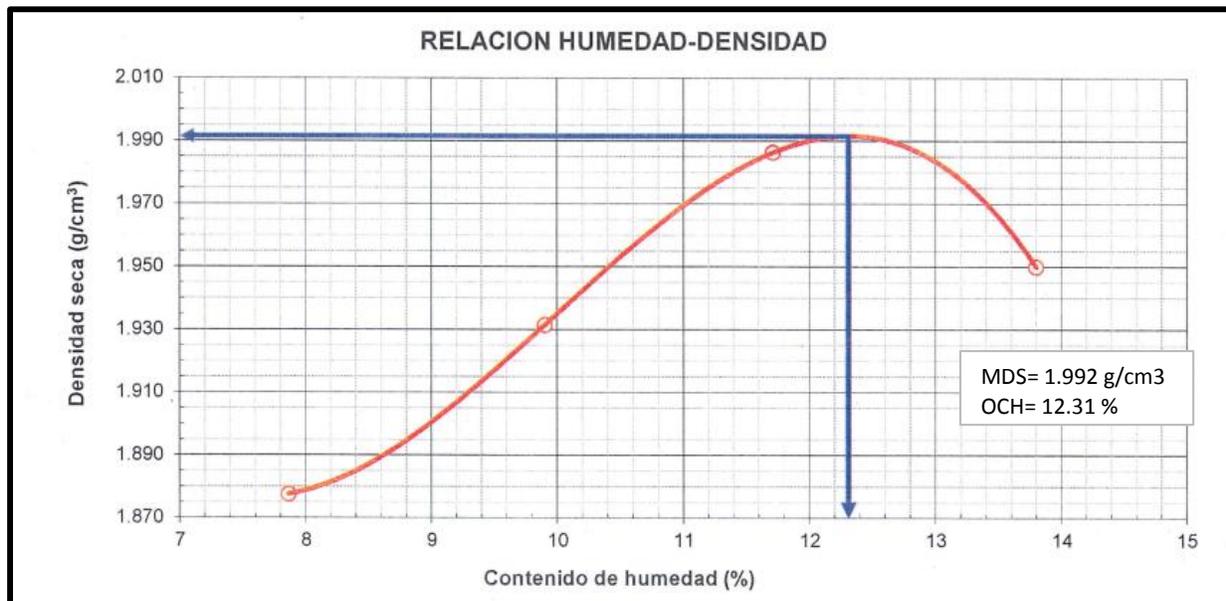
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-09 + 4% de emulsión asfáltica*



*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio GEOMG S.A.C.

**Figura 51**

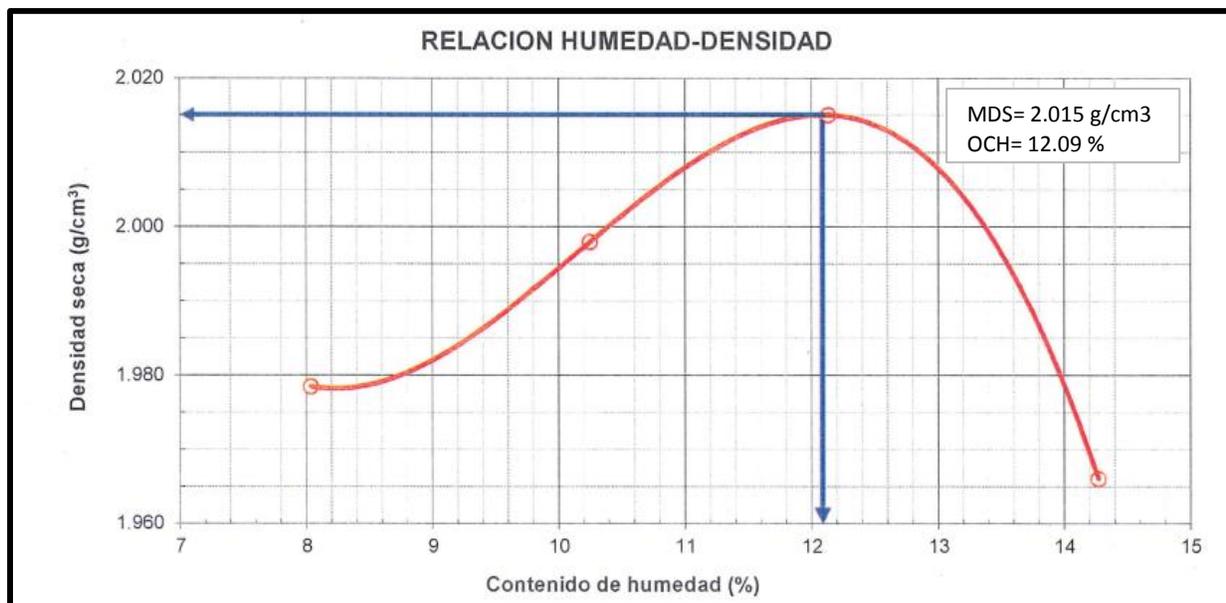
*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-09 + 6% de emulsión asfáltica*



*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio GEOMG S.A.C.

**Figura 52**

*Curva de compactación – Proctor Modificado de la C-09 + 8% de emulsión asfáltica*



*Nota.* Ensayo realizado en el laboratorio GEOMG S.A.C

El propósito de aplicar emulsión asfáltica al suelo natural, fue elevar sus características mecánicas de este, ya que si el terreno mejora su capacidad portante, el espesor de pavimento se optimizará, es decir el espesor total del pavimento con subrasante estabilizada será menor que el espesor total de una subrasante natural sin adición de emulsión asfáltica.

En la tabla 31 se presenta el resumen de los resultados del ensayo de Proctor modificado a cada una de las combinaciones de cada calicata patrón, adicionándose a cada una un porcentaje de emulsión asfáltica de 4%, 6% y 8% en peso con respecto al total de la muestra seca.

**Tabla 31**

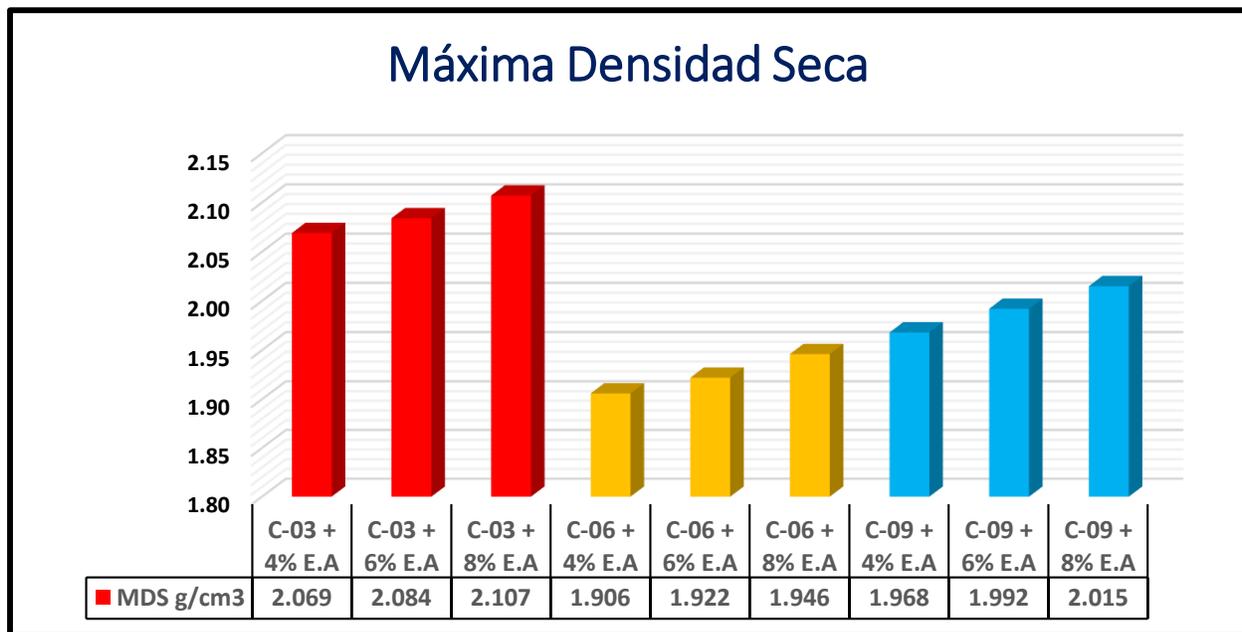
*Resultados del Proctor Modificado de la combinación de suelo natural y emulsión asfáltica*

CALICATA	PROCTOR MODIFICADO	
	OCH (%)	MDS (g/cm <sup>3</sup> )
C-03 + 4% emulsión asfáltica	9.27	2.069
C-03 + 6% emulsión asfáltica	9.01	2.084
C-03 + 8% emulsión asfáltica	8.80	2.107
C-06 + 4% emulsión asfáltica	13.74	1.906
C-06 + 6% emulsión asfáltica	13.24	1.922
C-06 + 8% emulsión asfáltica	12.92	1.946
C-09 + 4% emulsión asfáltica	12.45	1.968
C-09 + 6% emulsión asfáltica	12.31	1.992
C-09 + 8% emulsión asfáltica	12.09	2.015

Nota: Consultar la tabla 26 para comparar los valores de OCH y MDS del suelo natural sin adición de emulsión asfáltica.

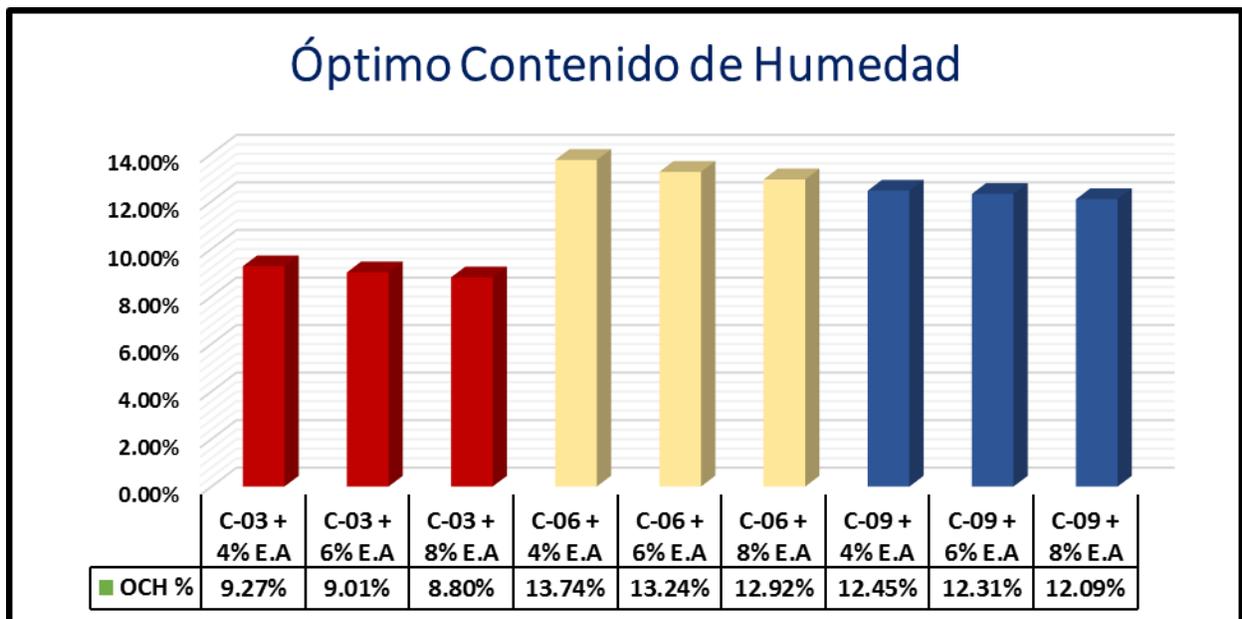
**Figura 53**

Gráfica comparativa de la máxima densidad seca de las combinaciones



**Figura 54**

Gráfica comparativa del óptimo contenido de humedad de las combinaciones



#### 4.1.1.2.2 CBR Laboratorio

**Tabla 32**

*Resultados del ensayo CBR de la combinación de suelo natural y emulsión asfáltica*

CALICATA	CBR 0.1" (KG/CM2)	
	AL 95% DE M.D.S	AL 100% DE M.D.S
C-03 + 4% emulsión asfáltica	14.72	26.53
C-03 + 6% emulsión asfáltica	16.88	29.19
C-03 + 8% emulsión asfáltica	19.59	35.50
C-06 + 4% emulsión asfáltica	13.62	23.81
C-06 + 6% emulsión asfáltica	15.95	27.81
C-06 + 8% emulsión asfáltica	18.42	31.22
C-09 + 4% emulsión asfáltica	12.96	24.11
C-09 + 6% emulsión asfáltica	16.15	28.22
C-09 + 8% emulsión asfáltica	18.80	32.26

*Nota.* Revisar tabla 27 para consultar los resultados del CBR del suelo natural. Ensayo realizado en el laboratorio “GEOMG S.A.C”, septiembre del 2022.

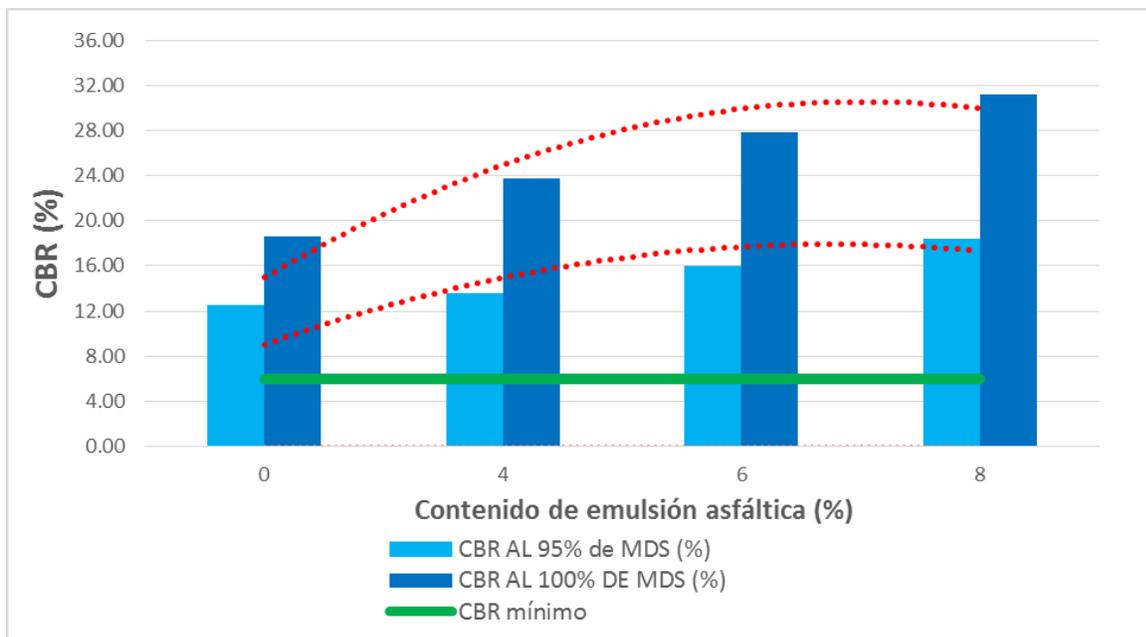
En la tabla 32 se observa los datos obtenidos del CBR para las combinaciones de suelo natural con emulsión asfáltica, tanto para 95% y 100% de la MDS a una profundidad de 0.1”.

En base a esto, se denota que el material de la C-03 presentó un incremento de su CBR con respecto al valor natural que se obtuvo en la tabla 26. La C-03 pasó a tener un CBR al 95% de la MDS a una penetración de 0.1” de 13.66% a 14.72%, 16.88% y 19.59%, con una aplicación de 4%, 6% y 8% de emulsión asfáltica respectivamente.

En la figura 55 se presenta la variación de valor del índice CBR a 0.1” en la C-03 a razón de la aplicación de emulsión asfáltica en las dosificaciones señaladas.

**Figura 55**

*Grafica comparativa del índice CBR a 0.1” del suelo natural y suelo adicionado de la C-03*



*Nota:* El MTC considera un valor CBR mínimo para subrasante de 6%.

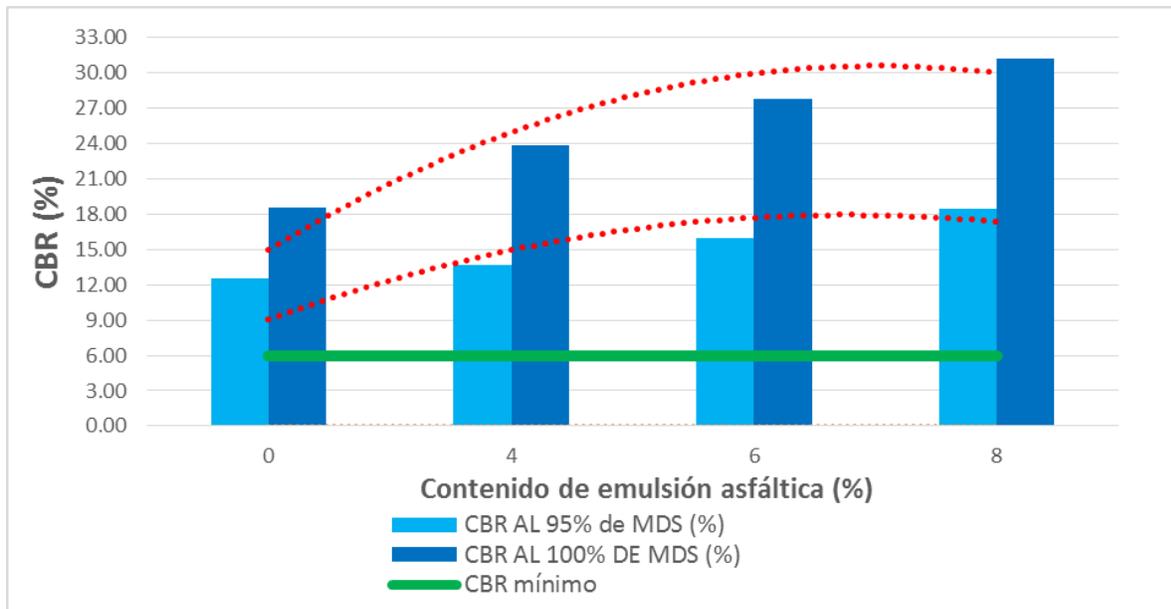
En cuanto a la C-06, perteneciente a la subdivisión llamada *tramo 2*, cuyo suelo según la clasificación SUCS es arena limosa (SM), contaba en su estado natural un índice C.B.R de 12.53% al 95% de la M.D.S a una profundidad de 0.1”. Luego de la adición de emulsión asfáltica en 4%, 6% y 8% en peso respecto a la muestra total seca, se observó un incremento en su capacidad de soporte.

Según la tabla 32, el CBR pasó de 12.53% en su estado natural a un valor de 13.62%, 15.95% y 18.42%, debido a la aplicación de emulsión en 4%, 6% y 8% respectivamente, dichos valores solo son al CBR al 95% de la MDS a una profundidad de penetración de 0.1”.

En la figura 56 se presenta la variación del valor del CBR en la C-06 luego de adicionarle emulsión asfáltica de manera dosificada.

**Figura 56**

*Gráfica comparativa del índice CBR a 0.1” del suelo natural y suelo adicionado de la C-06*



*Nota:* El MTC considera un valor CBR mínimo para subrasante de 6%.

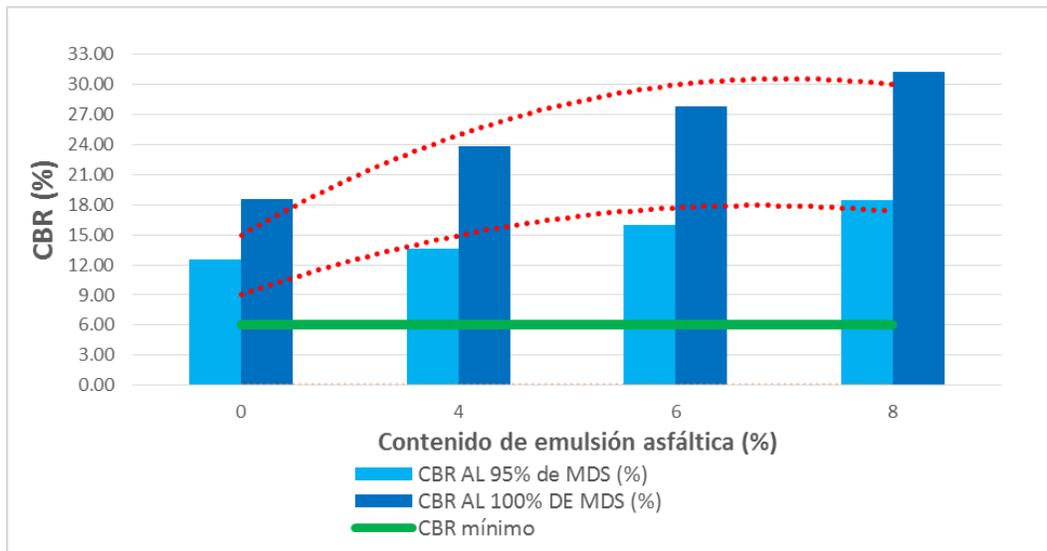
La C-09 perteneciente a la subdivisión llamada *tramo 1*, según la clasificación SUCS era arena limosa (SM), contaba en su estado natural un índice CBR de 10.17% al 95% de la M.D.S a una penetración de 0.1”. Posterior a la adición de emulsión asfáltica en 4%, 6% y 8% en peso respecto a la muestra total seca, se tuvo un aumento en su capacidad de soporte.

De acuerdo a la tabla 32, el CBR pasó de 10.17% en su estado natural a un valor de 12.96%, 16.15% y 18.80%, debido a la aplicación del aditivo en 4%, 6% y 8% respectivamente, dichos valores solo son al CBR al 95% de la M.D.S a una profundidad de penetración de 0.1”.

En la figura 57 se observa la variación del valor CBR en la C-09 luego de adicionarle emulsión asfáltica en las dosificaciones establecidas previamente.

**Figura 57**

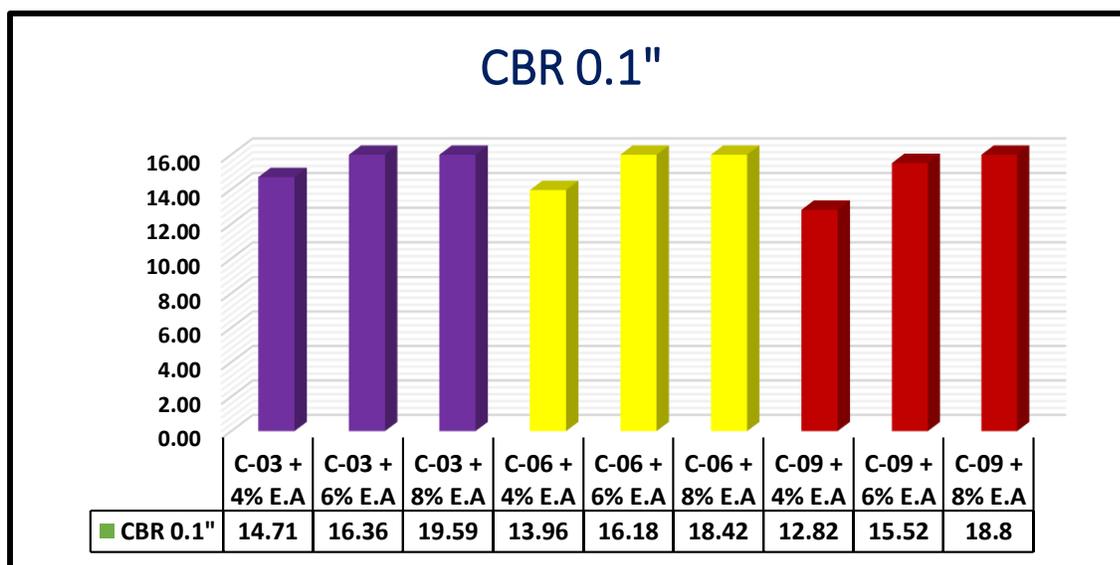
Gráfica comparativa del índice CBR a 0.1" del suelo natural y suelo adicionado de la C-09



En la figura 58 se observa una gráfica comparativa de todos los valores índice CBR al 95% de la MDS para cada una de las calicatas patrón con 4%, 6% y 8% de adición de emulsión asfáltica.

**Figura 58**

Gráfica comparativa general del índice CBR a 0.1" de las calicatas patrón con adición de 4%, 6% y 8% de emulsión asfáltica.



#### ***4.1.3 Determinar el porcentaje de emulsión asfáltica que se utilizará en la estabilización de la subrasante para optimizar el espesor de pavimento.***

De la figura 58 podemos afirmar que conforme se elevaba el porcentaje de uso de emulsión asfáltica, los atributos de resistencia aumentaban, esto se manifestaba numéricamente con el incremento del índice CBR para cada una de las calicatas patrón.

El enfoque de la presente investigación consistió en optimizar el espesor de pavimento del Centro Poblado San Luis, con tal propósito y con el fin de lograr un análisis más detallado en el sentido de estudiar de forma más zonificada el terreno y en función de que el tráfico es distinto en toda la localidad, es que se decidió subdividir el lugar de estudio en las tres partes que se mencionaron anteriormente, estas son el *centro poblado*, donde residen los pobladores y presenta un tráfico en su mayoría de vehículos particulares; una vía de acceso que une la localidad con los negocios artesanales y agropecuarios que realizan, denominada *tramo 2*, con un tráfico mucho más elevado por la presencia de vehículos de todo tipo; y finalmente la otra vía de acceso principal que comunica a la localidad con la panamericana norte, a la que denominamos *tramo 1*, que también se usa para llegar a fabricas aledañas a la zona.

Sabiendo esto, se eligió la calicata más desfavorable de cada subdivisión como muestra patrón de esa zona, para posteriormente combinarla con emulsión asfáltica en las dosificaciones antes mencionadas, con el fin de elevar sus características mecánicas, para que de esa forma la estructura del pavimento se llegue a optimizar, es decir, el espesor del pavimento disminuirá debido a la mayor capacidad resistente de la subrasante.

De acuerdo a la figura 55, todas las calicatas patrón mostraron que el porcentaje que elevó más sus capacidades portantes fue el de 8% de emulsión asfáltica, es por esto que se eligieron los

CBR correspondientes a este porcentaje de adición para calcular el Mr de la subrasante, dato necesario y muy importante para realizar un diseño de pavimento flexible.

#### ***4.1.4 Diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO 1993 en base a la subrasante estabilizada con emulsión asfáltica.***

##### **4.1.4.1 Diseño de pavimento flexible – Centro Poblado**

###### ***4.1.4.1.1 Parámetros de diseño***

Los parámetros de diseño siguen siendo los mismos indicados en el ítem *4.1.1.3.1.1*

###### ***4.1.4.1.2 Modulo de resiliencia de la subrasante***

El resultado obtenido se presenta en la tabla 33.

**Tabla 33**

*Módulos de resiliencia – Centro Poblado*

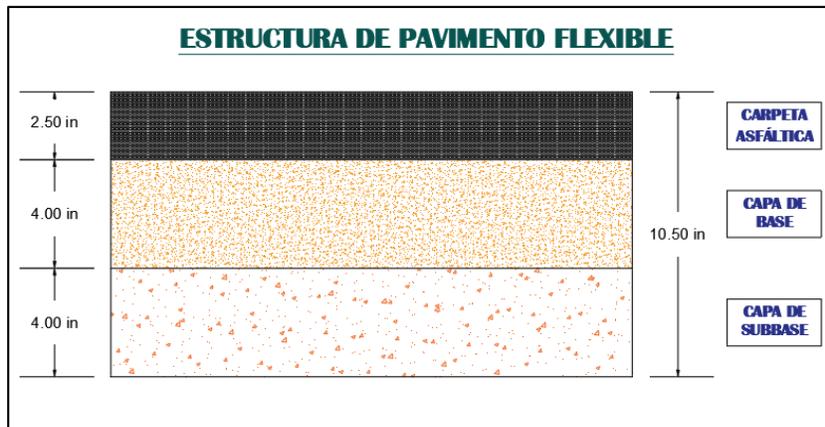
Material de la subrasante	Mr (psi)
C-03 + 8% de emulsión asfáltica	17,151.138

###### ***4.1.4.1.3 Determinación de los espesores de las capa de pavimento***

En la figura 59 se tiene la estructura del pavimento correspondiente a la muestra C-03 + 8% de emulsión asfáltica, la cual cuenta con un espesor de 10.50 pulgadas la cual y está conformada por los espesores de 2.50, 4.00 y 4.00 pulgadas pertenecientes a las capas de carpeta asfáltica, base y subbase respectivamente.

**Figura 59**

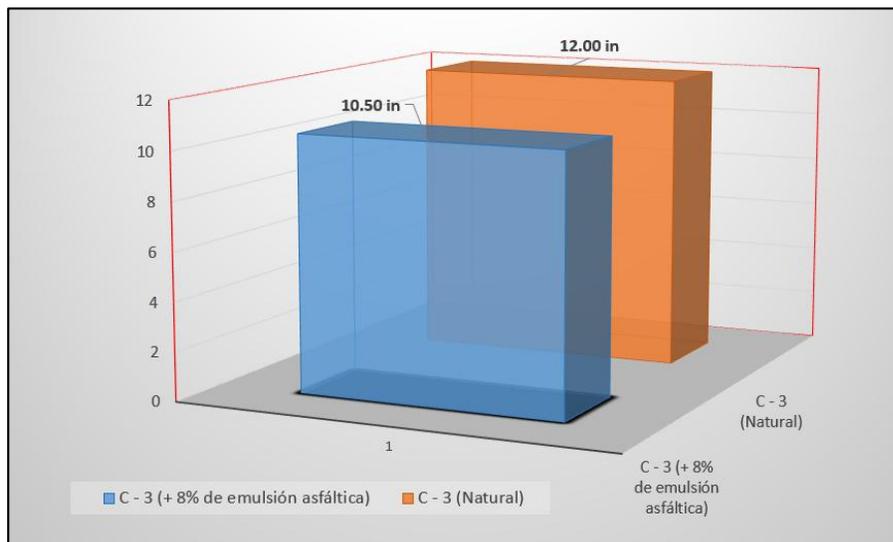
*Distribución de la estructura de pavimento flexible para C-03 + 8% de emulsión asfáltica*



En la figura 60 se observa la comparativa de los espesores totales de las estructuras de pavimento correspondientes a las muestras C-03 en su estado natural y C-03 + 8% de emulsión asfáltica, los cuales son de 12.00 y 10.50 pulgadas respectivamente, con lo cual podemos concluir que se logró una optimización en su estructura debido a la disminución del espesor total, lográndose un grado de optimización del 12.50%.

**Figura 60**

*Comparación de espesores de las estructuras de pavimento flexible - Centro Poblado*



#### 4.1.4.2 Diseño de pavimento flexible – tramo 2

##### 4.1.4.2.1 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño siguen siendo los mismos indicados en el ítem 4.1.1.3.2.1

##### 4.1.4.2.2 Modulo de resiliencia de la subrasante

Se calculó según la formula dada por la metodología. En la tabla 34 se muestra el resultado.

**Tabla 34**

*Módulo de resiliencia – Tramo 2*

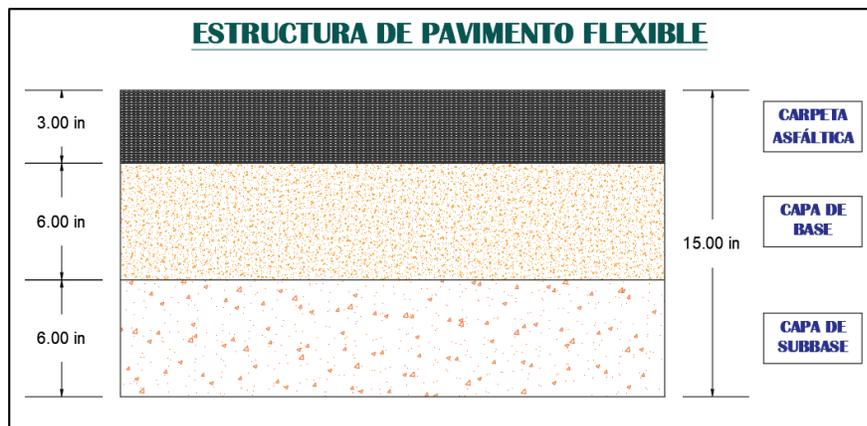
Material de la subrasante	Mr (psi)
C-06 + 8% de emulsión asfáltica	16,488.315

##### 4.1.4.2.3 Determinación de los espesores de las capa de pavimento

En la figura 61 se brinda la estructura de la muestra C-06 + 8% de emulsión asfáltica, la cual cuenta con un espesor de 15.00 pulgadas la cual y está conformada por los espesores de 3.00, 6.00 y 6.00 pulgadas pertinentes a las capas de carpeta asfáltica, base y subbase respectivamente.

**Figura 61**

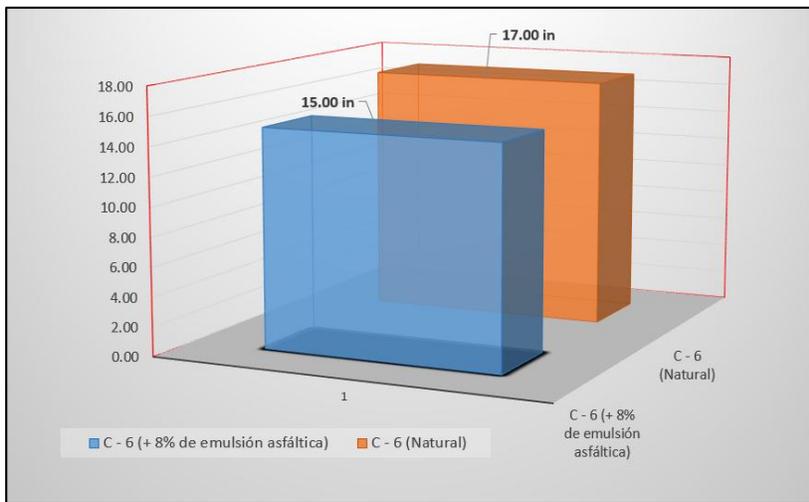
*Distribución de la estructura de pavimento flexible para C-06 + 8% de emulsión asfáltica*



En la figura 62 se presenta la comparación de los espesores totales de las estructuras de pavimento de las muestras C-06 y C-06 + 8% de emulsión asfáltica, los cuales son de 17.00 y 15.00 pulgadas respectivamente, concluyendo que se alcanzó una optimización del 11.76%.

**Figura 62**

*Comparación de espesores de las estructuras de pavimento flexible - Tramo 2*



#### 4.1.4.3 Diseño de pavimento flexible – tramo 1

##### 4.1.4.3.1 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño siguen siendo los mismos indicados en el ítem 4.1.1.3.3.1

##### 4.1.4.3.2 Modulo de resiliencia de la subrasante

Se calculó partir de los resultados de los ensayos CBR.

**Tabla 35**

*Módulos de resiliencia – Tramo 1*

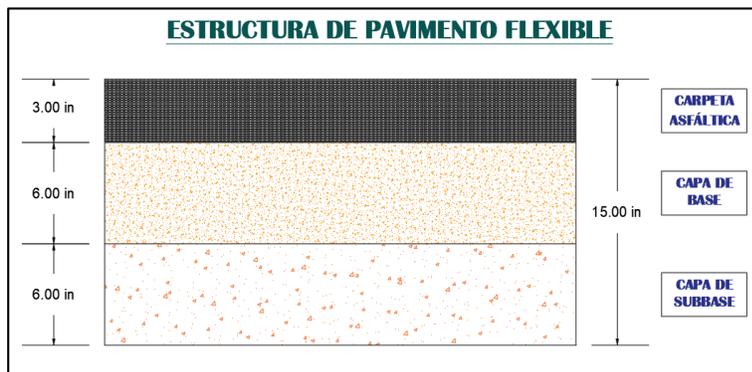
Material de la subrasante	Mr (psi)
C-09 + 8% de emulsión asfáltica	16,705.210

#### 4.1.4.3.3 Determinación de los espesores de las capa de pavimento

En la figura 63 se presenta la estructura de C-09 + 8% de emulsión, la cual cuenta con un espesor de 15.00 pulgadas y está conformada por los espesores de 3.00, 6.00 y 6.00 pulgadas correspondientes a las capas de carpeta asfáltica, base y subbase respectivamente.

**Figura 63**

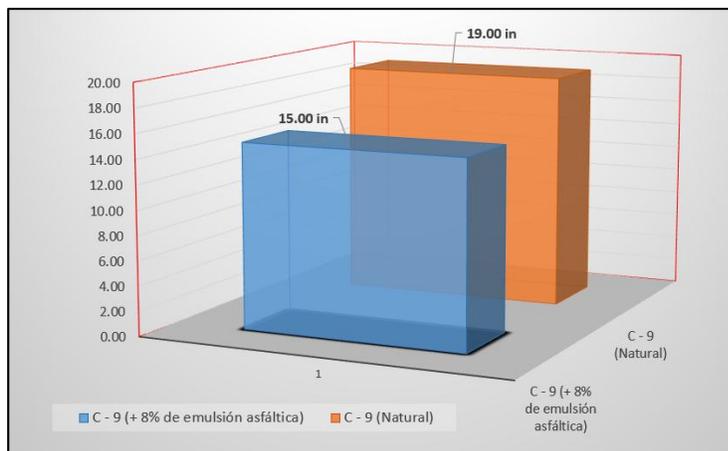
*Distribución de la estructura de pavimento flexible para C-09 + 8% de emulsión asfáltica*



En la figura 64 se tiene una comparación de los espesores totales de pavimento de C-09 y C-09 + 8% de emulsión asfáltica, los cuales son de 19.00 y 15.00 pulgadas respectivamente, lográndose un grado de optimización del 21.05%.

**Figura 64**

*Comparación de espesores de las estructuras de pavimento flexible - Tramo 1*



## 4.2. Discusión

Pérez, J. (2021) en su tesis de pregrado “**Estabilización de las propiedades del suelo con emulsión asfáltica catiónica para subrasante en el jirón Eucalipto, Sapallanga – Huancayo**”, presenta como objetivo evaluar el resultado de la estabilización del suelo perteneciente a la zona de estudio con emulsión asfáltica catiónica. La emulsión asfáltica fue suministrada bajo las siguientes dosificaciones preestablecidas: 8%, 10% y 12%. El estudio evidenció que al aumentar la cantidad de emulsión asfáltica, el valor de la MDS se elevaba, este comportamiento se dio al adicionar 8% y 10% de emulsión, pero al adicionar 12%, el valor de la MDS disminuyó de un valor de 1.95 g/cm<sup>3</sup> a 1.92 g/cm<sup>3</sup>.

En la presente investigación se realizó la caracterización mecánica del suelo en su estado natural y posteriormente cuando se le adicionó emulsión asfáltica usando el ensayo de Proctor Modificado según las especificaciones establecidas en el MTC E115. De los resultados de esto, se reafirma que la adición de emulsión asfáltica como agente estabilizador del suelo permite elevar la MDS de este, las dosificaciones usadas en la presente fueron de 4%, 6% y 8% en peso del material seco, adicionadas al suelo extraído de cada una de las tres calicatas patrón que se consideraron, elevándose el valor de la MDS de forma directamente proporcional a la cantidad de emulsión asfáltica añadida, esto es, que la mayor densidad seca encontrada en cada una de las calicatas patrón luego del proceso de adición corresponde al uso de 8% en peso de emulsión asfáltica.

Como ejemplo de esto, se tiene la C-03 que presentaba un suelo que en su estado natural tenía una MDS de 2.045 g/cm<sup>3</sup>, mientras que luego del proceso de adición presentó una MDS de 2.069 g/cm<sup>3</sup>, 2.084 g/cm<sup>3</sup> y 2.107 g/cm<sup>3</sup> para 4%, 6% y 8% de emulsión asfáltica respectivamente.

Según el estudio que realizó Pérez, el adicionar 12% de emulsión asfáltica contribuyó negativamente a las propiedades del suelo, debido a que el valor de densidad seca máxima disminuyó. Esto podría causarse debido al tipo de suelo de estudio cuya clasificación según SUCS correspondía a una arcilla de baja plasticidad (CL), ya que al añadirse esa proporción de emulsión, esta superó lo necesario para solo cumplir la función ligante entre las partículas brindándoles más resistencia al corte y estabilidad, haciendo que el exceso de cemento asfáltico, componente importante de la emulsión, disminuya a tal punto la resistencia friccional del suelo y actué como lubricante afectando la estabilidad de este, causando la variación negativa de la máxima densidad seca. Este efecto tiene que tomarse muy en cuenta si se busca aplicar este tipo de aditivo para realizar tratamientos a suelos en lugares donde las condiciones climáticas simulen los escenarios donde puedan saturar al suelo, como es el caso de las zonas con clima lluvioso.

Claramente en las proporciones dadas en la presente investigación, no se contempló dicho porcentaje de adición, por lo que no se podría asegurar el comportamiento del suelo bajo estas condiciones, además de tratarse de uno distinto clasificado como arena limosa (SM), cuyas características distan mucho del suelo estudiado por Pérez.

Asimismo, en la presente tesis se realizó el ensayo CBR mediante lo señalado en las normas ASTM D1883 y MTC E132 a cada una de las calicatas patrón en estado natural, y también luego de añadirles emulsión asfáltica en 4%, 6% y 8% respecto al peso de la muestra en seco. Lográndose un aumento de CBR para cada dosificación usada, siendo el valor más alto el conseguido con la dosificación de 8% en peso de emulsión asfáltica tanto para C-03, C-06 y C-09, muestras patrón del presente estudio.

A modo de ejemplo, la C-09, perteneciente a la subdivisión de la zona de estudio denominada *tramo 1*, en su estado natural presentó un CBR al 95% de la MDS cuyo valor fue 10.17% correspondiente a una profundidad de penetración de 0.1”, mientras que luego de adicionarse 4%, 6% y 8% de emulsión asfáltica aumento su índice CBR a 12.96%, 16.15% y 18.80% respectivamente.

Bajo esa línea, el presente trabajo se relaciona con la tesis elaborada por Rojas (2018) titulada: “**Aplicación de la emulsión asfáltica en la estabilización de la sub rasante de la carretera de tercera clase, Emp. PE 18 Quilca – Cochamarca, año 2017**”, donde realiza una investigación sobre el uso de emulsión asfáltica como agente estabilizador de subrasante, siendo el suelo en estudio una arcilla de baja plasticidad, clasificada según SUCS como CL.

Este trabajo afirma que el uso de emulsión asfáltica elevó el CBR del terreno natural, ya que al adicionar emulsión asfáltica en las siguientes dosis: 2%, 4% y 6%; el valor CBR se elevaba de forma directamente proporcional al aumento en dichas dosificaciones. Lo cual se puede corroborar al verificar que el CBR patrón tiene un valor de 3.20% al 95% de la MDS, y que al usar como aditivo un 2% de emulsión asfáltica, el índice CBR se eleva a 4.30%, lo mismo para las adiciones de 4% y 6%, presentando valores CBR de 4.60% y 5.80% respectivamente. Esto fortalece la hipótesis de que la emulsión asfáltica, dosificada a estos porcentajes eleva la resistencia del suelo, destacando que no de la misma manera debido a que todos los suelos no reaccionan de la misma manera ante la aplicación de este aditivo asfáltico.

Gavilanes (2022) en su trabajo experimental para titulación denominado “**Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles**”, estableció que la utilización de emulsión

asfáltica como agente estabilizador de suelos granulares destinados a cumplir la función de subrasante, potencia las propiedades de este. Todas las muestras analizadas fueron clasificadas como arenas limosas (SM). La aplicación de emulsión asfáltica, se hizo a cada una de las muestras en 1%, 3%, 5% y 8% en peso.

Luego de realizar los ensayos correspondientes, en las tres muestras el valor de CBR se incrementó de 20% a 36.60% en la primera muestra, de 14.70% a 32.50% en la segunda muestra, y de 19.50% a 25.20%, en la última muestra. Luego procedió a diseñar el paquete estructural del pavimento flexible según AASHTO, tanto en su estado natural como en el estado adicionado, utilizando los datos calculados de la segunda muestra debido a que esta presentó el mayor incremento en el valor de CBR al 95% de la MDS. Finalmente concluyendo con un espesor total del pavimento de 45cm con subrasante natural, y 40 cm de espesor total cuando posee una subrasante estabilizada con emulsión asfáltica, logrando una disminución de 5 cm.

Contrastando dicha información con los resultados de la presente, encontramos en común que el uso de la emulsión asfáltica permite diseñar un paquete estructural de menor espesor debido a que eleva las propiedades mecánicas de la subrasante en comparación a un pavimento convencional a colocarse sobre una subrasante natural, lográndose de esta forma un ahorro monetario en comparación con los gastos necesarios para realizar un pavimento convencional.

En este trabajo se realizó un diseño de estructura de pavimento flexible para cada una de las tres subdivisiones de la zona en estudio; partiendo del valor CBR que resultó de adicionar al suelo natural un 8% de emulsión asfáltica, ya que este porcentaje presentó el mayor valor de este parámetro de soporte para las tres calicatas patrón, superando a los valores conseguidos con 4% y

6% de adición, teniendo de esta manera un diseño óptimo de pavimento flexible para cada una de las subdivisiones de la zona estudiada.

La mayor optimización se dio en la subdivisión denominada *tramo 1*, donde el espesor del pavimento flexible soportado por el suelo en su estado natural fue de 19", mientras que el espesor total del paquete estructural de un pavimento con subrasante estabilizada con emulsión asfáltica fue de 15".

Todo lo expuesto aquí, valida la hipótesis planteada y acreditan el beneficio de utilizar emulsión asfáltica como agente estabilizador de la subrasante, ya que mejora las propiedades mecánicas del suelo natural, proveyendo una mayor capacidad de soporte a este, lo cual se denota en un espesor menor del paquete estructural del pavimento, y permitiendo que cumpla adecuadamente las funciones para lo cual fue diseñado.

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

- Se optimizó la estructura de pavimento utilizando emulsión asfáltica como estabilizante de la subrasante, debido a que la presente investigación determinó que el uso de este producto asfáltico puede ser considerado como alternativa para mejorar las capacidades del suelo, tales como en el caso de las subrasantes estudiadas, donde se evidenció un aumento en la capacidad de carga y resistencia. De esta manera, la hipótesis planteada ha sido validada.

- Luego de determinar las características físicas y mecánicas del suelo natural extraídos de la calicata patrón en cada una de las subdivisiones de la zona estudiada por medio de ensayos de laboratorio, se realizó el diseño del paquete estructural de un pavimento flexible mediante la metodología AASHTO 1993, con el fin de conocer el espesor total de la estructura construida sobre una subrasante natural y así poder cuantificar luego la optimización del espesor del pavimento que cuenta con una subrasante estabilizada con emulsión asfáltica.

En la subdivisión denominada *centro poblado* con los datos brindados por el estudio del terreno natural de la C-03, utilizándose el CBR al 95% de la MDS obtenido a una profundidad de 0.1”, cuyo valor fue de 13.66% y en conjunto con los valores de tráfico obtenidos en esta subdivisión, se realizó el diseño del paquete estructural de pavimento flexible, obteniéndose un espesor total de 12.00 pulgadas, conformada por una capa de concreto asfáltico de 2.50 pulgadas, una capa de base granular de 4.00 pulgadas y una capa de subbase de 5.50 pulgadas.

En la subdivisión llamada *tramo 2* se utilizó los valores de tráfico propios del tramo y el CBR al 95% de la MDS del suelo extraído de la calicata C-06, cuyo valor fue de 12.53%, realizándose el diseño del paquete estructural cuyo espesor total fue de 17.00 pulgadas, constituido

por 3.00 pulgadas de concreto asfáltico, 7.00 pulgadas de base granular y 7.00 pulgadas de subbase granular.

En la última subdivisión denominada *tramo 1*, a partir de los valores de tráfico y del suelo extraído de la calicata patrón C-09, que brindó el valor CBR para el cálculo, se determinó el espesor total del paquete estructural correspondiente a esa zona, teniendo este un valor total de 19.00 pulgadas, distribuidos en 3.00 pulgadas de concreto asfáltico, una base granular con un espesor de 8.00 pulgadas y una subbase granular de 8.00 pulgadas.

- Los ensayos de laboratorio realizados para evaluar los efectos de la adición de emulsión asfáltica a la subrasante en las proporciones de 4%, 6% y 8% demostraron que, a medida que se aumenta la proporción de emulsión, se mejora la capacidad y la resistencia de la subrasante.

Esto se pudo evidenciar en el aumento del valor del índice CBR en las tres calicatas patrón conforme aumentaba el porcentaje de adición de emulsión asfáltica al suelo natural. Los valores a continuación de CBR corresponden al valor hallado al 95% de la MDS y una profundidad de penetración de 0.1", la calicata C-03 en su estado natural tenía un CBR de 13.66%, y luego de añadir 4%, 6% y 8% de emulsión asfáltica con respecto al peso total de la muestra, el CBR aumentó a 14.72%, 16.88% y 19.59% respectivamente. La calicata C-06 paso de tener un CBR en estado natural de 12.53% a 13.62%, 15.95% y 18.42% luego de la adición de emulsión asfáltica en las proporciones ya mencionadas. Mientras que el ultimo patrón, la calicata C-09 presentó un aumento de valor en el índice CBR, pasando de tener en su estado natural un CBR de 10.17 % a tener un CBR de 12.96%, 16.15% y 18.80% a causa de la adición de emulsión asfáltica en 4%, 6% y 8% respectivamente.

- Se determinó que el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica a utilizar en la estabilización de la subrasante fue del 8% con respecto al peso total de la muestra. Esta determinación del porcentaje óptimo se basó en un análisis detallado de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados conforme a la normativa, las características físicas y mecánicas del terreno. Todos los porcentajes de adición aumentaron el valor de CBR del suelo natural, sin embargo como se buscaba optimizar el espesor del paquete estructural de un pavimento flexible, se eligió este porcentaje porque aumento en más cantidad el valor CBR, parámetro que conocemos que está relacionado a la capacidades resistentes de un suelo. La elección del porcentaje óptimo es crucial si se busca garantizar la durabilidad y resistencia del pavimento, además de reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

- El diseño del paquete estructural del pavimento flexible, utilizando los parámetros del Método AASHTO 1993, se realizó considerando las características físicas y mecánicas de la subrasante estabilizada con emulsión asfáltica. El diseñar el espesor del paquete estructural considerando los parámetros mejorados obtenidos gracias a la aplicación de emulsión asfáltica en la proporción de 8% en peso con respecto a la muestra total, garantiza un uso eficiente y efectivo de los recursos, ya que se seleccionan los materiales adecuados y se optimizan las capas del pavimento en función de las cargas previstas y las características del terreno. A continuación se detallan los tres diseños realizados a cada uno de las subdivisiones del lugar en estudio, de acuerdo a los parámetros propios de cada subdivisión, tales como CBR de diseño, el cual es el CBR de la subrasante estabilizada con 8% de emulsión asfáltica, y el estudio del tráfico que soporta cada una.

Se realizó el diseño del paquete estructural de un pavimento flexible correspondiente a la subdivisión denominada *centro poblado*, obteniéndose un espesor total de 10.50 pulgadas,

conformada por 2.50 pulgadas de concreto asfáltico, una capa de base granular de 4.00 pulgadas y 4.00 pulgadas de subbase.

En la subdivisión llamada tramo 2, el espesor total del paquete estructural de pavimento flexible fue de 15.00 pulgadas, constituido a su vez por: una capa de concreto asfáltico de 3.00 pulgadas, una capa de base granular de 6.00 pulgadas y una capa de subbase de 6.00 pulgadas.

Finalmente en la última subdivisión denominada tramo 1, se determinó el espesor del paquete estructural de un pavimento que cuenta con subrasante estabilizada con emulsión asfáltica, teniendo un valor total de 15.00 pulgadas, y estando conformado por una capa de concreto asfáltico de 3.00 pulgadas, una capa de base granular de 6.00 pulgadas y 6.00 pulgadas de una capa de subbase granular.

Al final de la presente investigación se pudo afirmar que se optimizó el espesor del paquete estructural del pavimento en cada una de las subdivisiones, esto se puede denotar cuantitativamente debido a que en cada una de ellas se realizó el diseño de pavimento, tanto en estado natural de la subrasante que soportará el pavimento, como en su estado adicionado con 8% de emulsión asfáltica.

En zona llamada *centro poblado*, el espesor total del paquete estructural del pavimento pasó de 12.00 pulgadas a 10.5 pulgadas, luego de realizar la estabilización de subrasante con emulsión asfáltica. En este caso se realizó un porcentaje de optimización de 12.5%.

En zona denominada *tramo 2*, el espesor total del paquete estructural del pavimento pasó de 17.00 pulgadas a 15.00 pulgadas, luego de realizar la estabilización de subrasante con emulsión asfáltica. En este caso se realizó un porcentaje de optimización de 11.76%.

En zona llamada *tramo I*, el espesor total del paquete estructural del pavimento pasó de 19.00 pulgadas a 15.00 pulgadas, luego de realizar la estabilización de subrasante con emulsión asfáltica. En este caso se realizó un porcentaje de optimización de 21.05%.

## **5.2 Recomendaciones**

- Fomentar el uso de los distintos derivados del petróleo en investigaciones futuras para los diversos tipos de suelos que presenta nuestro país, así como sugerir la utilización de otros valores de dosificaciones de emulsión asfáltica cuando se usa como estabilizador, evaluando su comportamiento y las propiedades adquiridas.

- Seleccionar adecuadamente el tipo de emulsión asfáltica a utilizar en función del tipo de suelo y las condiciones climáticas, si se quiere utilizar este producto como agente estabilizador de un elemento del paquete estructural de un pavimento.

- Notificar que el uso de la emulsión asfáltica como estabilizador de suelos no es una solución permanente y se sugiere el mantenimiento regular para asegurar la durabilidad y resistencia del camino o carretera.

- Realizar una evaluación para determinar si el diseño óptimo de la presente investigación es viable en términos de costo-beneficio para proyectos de pavimentación en otras zonas.

- Realizar investigaciones sobre la aplicación de emulsión asfáltica en los mismos porcentajes usados en la presente sobre materiales granulares que constituyen materiales de base y subbase granular.

- Realizar el diseño del paquete estructural de un pavimento rígido mediante la metodología AASHTO y PCA, utilizando emulsión asfáltica como agente estabilizador de la subrasante.

**CAPÍTULO VI**  
**REFERENCIAS**  
**BIBLIOGRÁFICAS Y**  
**VIRTUALES**

## 6.1 Referencias bibliográficas y virtuales

- Aliaga, F y Soriano C. (2019). *Análisis comparativo de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en bases granulares*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio institucional de la Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2673>
- American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavements Structures 1993*. Autoedición.
- Bañón, L. y Beviá, J. (2010). *Manual de carreteras. Volumen II: Construcción y Mantenimiento*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. McGraw-Hill
- Braja M., D. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. (4ta edición) California: Cengage Learning.
- Burgos, B. (2014). *Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta S/R: Santa Elvira – El Arenal, en la Comuna de Valdivia*. [Trabajo de titulación, Universidad Austral de Chile]. Sistemas de Bibliotecas UACH. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcib957a/doc/bmfcib957a.pdf>
- Castro, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/10054>

- Ccoillo, I. (2017). *Comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina – 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/13342>
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. (5ta Edición). Limusa.
- Cubas, V. y Quiroz, A. (2018). *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 de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14826>
- Delgado, F. y Quispe, C. (2012). *Diseño del pavimento de un Aeropuerto*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1640>
- Díaz, G. (2018). *Mejoramiento del CBR de un suelo arcilloso con Cloruro de Sodio*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14062>
- Divas, E. (2018). *Estabilización de suelos con emulsión asfáltica para el empleo en subbases y bases*. [Trabajo de Graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional USAC. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9116/>

- Galarreta, W. y Llenque, S. (2019). *Influencia de la adición de Emulsión Asfáltica en la estabilidad de los suelos del centro poblado de Villa Hermosa en el distrito La Esperanza*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13423>
- Gavilanes, E. (2022). *Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico - mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles*. [Trabajo Experimental, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Digital de la universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34104>
- Gonzales, W., Jiménez, M. y López, R. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en el salvador*. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. Repositorio institucional de la Universidad de El Salvador. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2177/>
- Guerrero, S. y Suconota, J. (2020). *Análisis de alternativas de diseño de un pavimento flexible adicionando emulsión asfáltica a subbases utilizadas en la ciudad de cuenca*. [Trabajo de Titulación, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio institucional de la Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11507>
- Gutiérrez, C. (2010). *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio institucional de la Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/116>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ta edición). McGraw-Hill

Juárez, E. y Rico, A. (2005). *Mecánica de Suelos Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. (2da Edición). Limusa.

Lozano, D. (2015). Diseño Óptimo de la estructura del pavimento flexible en la H.U.P. Villa Victoria del Distrito de Nuevo Chimbote mediante el Método del Instituto del Asfalto y AASHTO. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio institucional digital de la Universidad Nacional del Santa.  
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2710>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2013). *Manual de Carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras*. Autoedición.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2014). *Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos*. Autoedición.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Oficina de Programación Multianual de Inversiones. (2019). *Ficha Técnica Estándar para Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión de Carreteras Interurbanas*. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/345336-ficha-tecnica-estandar-para-formulacion-y-evaluacion-de-proyectos-de-inversion-de-carreteras-interurbanas>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Autoedición.

Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. (2da Edición). Universidad Católica de Colombia.

- Moreno, E. y Rodríguez, S. (2019). *Estabilización de suelos para atenuar efectos de plasticidad de material de sub rasante de la carretera Cáceres del Perú – Tara Distrito de Cáceres del Perú – Santa- Ancash – 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio institucional digital de la Universidad Nacional del Santa. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3437>
- Ontiveros, L. (2013). *Evaluación de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional México. [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000687305](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000687305)
- Patiño, D. (2022). *Estabilizaciones de suelo, mediante diferentes materiales como el cemento, emulsión asfáltica y aditivo químico, para mejorar las características mecánicas, de 1 km de la vía de tercer orden Pedregal – María Auxiliadora, el Shuyo, Riobamba*. [Trabajo de Titulación, Universidad Internacional SEK]. Repositorio de la Universidad Internacional SEK Ecuador. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4701>
- Pérez, J. (2021). *Estabilización de las propiedades del suelo con emulsión asfáltica catiónica para subrasante en el jirón Eucalipto, Sapallanga – Huancayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio institucional de la Universidad Peruana Los Andes. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3108>

- Quiroz, W. (2017). *Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Digital de la universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25753>
- Ravines, M. (2010). *Pruebas de un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la Universidad de Piura. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1354>
- Rengifo, K. (2014). *Diseño de los pavimento de la nueva carretera panamericana norte en el tramo de Huacho a Pativilca (Km 188 a 189)*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5826>
- Rojas, J. (2018). *Aplicación de la emulsión asfáltica en la estabilización de la sub rasante de la carretera afirmada de tercera clase, Emp. PE 18 Quilca – Cochamarca, año 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53372>
- Sánchez, J. y Yataco, J. (2017). *Propiedades índice de los suelos y su relación con el diseño estructural de los pavimentos en el distrito de Nuevo Chimbote*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio institucional digital de la Universidad Nacional del Santa. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2723>

- Tibán, P. (2015). *Las condiciones de la vía Tingopampa –San Francisco – Gallo Crista – Potreropampa y su incidencia en el desarrollo socio-económico de la parroquia Chiquicha del cantón San pedro de Pelileo perteneciente a la provincia de Tungurahua*. [Trabajo Estructurado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Digital de la universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/11460>
- Valle, W. (2010). *Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. <https://oa.upm.es/4512/>
- Vega, D. (2018). *Diseño de los pavimentos de la carretera de acceso al Nuevo Puerto de Yurimaguas (km 1+000 a 2+000)*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12088>
- Villa, V. (2007). *Reciclado in Situ en frio de pavimentos empleando emulsiones asfálticas*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/581465>
- Yarleque, R. y Yovera W. (2021). *Estabilización de suelo arenoso aplicando 6,8 y 11% de emulsión asfáltica en zona las Praderas de Castilla, Piura 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80014>

Zambrano, C. y Zavala, D. (2019). *Estudio de suelo y estabilización del material granular existente con emulsión asfáltica para el diseño de pavimento flexible, en la vía Libertador Bolívar – Sitio Nuevo de longitud 5 km, del Cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena.* [Trabajo de Titulación, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena.  
<https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/4768>

# **CAPÍTULO VII**

## **ANEXOS**

## 7.1 Perfil Estratigráfico

<b>TESIS</b>	OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Lugar</b> :	Centro Poblado San Luis
	<b>Distrito</b> :	Santa
<b>MUESTRA</b>	<b>Provincia</b> :	Santa
	<b>Departamento</b> :	Ancash
<b>DIMENSION DE CALICATA</b>	<b>Ancho</b> :	1.00 m
	<b>Largo</b> :	1.00 m
	<b>Profundidad</b> :	1.35 m

C - 01

PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SUELO

<b>Calicata</b>	C - 1	<b>N. F. (m)</b>	SI	<b>COORDENADAS</b>	761548.51 m S
					9004022.75 m E

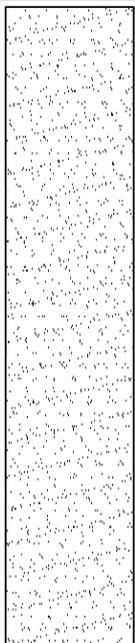
Prof. (m)	Espesor del	N. F.	Descripción Visual del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO	Simbología	Observaciones
0.50	0.50	NO	PRESENCIA DE RELLENO NO CALIFICADO, RESTOS DE CONCRETO, LADRILLO, BOLSAS, ETC.	-	-	-
1.35	0.85	SI	ARENA MAL GRADUADA CON ARENA MEDIA A FINA Y FINOS NO PLÁSTICOS	SP A-3 (0)		-

<b>TESIS</b>	OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Lugar</b> :	Centro Poblado San Luis
	<b>Distrito</b> :	Santa
<b>MUESTRA</b>	<b>Provincia</b> :	Santa
	<b>Departamento</b> :	Ancash
<b>DIMENSION DE CALICATA</b>	<b>Ancho</b> :	1.00 m
	<b>Largo</b> :	1.00 m
	<b>Profundidad</b> :	1.50 m

C - 02

**PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SUELO**

<b>Calicata</b>	C - 2		<b>N. F. (m)</b>	NO		<b>COORDENADAS</b>	761620.63 m S
							9003862.61 m E

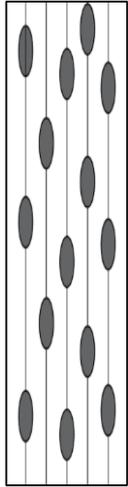
Prof. (m)	Espesor del	N. F.	Descripción Visual del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO	Simbología	Observaciones
0.40	0.40	NO	PRESENCIA DE RELLENO NO CALIFICADO, RESTOS DE CONCRETO, LADRILLO, BOLSAS, ETC.	-	-	-
1.50	1.10	NO	ARENA MAL GRADUADA, DE COLOR BEIGE, HUMEDO Y EN ESTADO MEDIANAMENTE DENSO	SP A-3 (0)		-

<b>TESIS</b>	OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Lugar</b> :	Centro Poblado San Luis
	<b>Distrito</b> :	Santa
<b>MUESTRA</b>	<b>Provincia</b> :	Santa
	<b>Departamento</b> :	Ancash
<b>DIMENSION DE CALICATA</b>	<b>Ancho</b> :	1.00 m
	<b>Largo</b> :	1.00 m
	<b>Profundidad</b> :	1.35 m

C - 03

**PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SUELO**

<b>Calicata</b>	C - 3	<b>N. F. (m)</b>	SI	<b>COORDENADAS</b>	761529.22 m S
					9003863.76 m E

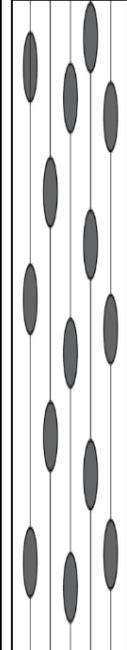
Prof. (m)	Espesor del	N. F.	Descripción Visual del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO	Simbología	Observaciones
0.50	0.50	NO	PRESENCIA DE RELLENO NO CALIFICADO, RESTOS DE CONCRETO, LADRILLO, BOLSAS, ETC.	-	-	-
1.35	0.85	SI	ARENA LIMOSA MEDIANAMENTE DENSO, SATURADO Y DE COLOR BEIGE	SM		-

<b>TESIS</b>	OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Lugar</b> :	Centro Poblado San Luis
	<b>Distrito</b> :	Santa
<b>MUESTRA</b>	<b>Provincia</b> :	Santa
	<b>Departamento</b> :	Ancash
<b>DIMENSION DE CALICATA</b>	<b>Ancho</b> :	1.00 m
	<b>Largo</b> :	1.00 m
	<b>Profundidad</b> :	1.50 m

C - 04

## PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SUELO

<b>Calicata</b>	C - 4	<b>N. F. (m)</b>	NO	<b>COORDENADAS</b>	761376.15 m S
					9003924.73 m E

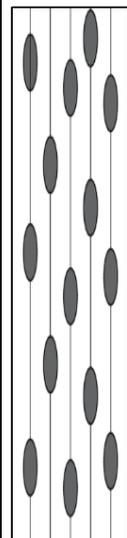
Prof. (m)	Espesor del	N. F.	Descripción Visual del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO	Simbología	Observaciones
0.30	0.30	NO	PRESENCIA DE RELLENO NO CALIFICADO, RESTOS DE CONCRETO, LADRILLO, BOLSAS,	-	-	-
1.50	1.20	NO	ARENA LIMOSA MEDIANAMENTE DENSO, SATURADO Y DE COLOR BEIGE	SM		-

<b>TESIS</b>	OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Lugar</b> :	Centro Poblado San Luis
	<b>Distrito</b> :	Santa
<b>MUESTRA</b>	<b>Provincia</b> :	Santa
	<b>Departamento</b> :	Ancash
<b>DIMENSION DE CALICATA</b>	<b>Ancho</b> :	1.00 m
	<b>Largo</b> :	1.00 m
	<b>Profundidad</b> :	1.50 m

C - 05

## PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SUELO

<b>Calicata</b>	C - 5	<b>N. F. (m)</b>	NO	<b>COORDENADAS</b>	761554.02 m S
					9003787.84 m E

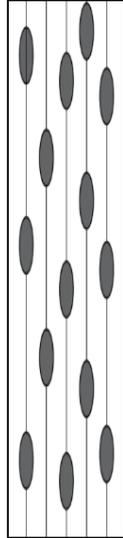
Prof. (m)	Espesor del	N. F.	Descripción Visual del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO	Simbología	Observaciones
0.50	0.50	NO	PRESENCIA DE RELLENO NO CALIFICADO, RESTOS DE CONCRETO, LADRILLO, BOLSAS, ETC.	-	-	-
1.50	1.00	NO	ARENA LIMOSA MEDIANAMENTE DENSO, SATURADO Y DE COLOR BEIGE	SM		-

<b>TESIS</b>	OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Lugar</b> :	Centro Poblado San Luis
	<b>Distrito</b> :	Santa
<b>MUESTRA</b>	<b>Provincia</b> :	Santa
	<b>Departamento</b> :	Ancash
<b>DIMENSION DE CALICATA</b>	<b>Ancho</b> :	1.00 m
	<b>Largo</b> :	1.00 m
	<b>Profundidad</b> :	1.50 m

C - 06

## PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SUELO

<b>Calicata</b>	C - 6	<b>N. F. (m)</b>	NO	<b>COORDENADAS</b>	761617.68 m S
					9003662.68 m E

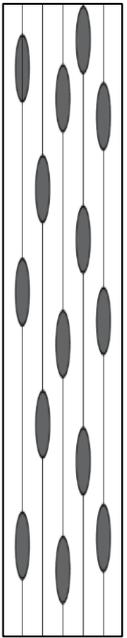
Prof. (m)	Espesor del	N. F.	Descripción Visual del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO	Simbología	Observaciones
0.20	0.20	NO	PRESENCIA DE RELLENO NO CALIFICADO, RESTOS DE LADRILLO, ETC.	-	-	-
1.50	1.30	NO	ARENA LIMOSA MEDIANAMENTE DENSO, HÚMEDO Y DE COLOR BEIGE	SM		-

<b>TESIS</b>	OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Lugar</b> :	Centro Poblado San Luis
	<b>Distrito</b> :	Santa
<b>MUESTRA</b>	<b>Provincia</b> :	Santa
	<b>Departamento</b> :	Ancash
<b>DIMENSION DE CALICATA</b>	<b>Ancho</b> :	1.00 m
	<b>Largo</b> :	1.00 m
	<b>Profundidad</b> :	1.50 m

C - 07

## PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SUELO

<b>Calicata</b>	C - 7	<b>N. F. (m)</b>	NO	<b>COORDENADAS</b>	761753.90 m S
					9003718.01 m E

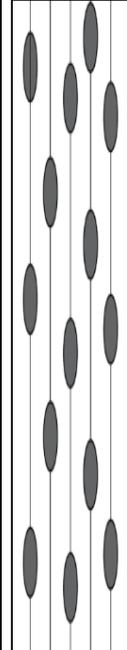
Prof. (m)	Espesor del	N. F.	Descripción Visual del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO	Simbología	Observaciones
0.40	0.40	NO	PRESENCIA DE RELLENO NO CALIFICADO, RESTOS DE CONCRETO, LADRILLO, BOLSAS, ETC.	-	-	-
1.50	1.10	NO	ARENA LIMOSA MEDIANAMENTE DENSO, HÚMEDO Y DE COLOR BEIGE	SM		-

<b>TESIS</b>	OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Lugar</b> :	Centro Poblado San Luis
	<b>Distrito</b> :	Santa
<b>MUESTRA</b>	<b>Provincia</b> :	Santa
	<b>Departamento</b> :	Ancash
<b>DIMENSION DE CALICATA</b>	<b>Ancho</b> :	1.00 m
	<b>Largo</b> :	1.00 m
	<b>Profundidad</b> :	1.50 m

C - 08

## PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SUELO

<b>Calicata</b>	C - 8	<b>N. F. (m)</b>	NO	<b>COORDENADAS</b>	761671.45 m S
					9003591.84 m E

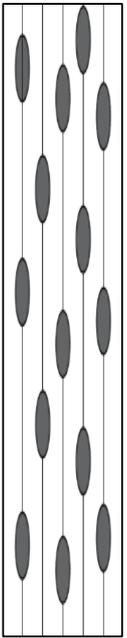
Prof. (m)	Espesor del	N. F.	Descripción Visual del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO	Simbología	Observaciones
0.30	0.30	NO	PRESENCIA DE RELLENO NO CALIFICADO, RESTOS DE CONCRETO, LADRILLO, BOLSAS,	-	-	-
1.50	1.20	NO	ARENA LIMOSA MEDIANAMENTE DENSO, HÚMEDO Y DE COLOR BEIGE	SM		-

<b>TESIS</b>	OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH – 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Lugar</b> :	Centro Poblado San Luis
	<b>Distrito</b> :	Santa
<b>MUESTRA</b>	<b>Provincia</b> :	Santa
	<b>Departamento</b> :	Ancash
<b>DIMENSION DE CALICATA</b>	<b>Ancho</b> :	1.00 m
	<b>Largo</b> :	1.00 m
	<b>Profundidad</b> :	1.50 m

C - 09

**PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE SUELO**

<b>Calicata</b>	C - 9		<b>N. F. (m)</b>	NO		<b>COORDENADAS</b>	761505.40 m S
							9003365.09 m E

Prof. (m)	Espesor del	N. F.	Descripción Visual del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO	Simbología	Observaciones
0.40	0.40	NO	PRESENCIA DE RELLENO NO CALIFICADO, RESTOS DE CONCRETO, LADRILLO, BOLSAS, ETC.	-	-	-
1.50	1.10	NO	ARENA LIMOSA MEDIANAMENTE DENSO, HÚMEDO Y DE COLOR BEIGE	SM		-

## 7.2 Memoria del Cálculo

## 1. Diseño de pavimento flexible mediante método AASHTO para la calicata C-03 (natural y natural + 8% de emulsión asfáltica)

### 1.1 Variables de tiempo

De la Tabla 13 Periodos de análisis y diseño, se optará por un periodo de 20 años.

**Tabla 13**

*Períodos de análisis y diseño de vías*

Clasificación de la vía	Período de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
<b>Rural de alto volumen de tráfico</b>	<b>20 - 50</b>
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20

*Nota.* Adaptado de “*Design Requirements*”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.7), 1993, Autoedición.

### 1.2 Cálculo del número de ESALs

En la Tabla 36, se presenta la cantidad promedio semanal por tipo de vehículos que circulan por el lugar.

**Tabla 36**

*Índice Medio Diario Semanal – Centro Poblado*

<b>Vehículos</b>	<b>IMDs</b>
Mototaxi	511.72
Motocarga	34.86
Auto	50.86
Station Wagon	11.72
Pick Up	18.28
Panel	2.00
Rural	30.28
Combi	
C2	17.14
C3	7.42
C4	4.58
T2S1	0.00
T2S2	0.00
2S3	0.00

En la Tabla 37, muestra el factor de corrección correspondiente al mes de septiembre

**Tabla 37**

*Factor de Corrección Estacional*

<b>Factor de corrección estacional</b>			
Veh. Livianos	Fe	1.1187	Septiembre
Veh. Pesados	Fe	1.0308	Septiembre

En la tabla 38, se tiene la cantidad anual por tipo de vehículos que circulan por la zona, lo cual es resultado del producto del índice medio diario semanal y su respectivo factor de corrección estacional.

**Tabla 38**
*Índice Medio Diario Anual – Centro Poblado*

<b>Vehículos</b>	<b>IMDa</b>
Mototaxi	572.46
Motocarga	39.00
Auto	56.90
Station Wagon	13.11
Pick Up	20.45
Panel	2.24
Rural	
Combi	33.87
C2	17.67
C3	7.65
C4	4.72
T2S1	0.00
T2S2	0.00
2S3	0.00

Teniendo en consideración que el diseño pueda ser aplicado en un tiempo prudente se procede a cuantificar el tránsito proyectado de vehículos para el año 2025 mediante la expresión:

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1} \dots\dots\dots(12)$$

Se adopta un número de años del periodo de diseño (n) de 3 años.

De la Tabla 39 se obtiene las Tasas de crecimiento de vehículos, se adopta los valores (r) de 0.59% y 1.05% correspondiente a la región Ancash.

**Tabla 39**

*Tasa de Crecimiento de vehículos ligeros y pesados*

<b>Tasa de Crecimiento de Vehículos</b>		
	Ligeros TC	Pesados PBI
Amazonas	0.62%	3.42%
Ancash	0.59%	1.05%
Apurímac	0.59%	6.65%
Arequipa	1.07%	3.37%
Ayacucho	1.18%	3.60%
Cajamarca	0.57%	1.29%
Callao	1.56%	3.41%
Cusco	0.75%	4.43%
Huancavelica	0.83%	2.33%
Huánuco	0.91%	3.85%
Ica	1.15%	3.54%
Junín	0.77%	3.90%
La Libertad	1.26%	2.83%
Lambayeque	0.97%	3.45%
Lima Provincia	1.45%	3.07%
Lima	1.45%	3.69%
Loreto	1.30%	1.29%
Madre de Dios	2.58%	1.98%
Moquegua	1.08%	0.27%
Pasco	0.84%	0.36%
Piura	0.87%	3.23%
Puno	0.92%	3.21%
San Martín	1.49%	3.84%
Tacna	1.50%	2.88%
Tumbes	1.58%	2.60%
Ucayali	1.51%	2.77%

*Nota.* Adaptado de *Ficha Técnica Estándar para Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión de Carreteras Interurbanas*, por MTC, 2019.



Reemplazando en la fórmula se tiene el tránsito proyectando al año 2025 el cual se detalla en la Tabla 40.

**Tabla 40**

*Índice medio diario anual al año 2025 – Centro Poblado*

<b>Vehículos</b>	<b>IMDa (2025)</b>
Mototaxi	579.23
Motocarga	39.46
Auto	57.57
Station Wagon	13.27
Pick Up	20.69
Panel	2.27
Rural Combi	34.27
C2	18.04
C3	7.81
C4	4.82
T2S1	0.00
T2S2	0.00
2S3	0.00

En la figura 65, se muestran las relaciones simplificadas para el cálculo de los ejes equivalentes, para las distintas tipos de ejes de vehículos.

**Figura 65**

*Relación de cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos*

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8,2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	$EE_{S1} = [ P / 6.6 ]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	$EE_{S2} = [ P / 8.2 ]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	$EE_{TA1} = [ P / 14.8 ]^{4.0}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	$EE_{TA2} = [ P / 15.1 ]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	$EE_{TR1} = [ P / 20.7 ]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	$EE_{TR2} = [ P / 21.8 ]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.67), MTC, 2014.

En la Tabla 41, se presenta el cálculo para determinar la sumatoria del Índice medio diario anual flexible.

**Tabla 41**
*Índice Medio Diario Anual de Pavimento Flexible – Centro Poblado*

Categoría	Vehículo	IMDa (2025)	Tipo de eje	Número de llantas	Carga de eje en (Tn)	Fp.flexible	(Fp*IMDa)	
<b>Vehículo liviano</b>	Mototaxi	579.23	-	1	0.3	4.26883E-06	0.002472637	
				2	0.6	6.83013E-05	0.039562188	
	Motocarga	39.46	-	1	0.3	4.26883E-06	0.000168448	
				2	1	0.000527017	0.020796073	
	Auto	57.57	Simple	2	1	0.000527017	0.030340343	
				2	1	0.000527017	0.030340343	
	Station Wagon	13.27	Simple	2	1	0.000527017	0.006993510	
				2	1	0.000527017	0.006993510	
	Pick Up	20.69	Simple	2	1	0.000527017	0.010903973	
				2	1	0.000527017	0.010903973	
	Panel	2.27	Simple	2	1	0.000527017	0.001196328	
				2	1	0.000527017	0.001196328	
	Rural Combi	34.27	Simple	2	1	0.000527017	0.018060857	
				2	1	0.000527017	0.018060857	
<b>Camión</b>	C2	18.04	Simple	2	7	1.265366749	22.82721615	
			Simple	4	11	3.238286961	58.41869677	
	C3	7.81	Simple	2	7	1.265366749	9.882514307	
			Tándem	8	18	2.019213454	15.77005707	
	C4	4.82	Simple	2	7	1.265366749	6.099067729	
<b>Semi trayler</b>	T2S1	0.00	Simple	2	7	1.265366749	0.000000000	
			Simple	4	11	3.238286961	0.000000000	
	T2S2	0.00	Simple	4	11	3.238286961	0.000000000	
			Simple	2	7	1.265366749	0.000000000	
	2S3	0.00	Tándem	8	18	2.019213454	0.000000000	
			Simple	2	7	1.265366749	0.000000000	
				Simple	4	11	3.238286961	0.000000000
				Tándem	12	25	1.706026248	0.000000000
<b>Σ(Fvp*IMDa)</b>							<b>120.465</b>	

De la Figura 66 se adopta un (Fd) de 0.50 y un factor carril (Fc) de 1.00

**Figura 66**

*Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño*

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.64), MTC, 2014.

Para el cálculo del factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (Fca), se emplea la siguiente ecuación:

$$Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \dots\dots\dots (13)$$

En la que se adopta una tasa anual (r) de 1.05% y un periodo de diseño (n) de 20 años

$$Fca = \frac{(1+0.0105)^{20} - 1}{0.0105}$$

$$Fca = 22.126$$



La siguiente ecuación define los ESALs en el carril de diseño (W18):

$$W_{18} = Nrep\ de\ EE = \sum(Fvp \times IMDa) \times Fca \times Fd \times Fc \times 365 \dots\dots\dots (14)$$

Entonces:

$$W_{18} = Nrep\ de\ EE = 120.465 \times 22.126 \times 0.500 \times 1.000 \times 365$$

$$W_{18} = 486,437.068$$

### 1.3 Tipo de tráfico

De la figura 13, y considerando el ESALs en el carril de diseño (W18) se adoptará un tipo de tráfico TP2.

**Figura 13**

*Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t, en el carril de diseño*

Tipos Tráfico Pesado expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE
TP0	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
TP1	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
TP2	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
TP3	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
TP4	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE
TP5	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
TP6	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
TP7	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.128), MTC, 2014.

## 1.4 Índice de confianza

Para un tráfico ( $T_{P2}$ ), adoptamos el valor de confiabilidad (R) de 75%.

### Figura 18

Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola Etapa de Diseño (10 ó 20 años) según el rango de Tráfico.

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	$T_{P0}$	<b>100,000</b>	<b>150,000</b>	65%
	$T_{P1}$	150,001	300,000	70%
	$T_{P2}$	300,001	500,000	75%
	$T_{P3}$	500,001	750,000	80%
	$T_{P4}$	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	$T_{P5}$	1,000,001	1,500,000	85%
	$T_{P6}$	1,500,001	3,000,000	85%
	$T_{P7}$	3,000,001	5,000,000	85%
	$T_{P8}$	5,000,001	7,500,000	90%
	$T_{P9}$	7,500,001	10'000,000	90%
	$T_{P10}$	10'000,001	12'500,000	90%
	$T_{P11}$	12'500,001	15'000,000	90%
	$T_{P12}$	15'000,001	20'000,000	95%
	$T_{P13}$	20'000,001	25'000,000	95%
	$T_{P14}$	25'000,001	30'000,000	95%
	$T_{P15}$	>30'000,000		95%

Nota. Adaptado de Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (p.133), MTC, 2014.

## 1.5 Desviación Estándar Normal

De la Figura 19, según el tipo de tráfico ( $T_{P2}$ ), adoptamos una de desviación estándar normal (ZR) de -0.674.

**Figura 19**

*Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	100,001	150,000	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750 001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	-1.645
T <sub>P15</sub>	>30'000,000		-1.645	

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.135), MTC, 2014.

## 1.6 Desviación estándar combinada (So)

Se adopta una combinación estándar (So) de 0.45 por sugerencia de la Guía AASHTO.

## 1.7 Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad

De la Figura 16, según el tipo de tráfico (TP2), adoptamos el valor Po de 3.80

**Figura 16**

*Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) según Rango de Tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	3.80
	TP2	300,001	500,000	3.80
	TP3	500,001	750,000	3.80
	TP4	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.00
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.00
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.00
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.00
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.00
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.00
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.20
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.20
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.20
	TP15	>30'000,000		4.20

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.137), MTC, 2014.

De la Figura 17, según el tipo de tráfico (TP2), adoptamos el valor de serviciabilidad final (Pt) de 2.00

**Figura 17**

*Índice de Serviciabilidad Final (Pt) según Rango de Tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	2.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	2.50
	TP9	7,500,001	10'000,000	2.50
	TP10	10'000,001	12'500,000	2.50
	TP11	12'500,001	15'000,000	2.50
	TP12	15'000,001	20'000,000	3.00
	TP13	20'000,001	25'000,000	3.00
	TP14	25'000,001	30'000,000	3.00
	TP15	>30'000,000		3.00

Nota. Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.138), MTC, 2014.



Calculando la pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ):

$$\Delta PSI = P_o - P_f = 3.80 - 2.00$$

$$\Delta PSI = 1.80$$

### 1.8 Módulo resiliente de subrasante

De la Tabla 42, se obtiene el valor de CBR = 13.66% para la Calicata C-03 y CBR=19.59% para la Calicata C-03 + 8% emulsión asfáltica.

**Tabla 42**

*Estudio de terreno de fundación – Centro Poblado*

Descripción	Calicata C-03	Calicata C-03 + 8% emulsión asfáltica
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	13.66	19.59

La ecuación de correlación del módulo resiliente con el CBR, es:

$$MR = 2555 \times (CBR)^{0.64}$$

Entonces se tiene:

#### **Calicata C-03**

$$MR = 2555 \times (13.66)^{0.64} = 13,616.935$$

El valor del módulo resiliente (MR) para la Calicata C-03 es 13,616.935 psi.

#### **Calicata C-03 + 8% emulsión asfáltica**

$$MR = 2555 \times (19.59)^{0.64} = 17,151.138$$

El valor del módulo resiliente (MR) para la Calicata C – 03 + 8% emulsión asfáltica es 17,151.138 psi.

## **1.9 Coeficientes estructurales de los materiales**

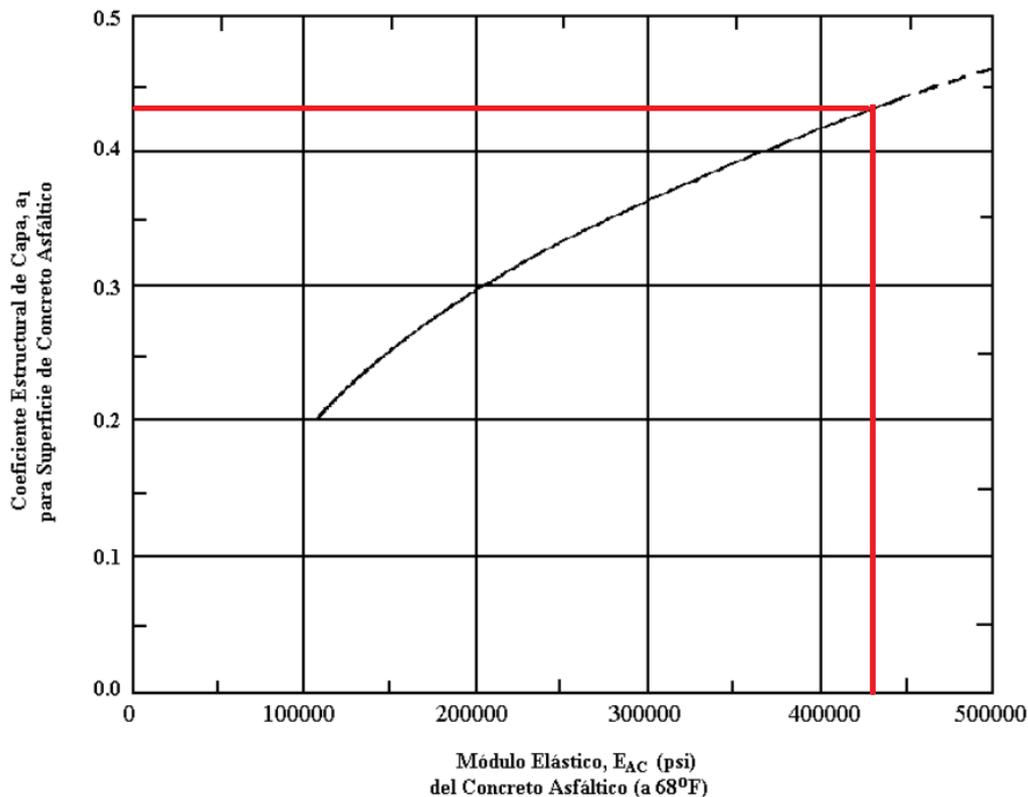
### **1.9.1 Concreto asfáltico**

Según el MTC (2014) en su Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en la Sección Suelos y Pavimentos, considera un valor del módulo elástico (EAC) = 430,000 psi.

Con el valor del módulo elástico, se encuentra el coeficiente estructural del concreto asfáltico ( $a_1$ ), haciendo uso del gráfico de la Figura 20; para el caso, saliendo con el valor de 430,000 psi, se traza una línea vertical hasta interceptar la línea de pivote y de allí una línea horizontal hacia la izquierda para encontrar el valor correspondiente de  $a_1 = 0.432$

**Figura 20**

Gráfica para determinar el coeficiente estructural para la capa de concreto asfáltico ( $a_1$ ) en función del módulo elástico



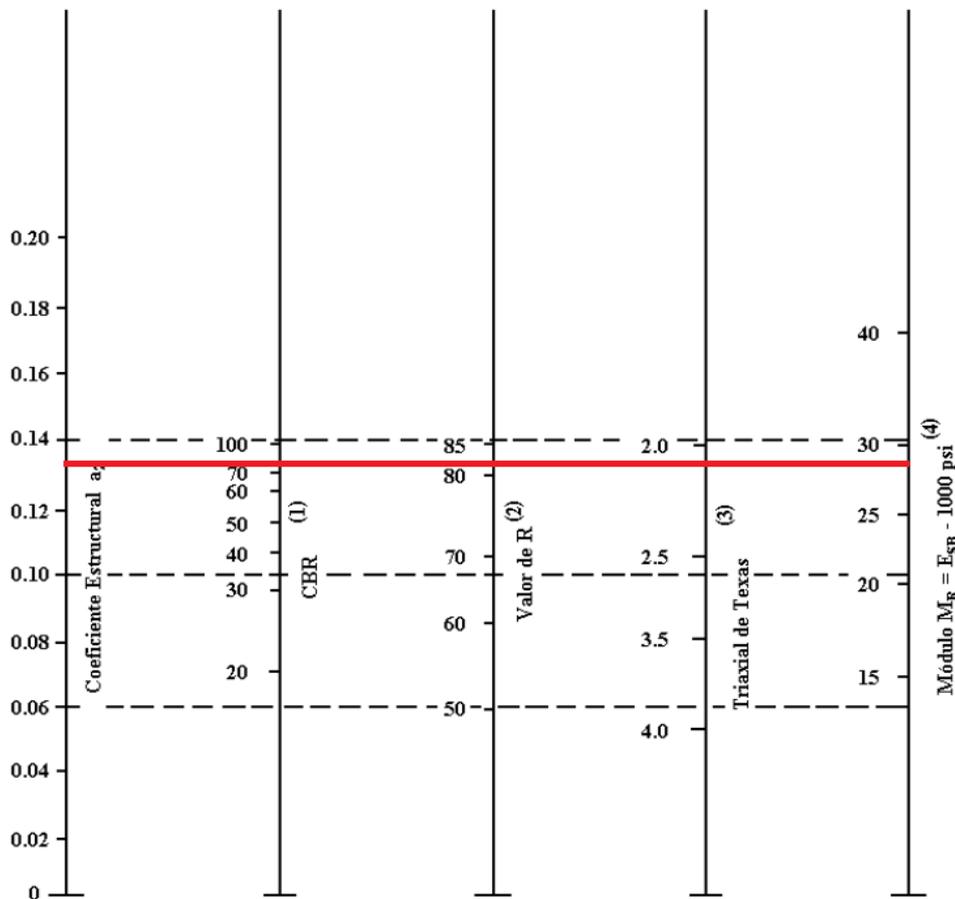
Nota. Adaptado de “Design Requirements”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.18), 1993, Autoedición.

### 1.9.2 Bases granulares no tratadas

El Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en su Sección Suelos y Pavimentos, considera para la capa de base granular un CBR Mínimo de 80% para el diseño del pavimento. Con el valor del CBR de la base = 80%, se encuentra el coeficiente estructural de la base ( $a_2$ ) y el módulo de la base ( $EB$ ) haciendo uso del gráfico de la Figura 21; para el caso, saliendo con el valor de 80, se traza una línea horizontal hasta la línea vertical del extremo izquierdo para encontrar el valor correspondiente de  $a_2 = 0.132$  y se traza una línea horizontal hasta la línea del extremo derecho para encontrar el valor correspondiente de  $EB = 28,300$  psi.

**Figura 21**

Variación en el coeficiente estructural de la capa de base granular ( $a_2$ ) con varios parámetros de resistencia de la base



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

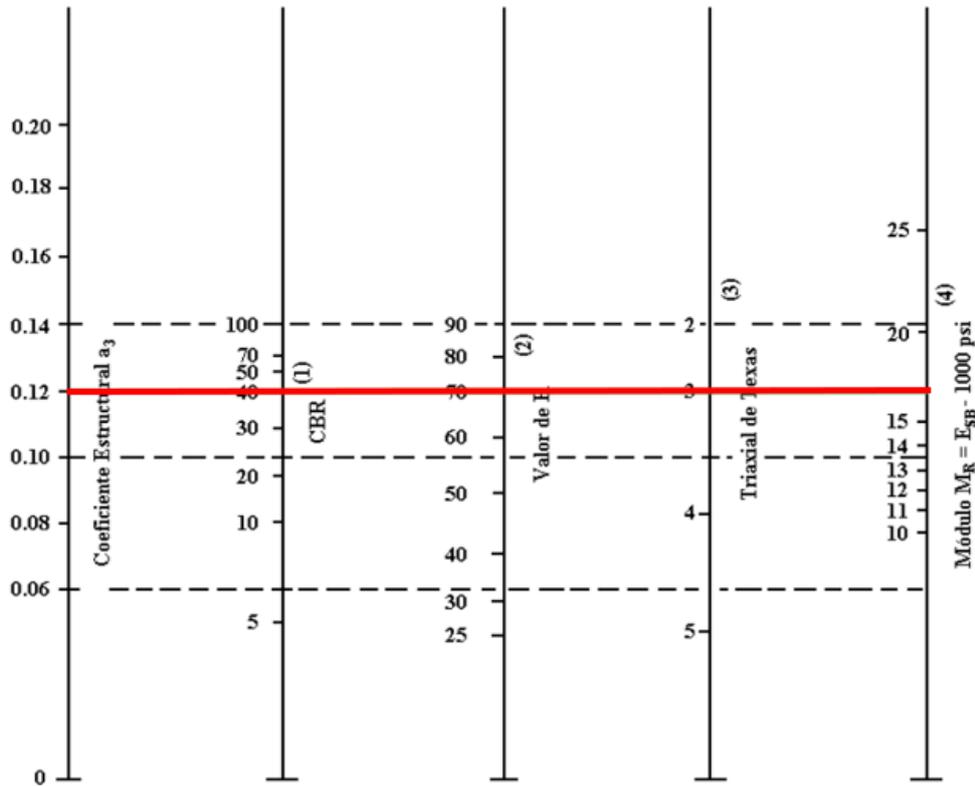
Nota. Adaptado de “Design Requirements”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction (p.19), 1993, Autoedición.

### 1.9.3 Subbases granulares no tratadas

Se considera para la capa de subbase granular un CBR Mínimo de 40%, con este valor de CBR se encuentra el coeficiente estructural ( $a_3$ ) y el módulo de la subbase ( $ESB$ ) usando la gráfica de la Figura 22; obteniendo un  $a_3 = 0.120$  y un valor de  $ESB = 17,200$  psi.

**Figura 22**

Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase granular ( $a_3$ ) con varios parámetros de resistencia de la subbase



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

*Nota.* Adaptado de “*Design Requirements*”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.21), 1993, Autoedición.

### 1.10 Coeficiente de drenaje

De la figura 23, se adoptará un coeficiente de drenaje de la base ( $m_2$ ) de 1.00 y un coeficiente de drenaje de la subbase ( $m_3$ ) de 1.00.

**Figura 23**

Valores Recomendados del coeficiente de drenaje ( $m_i$ ) para bases y subbases granulares no tratadas en pavimentos flexibles

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Nota. Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.142), MTC, 2014.

## 1.11 Determinación de espesores

### 1.11.1 Calicata C-03

#### 1.11.1.1 Espesores mínimos en función al número estructural

Se procede a calcular los espesores de la estructura del pavimento, de la siguiente manera:

Se determina el número estructural requerido,  $SN$ , haciendo uso de la siguiente expresión.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

$$+ 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando los valores en  $W_{18}$ ,  $Z_R$ ,  $S_0$ ,  $\Delta PSI$  y  $M_R$ , así tenemos:

$$\log_{10}(486,437.068) = -0.674 \times 0.450 + 9.360 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.200$$
$$+ \frac{\log_{10}\left(\frac{1.800}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(13,616.935) - 8.07$$

Luego de realizar iteraciones, se obtiene el valor de  $SN = 2.199$ .

Se calcula el número estructural requerido sobre la capa de base,  $SN_1$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero sustituyendo el valor del módulo resiliente de la subrasante ( $M_R$ ), por el valor del módulo de la base,  $EB = 28,300$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_1 = 1.646$ .

Posteriormente se calcula el espesor real de la capa de concreto asfáltico,  $D_1^*$ :

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{1.646}{0.432} = 3.810 \text{ pulg}$$

Teniendo en consideración el ESALs en el carril de diseño (W18), la Guía AASHTO considera un espesor mínimo para el concreto asfáltico de 2.50 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptara un espesor de 2.50 pulgadas.

Se adopta  $D_1^* = 2.50$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_1^*$  entonces:

$$SN_1^* = D_1^* \times a_1 = 2.50 \times 0.432 = 1.080$$

Se determina el número estructural requerido sobre la capa de subbase,  $SN_2$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero substituyendo el valor del módulo resiliente de la subrasante ( $M_R$ ), por el valor del módulo de la subbase,  $E_{SB} = 17,200$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_2 = 2.009$ .

Posteriormente se calcula el espesor real de la capa de base,  $D_2^*$ :

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \times m_2} = \frac{2.009 - 1.080}{0.132 \times 1.00} = 7.038 \text{ pulg}$$

Teniendo en consideración el ESALs en el carril de diseño ( $W_{18}$ ), la Guía AASHTO considera un espesor mínimo para la base de 4.00 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptara un espesor de 4.00 pulgadas.

Se adopta  $D_2^* = 4.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_2^*$  entonces:

$$SN_2^* = D_2^* \times a_2 \times m_2 = 4.00 \times 0.132 \times 1.00 = 0.528$$

El número estructural requerido sobre la subrasante,  $SN_3$ , es igual al número estructural total establecido para el diseño,  $SN$ , para ahora calcular el espesor real de la capa de subbase,  $D_3^*$ :

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \times m_3} = \frac{2.199 - (0.528 + 1.080)}{0.120 \times 1.00} = 4.925 \text{ pulg}$$

Se adopta  $D_3^* = 5.50$  pulg, entonces:

$$SN_3^* = D_3^* \times a_3 \times m_3 = 5.50 \times 0.120 \times 1.00 = 0.660$$

Verificamos el número estructural:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* > SN$$

$$1.080 + 0.528 + 0.660 > 2.199$$

$$2.268 > 2.199$$

De esta manera, la estructura de pavimento flexible tendrá un espesor total de 12.00 pulgadas, conformada por una capa de concreto asfáltico de 2.50 pulgadas, una capa de base granular de 4.00 pulgadas y una capa de subbase de 5.50 pulgadas.

## 1.11.2 Calicata C-03 + 8% Emulsión Asfáltica

### 1.11.2.1 Espesores mínimos en función al número estructural

Se determina el número estructural requerido,  $SN$ , utilizando la Ecuación de diseño.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando los valores en  $W_{18}$ ,  $Z_R$ ,  $S_o$ ,  $\Delta PSI$  y  $M_R$ , así tenemos:

$$\log_{10}(486,437.068) = -0.674 \times 0.450 + 9.360 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.200 + \frac{\log_{10}\left(\frac{1.800}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(17,151.138) - 8.07$$

Mediante un proceso iterativo se obtiene el valor de  $SN = 2.011$ .

Se determina el número estructural requerido sobre la capa de base,  $SN_1$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero sustituyendo el valor del módulo resiliente de la subrasante ( $M_R$ ), por el valor del módulo de la base,  $E_B = 28,300$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_1 = 1.646$ .

Posteriormente se calcula el espesor real de la capa de concreto asfáltico,  $D_1^*$ :

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{1.646}{0.432} = 3.810 \text{ pulg}$$

Teniendo en consideración el ESALs en el carril de diseño ( $W_{18}$ ), la Guía AASHTO considera un espesor mínimo para el concreto asfáltico de 2.50 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptara un espesor de 2.50 pulgadas.

Se adopta  $D_1^* = 2.50$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_1^*$  entonces:

$$SN_1^* = D_1^* \times a_1 = 2.50 \times 0.432 = 1.080$$

Se determina el número estructural requerido sobre la capa de subbase,  $SN_2$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero substituyendo el valor ( $M_R$ ) de la subrasante, por el valor del módulo de la subbase,  $E_{SB} = 17,200$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_2 = 2.009$ .

Posteriormente se calcula el espesor real de la capa de base,  $D_2^*$ :

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \times m_2} = \frac{2.009 - 1.080}{0.132 \times 1.00} = 7.038 \text{ pulg}$$

Teniendo en consideración el ESALs en el carril de diseño (W18), la Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos, considera un espesor mínimo para la base de 4.00 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptará un espesor de 4.00 pulgadas.

Se adopta  $D_2^* = 4.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_2^*$  entonces:

$$SN_2^* = D_2^* \times a_2 \times m_2 = 4.00 \times 0.132 \times 1.00 = 0.528$$

El número estructural requerido sobre la subrasante,  $SN_3$ , es igual al número estructural total establecido para el diseño,  $SN$ , con lo cual podemos determinar el espesor real de la capa de subbase,  $D_3^*$ :

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \times m_3} = \frac{2.011 - (0.528 + 1.080)}{0.120 \times 1.00} = 3.358 \text{ pulg}$$

Se adopta  $D_3^* = 4.00$  pulg, entonces:

$$SN_3^* = D_3^* \times a_3 \times m_3 = 4.00 \times 0.120 \times 1.00 = 0.480$$



Verificamos el número estructural:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* > SN$$

$$1.080 + 0.528 + 0.480 > 2.011$$

$$2.088 > 2.011$$

Consecuentemente, el pavimento flexible tendrá un espesor total de 10.50 pulgadas, conformada por una capa de concreto asfáltico de 2.50 pulgadas, 4.00 pulgadas de base granular y subbase de 4.00 pulgadas.

## 2. Diseño de pavimento flexible para la calicata C-06 (natural y natural + 8% de emulsión asfáltica)

### 2.1 Variables de tiempo

Se optará por un periodo de diseño de 20 años.

**Tabla 13**

*Períodos de análisis y diseño de vías*

Clasificación de la vía	Período de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
<b>Rural de alto volumen de tráfico</b>	<b>20 - 50</b>
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20

*Nota.* Adaptado de “*Design Requirements*”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.7), 1993, Autoedición.

### 2.2 Cálculo del número de ESALs

En la Tabla 43, se tiene la cantidad promedio semanal por tipo de vehículos que circulan.

**Tabla 43**

*Índice Medio Diario Semanal – Tramo 2*

<b>Vehículos</b>	<b>IMDs</b>
Mototaxi	564.28
Motocarga	35.14
Auto	57.42
Station Wagon	14.28
Pick Up	18.58
Panel	2.00
Rural	30.28
Combi	
C2	28.28
C3	15.14
C4	10.58
T2S1	5.72
T2S2	6.28
2S3	6.86

En la Tabla 37 Factor de corrección estacional, muestra el factor de corrección correspondiente al mes de septiembre

**Tabla 37**

*Factor de Corrección Estacional*

<b>Factor de corrección estacional</b>			
Veh. Livianos	Fe	1.1187	Septiembre
Veh. Pesados	Fe	1.0308	Septiembre

En la tabla 44, se presenta el monto anual por clase de vehículos que circulan por el lugar, lo cual se calcula como la multiplicación del índice medio diario semanal y su respectivo factor de corrección estacional.

**Tabla 44**
*Índice Medio Diario Anual – Tramo 2*

<b>Vehículos</b>	<b>IMDa</b>
Mototaxi	631.26
Motocarga	39.31
Auto	64.24
Station Wagon	15.98
Pick Up	20.79
Panel	2.24
Rural	
Combi	33.87
C2	29.15
C3	15.61
C4	10.91
T2S1	5.90
T2S2	6.47
2S3	7.07

Teniendo en consideración que el diseño pueda ser aplicado en un tiempo prudente se procede a cuantificar el tránsito proyectado de vehículos para el año:

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1}$$

Se adopta el valor para “n” de 3 años.

De la Tabla 39 se obtiene las Tasas de crecimiento de vehículos, se adopta los valores (r) de 0.59% y 1.05% correspondiente a la región Ancash.

**Tabla 39**

*Tasa de Crecimiento de vehículos ligeros y pesados*

	Ligeros	Pesados
	TC	PBI
Amazonas	0.62%	3.42%
Ancash	0.59%	1.05%
Apurímac	0.59%	6.65%
Arequipa	1.07%	3.37%
Ayacucho	1.18%	3.60%
Cajamarca	0.57%	1.29%
Callao	1.56%	3.41%
Cusco	0.75%	4.43%
Huancavelica	0.83%	2.33%
Huánuco	0.91%	3.85%
Ica	1.15%	3.54%
Junín	0.77%	3.90%
La Libertad	1.26%	2.83%
Lambayeque	0.97%	3.45%
Lima Provincia	1.45%	3.07%
Lima	1.45%	3.69%
Loreto	1.30%	1.29%
Madre de Dios	2.58%	1.98%
Moquegua	1.08%	0.27%
Pasco	0.84%	0.36%
Piura	0.87%	3.23%
Puno	0.92%	3.21%
San Martín	1.49%	3.84%
Tacna	1.50%	2.88%
Tumbes	1.58%	2.60%
Ucayali	1.51%	2.77%

*Nota.* Adaptado de *Ficha Técnica Estándar para Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión de Carreteras Interurbanas*, por MTC, 2019.



Reemplazando en la fórmula se tiene el tránsito proyectando al año 2025 el cual se detalla en la Tabla 45.

**Tabla 45**

*Índice Medio Diario Anual al año 2025 – Tramo 2*

<b>Vehículos</b>	<b>IMDa (2025)</b>
Mototaxi	638.73
Motocarga	39.78
Auto	65.00
Station Wagon	16.17
Pick Up	21.04
Panel	2.27
Rural Combi	34.27
C2	29.77
C3	15.94
C4	11.14
T2S1	6.02
T2S2	6.61
2S3	7.22

En la figura 65, se muestran las relaciones simplificadas para el cálculo de los ejes equivalentes.

### Figura 65

Relación de cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8,2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	$EE_{S1} = [ P / 6.6 ]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	$EE_{S2} = [ P / 8.2 ]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	$EE_{TA1} = [ P / 14.8 ]^{4.0}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	$EE_{TA2} = [ P / 15.1 ]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	$EE_{TR1} = [ P / 20.7 ]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	$EE_{TR2} = [ P / 21.8 ]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Nota. Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.67), MTC, 2014.

En la Tabla 46, se presenta el cálculo para determinar la sumatoria del Índice medio diario anual flexible.

**Tabla 46**
*Índice Medio Diario Anual de Pavimento Flexible – Tramo 2*

Categoría	Vehículo	IMDa (2025)	Tipo de eje	Número de llantas	Carga de eje en (Tn)	Fp.flexible	(Fp*IMDa)
<b>Vehículo liviano</b>	Mototaxi	638.73	-	1	0.3	4.26883E-06	0.002726632
				2	0.6	6.83013E-05	0.043626118
	Motocarga	39.78	-	1	0.3	4.26883E-06	0.000169814
				2	1	0.000527017	0.020964719
	Auto	65.00	Simple	2	1	0.000527017	0.034256076
				2	1	0.000527017	0.034256076
	Station Wagon	16.17	Simple	2	1	0.000527017	0.008521858
				2	1	0.000527017	0.008521858
	Pick Up	21.04	Simple	2	1	0.000527017	0.011088428
				2	1	0.000527017	0.011088428
	Panel	2.27	Simple	2	1	0.000527017	0.001196328
				2	1	0.000527017	0.001196328
	Rural Combi	34.27	Simple	2	1	0.000527017	0.018060857
				2	1	0.000527017	0.018060857
<b>Camión</b>	C2	29.77	Simple	2	7	1.265366749	37.66996811
			Simple	4	11	3.238286961	96.40380282
			Simple	2	7	1.265366749	20.16994597
	C3	15.94	Tándem	8	18	2.019213454	32.18626245
			Simple	2	7	1.265366749	14.09618558
	C4	11.14	Tridem	10	23	1.508183597	16.80116527
<b>Semi trayler</b>	T2S1	6.02	Simple	2	7	1.265366749	7.617507827
			Simple	4	11	3.238286961	19.49448750
			Simple	4	11	3.238286961	19.49448750
			Simple	2	7	1.265366749	8.364074209
	T2S2	6.61	Simple	4	11	3.238286961	21.40507681
			Tándem	8	18	2.019213454	13.34700093
			Simple	2	7	1.265366749	9.135947926
	2S3	7.22	Simple	4	11	3.238286961	23.38043186
Tridem			12	25	1.706026248	12.31750951	
<b>Σ(Fvp*IMDa)</b>							<b>352.098</b>

De la Figura 66 se adopta un (Fd) de 0.50 y un factor carril (Fc) de 1.00

### Figura 66

*Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño*

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.64), MTC, 2014.

Para el cálculo del factor de crecimiento acumulado (Fca), se emplea la siguiente ecuación:

$$Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

En la que se adopta un valor de tasa de crecimiento anual (r) de 1.05% y un periodo de diseño (n) de 20 años.

$$Fca = \frac{(1+0.0105)^{20} - 1}{0.0105}$$

$$Fca = 22.126$$

La siguiente ecuación define los ESALs en el carril de diseño (W18):

$$W_{18} = Nrep\ de\ EE = \sum(Fvp \times IMDa) \times Fca \times Fd \times Fc \times 365$$

Entonces:

$$W_{18} = Nrep\ de\ EE = 352.098 \times 22.126 \times 0.500 \times 1.000 \times 365$$

$$W_{18} = 1'421,769.964$$

### 2.3 Tipo de tráfico

Considerando el ESALs en el carril de diseño (W18) se adoptará un tipo de tráfico TP5.

#### Figura 13

*Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t, en el carril de diseño*

Tipos Tráfico Pesado expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE
TP0	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
TP1	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
TP2	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
TP3	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
TP4	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE
TP5	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
TP6	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
TP7	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.129), MTC, 2014.

## 2.4 Índice de confianza

De la Figura 18, para el tipo de tráfico (TP5), adoptamos el valor de confiabilidad (R) de 85%.

### Figura 18

*Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola Etapa de Diseño (10 ó 20 años) según el rango de Tráfico.*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	<b>TP0</b>	<b>100,000</b>	<b>150,000</b>	65%
	TP1	150,001	300,000	70%
	TP2	300,001	500,000	75%
	TP3	500,001	750,000	80%
	TP4	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	<b>TP5</b>	<b>1,000,001</b>	<b>1,500,000</b>	<b>85%</b>
	TP6	1,500,001	3,000,000	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	TP8	5,000,001	7,500,000	90%
	TP9	7,500,001	10'000,000	90%
	TP10	10'000,001	12'500,000	90%
	TP11	12'500,001	15'000,000	90%
	TP12	15'000,001	20'000,000	95%
	TP13	20'000,001	25'000,000	95%
	TP14	25'000,001	30'000,000	95%
	TP15	>30'000,000		95%

Nota. Adaptado de Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (p.133), MTC, 2014.

## 2.5 Desviación Estándar Normal

Según el tipo de tráfico (TP5), adoptamos el valor (ZR) de -1.036.

**Figura 19**

*Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (ZR)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	100,001	150,000	-0.385
	TP1	150,001	300,000	-0.524
	TP2	300,001	500,000	-0.674
	TP3	500,001	750,000	-0.842
	TP4	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	TP6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	TP8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	TP9	7,500,001	10'000,000	-1.282
	TP10	10'000,001	12'500,000	-1.282
	TP11	12'500,001	15'000,000	-1.282
	TP12	15'000,001	20'000,000	-1.645
	TP13	20'000,001	25'000,000	-1.645
	TP14	25'000,001	30'000,000	-1.645
	TP15	>30'000,000		-1.645

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.135), MTC, 2014.

## 2.6 Desviación estándar combinada (So)

Se adopta el valor (SO) de 0.45 para el diseño de pavimentos flexibles.

## 2.7 Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad

De la Figura 16, para (TP5), adoptamos el valor de serviciabilidad inicial (Pi) de 4.00

**Figura 16**

*Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) según Rango de Tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	3.80
	TP2	300,001	500,000	3.80
	TP3	500,001	750,000	3.80
	TP4	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.00
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.00
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.00
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.00
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.00
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.00
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.20
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.20
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.20
	TP15		>30'000,000	4.20

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.137), MTC, 2014.

De la Figura 17, según el tipo de tráfico (TP5), adoptamos el valor de serviciabilidad final (Pt) de 2.50

**Figura 17**

*Índice de Serviciabilidad Final (Pt) según Rango de Tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	2.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	2.50
	TP9	7,500,001	10'000,000	2.50
	TP10	10'000,001	12'500,000	2.50
	TP11	12'500,001	15'000,000	2.50
	TP12	15'000,001	20'000,000	3.00
	TP13	20'000,001	25'000,000	3.00
	TP14	25'000,001	30'000,000	3.00
	TP15	>30'000,000		3.00

Nota. Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.138), MTC, 2014.

Calculando la variación de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ):

$$\Delta PSI = P_i - P_f = 4.00 - 2.50$$

$$\Delta PSI = 1.50$$



## 2.8 Módulo resiliente de subrasante

De la Tabla 47, se obtiene el valor de CBR = 12.53% para la Calicata C-06 y CBR=18.42% para la Calicata C-06 + 8% emulsión asfáltica.

**Tabla 47**

*Estudio de terreno de fundación – Tramo 2*

Descripción	Calicata C-06	Calicata C-06 + 8% emulsión asfáltica
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	12.53	18.42

La ecuación de correlación del módulo resiliente con el CBR, es:

$$MR = 2555 \times (CBR)^{0,64}$$

Entonces se tiene:

### **Calicata C-06**

$$MR = 2555 \times (12.53)^{0,64} = 12,884.857$$

El valor del módulo resiliente (MR) para la Calicata C-06 es 12,884.857 psi.

### **Calicata C-06 + 8% emulsión asfáltica**

$$MR = 2555 \times (18.42)^{0,64} = 16,488.315$$

El valor del módulo resiliente (MR) para la Calicata C-06 + 8% emulsión asfáltica es 16,488.315 psi.

## 2.9 Coeficientes estructurales de los materiales

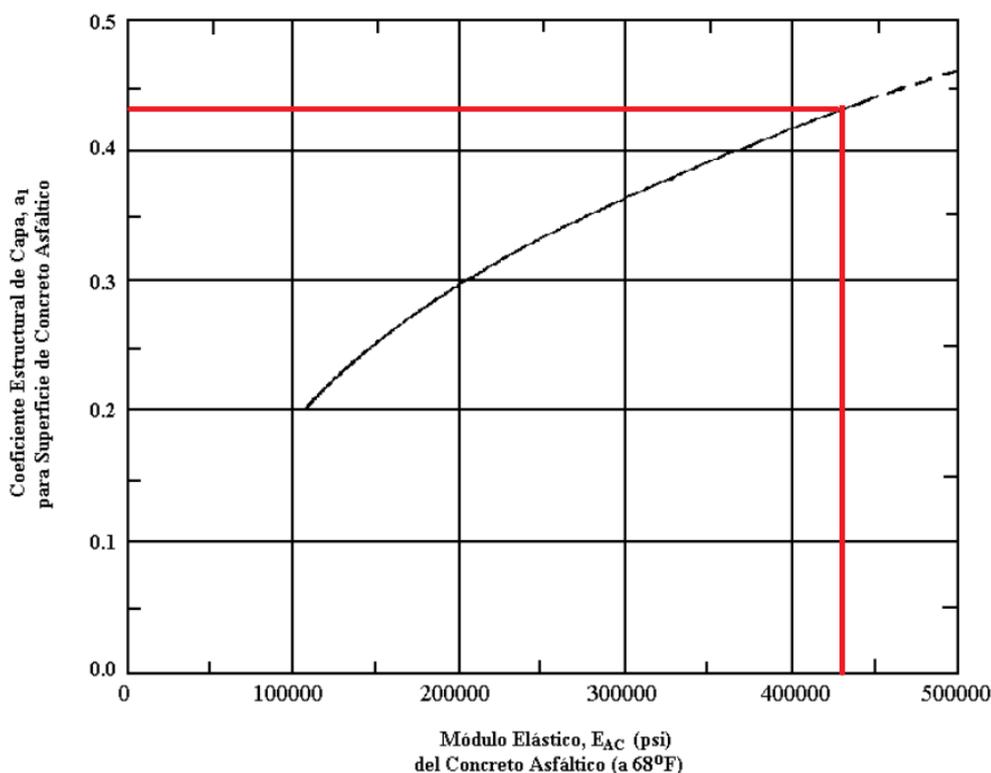
### 2.9.1 Concreto asfáltico

Según el MTC (2014), el módulo elástico del concreto asfáltico ( $E_{AC}$ ) = 430,000 psi.

Con el valor del módulo elástico, se encuentra el coeficiente estructural del concreto asfáltico ( $a_1$ ), haciendo uso del gráfico de la Figura 20; para el caso, usando el valor de 430,000 psi, el valor correspondiente de  $a_1 = 0.432$

#### Figura 20

Gráfica para determinar el coeficiente estructural para la capa de concreto asfáltico ( $a_1$ ) en función del módulo elástico



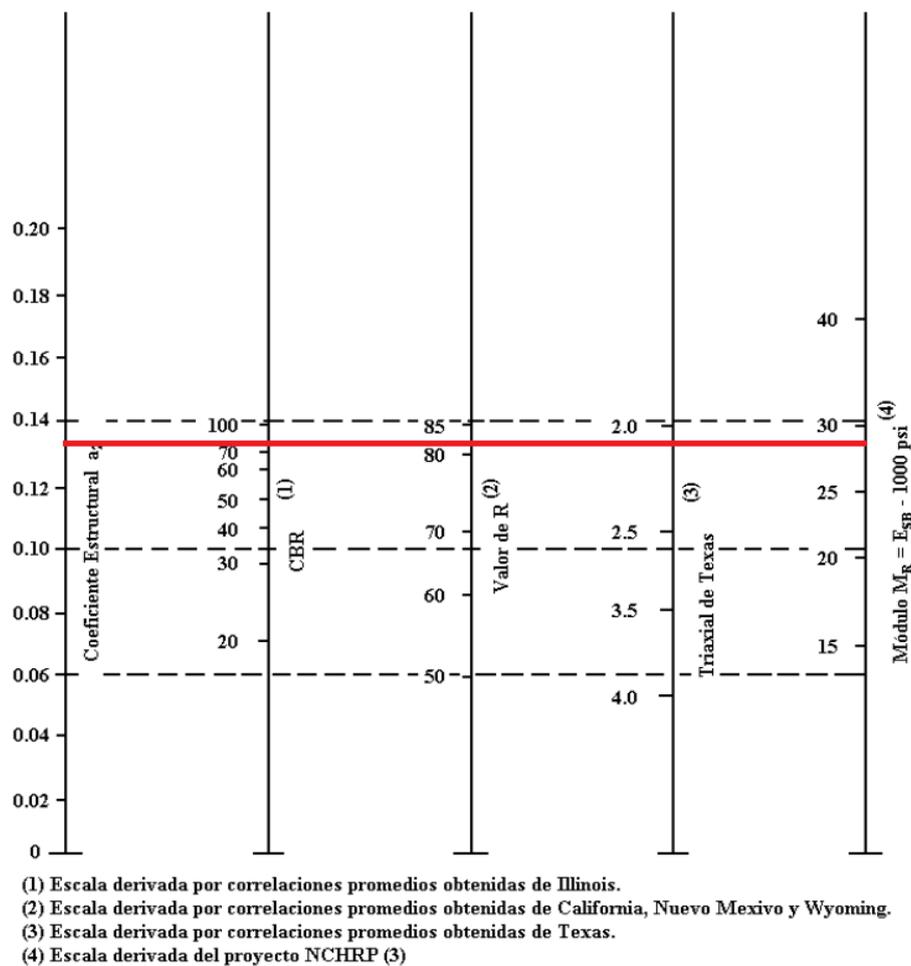
Nota. Adaptado de “*Design Requirements*”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.18), 1993, Autoedición.

## 2.9.2 Bases granulares no tratadas

El Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, considera para la capa de base un CBR Mínimo de 80%. Con este valor se encuentra el coeficiente estructural ( $a_2$ ) y el módulo de la base ( $E_B$ ). Obteniendo un valor de  $a_2 = 0.132$  y un valor de  $E_B = 28,300$  psi.

### Figura 21

Variación en el coeficiente estructural de la capa de base granular ( $a_2$ ) con varios parámetros de resistencia de la base



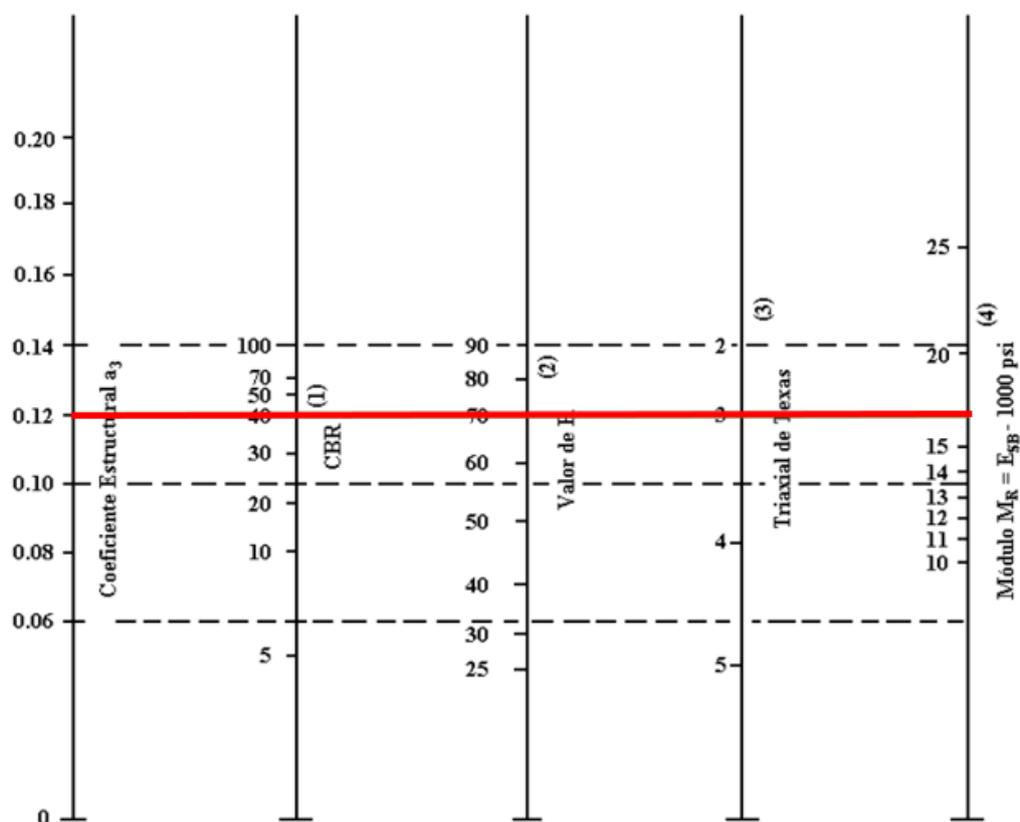
Nota. Adaptado de “Design Requirements”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction (p.19), 1993, Autoedición.

### 2.9.3 Subbases granulares no tratadas

Se considera para la capa de subbase granular un CBR Mínimo de 40% para el diseño del pavimento.

**Figura 22**

Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase granular ( $a_3$ ) con varios parámetros de resistencia de la subbase



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

*Nota.* Adaptado de "Design Requirements", por American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction (p.21), 1993, Autoedición.

## 2.10 Coeficiente de drenaje

De la figura 23 se adoptará un coeficiente ( $m_2$ ) de 1.00 y un coeficiente de drenaje de la subbase ( $m_3$ ) de 1.00.

### Figura 23

*Valores Recomendados del coeficiente de drenaje ( $m_i$ ) para bases y subbases granulares no tratadas en pavimentos flexibles*

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.142), MTC, 2014.

## 2.11 Determinación de espesores

### 2.11.1 Calicata C-06

#### 2.11.1.1 Espesores mínimos en función al número estructural

Se determina el número estructural requerido,  $SN$ , haciendo uso de la ecuación brindada en la metodología usada.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando los valores en  $W_{18}$ ,  $Z_R$ ,  $S_0$ ,  $\Delta PSI$  y  $M_R$ , así tenemos:

$$\log_{10}(1'421,769.964) = -1.036 \times 0.450 + 9.360 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.200$$

$$+ \frac{\log_{10}\left(\frac{1.500}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(12,884.857) - 8.07$$

Iterando se calcula el valor de  $SN = 2.914$ .

Se determina el número estructural requerido sobre la capa de base,  $SN_1$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero sustituyendo el valor ( $M_R$ ) de la subrasante, por  $E_B = 28,300$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_1 = 2.129$ .

Posteriormente se calcula el espesor real de la capa de concreto asfáltico,  $D_1^*$ :

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.129}{0.432} = 4.928 \text{ pulg}$$

Teniendo en consideración el ESALs en el carril de diseño ( $W_{18}$ ), la Guía AASHTO establece un espesor mínimo para el concreto asfáltico de 3.00 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptara un espesor de 3.00 pulgadas.

Se adopta  $D_1^* = 3.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_1^*$  entonces:

$$SN_1^* = D_1^* \times a_1 = 3.00 \times 0.432 = 1.296$$

Se establece el número estructural requerido en la capa de subbase,  $SN_2$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero substituyendo el valor del módulo resiliente de la subrasante ( $M_R$ ), por el valor de la subbase,  $E_{SB} = 17,200$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_2 = 2.596$ .

Posteriormente se halla el espesor real de la base,  $D_2^*$ :

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \times m_2} = \frac{2.596 - 1.296}{0.132 \times 1.00} = 9.850 \text{ pulg}$$

Teniendo en consideración el ESALs en el carril de diseño ( $W_{18}$ ), AASHTO considera un espesor mínimo para la base de 6.00 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptará un espesor de 7.00 pulgadas.

Se adopta  $D_2^* = 7.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_2^*$  entonces:

$$SN_2^* = D_2^* \times a_2 \times m_2 = 7.00 \times 0.132 \times 1.00 = 0.924$$

El número estructural requerido sobre la subrasante,  $SN_3$ , es igual al establecido para el diseño,  $SN$ , a lo cual se calcula el espesor real de la capa de subbase,  $D_3^*$ :

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \times m_3} = \frac{2.914 - (0.924 + 1.296)}{0.120 \times 1.00} = 5.780 \text{ pulg}$$

Se adopta  $D_3^* = 7.00$  pulg, entonces:

$$SN_3^* = D_3^* \times a_3 \times m_3 = 7.00 \times 0.120 \times 1.00 = 0.840$$

Verificamos el número estructural:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* > SN$$

$$1.296 + 0.924 + 0.840 > 2.914$$

$$3.060 > 2.914$$

Por lo tanto, la estructura tendrá un espesor total de 17.00 pulgadas, conformada por una capa de concreto asfáltico de 3.00 pulgadas, una capa base de 7.00 pulgadas y una capa subbase de 7.00 pulgadas.

## 2.11.2 Calicata C-06 + 8% Emulsión Asfáltica

### 2.11.2.1 Espesores mínimos en función al número estructural

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando los valores en  $W_{18}$ ,  $Z_R$ ,  $S_o$ ,  $\Delta PSI$  y  $M_R$ , así tenemos:

$$\log_{10}(1'421,769.964) = -1.036 \times 0.450 + 9.360 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.200 + \frac{\log_{10}\left(\frac{1.500}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(16,488.315) - 8.07$$

Se obtiene el valor de  $SN = 2.640$

Se calcula  $SN_1$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero sustituyendo el valor ( $M_R$ ) de la subrasante, por el valor del módulo de la base,  $E_B = 28,300$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_1 = 2.129$ .

Posteriormente se calcula el espesor real de concreto asfáltico,  $D_1^*$ :

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.129}{0.432} = 4.928 \text{ pulg}$$

Teniendo en consideración el ESALs en el carril de diseño, la Guía AASHTO recomienda un espesor mínimo para el concreto asfáltico de 3.00 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptara un espesor de 3.00 pulgadas.

Se adopta  $D_1^* = 3.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_1^*$  entonces:

$$SN_1^* = D_1^* \times a_1 = 3.00 \times 0.432 = 1.296$$

Se calcula  $SN_2$ , substituyendo el valor de ( $M_R$ ) de la subrasante, por el valor del módulo de la subbase,  $E_{SB} = 17,200$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_2 = 2.596$ .

Posteriormente hallamos el espesor real de la base,  $D_2^*$ :

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \times m_2} = \frac{2.596 - 1.296}{0.132 \times 1.00} = 9.848 \text{ pulg}$$

AASHTO en base al ESALs, recomienda un espesor mínimo de 6.00 pulgadas.

Se adopta  $D_2^* = 6.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_2^*$  entonces:

$$SN_2^* = D_2^* \times a_2 \times m_2 = 6.00 \times 0.132 \times 1.00 = 0.792$$

El número estructural requerido sobre la subrasante,  $SN_3$ , es igual al número estructural total establecido para el diseño,  $SN$ , a lo cual calcula el espesor real de la capa de subbase,  $D_3^*$ :

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \times m_3} = \frac{2.640 - (0.792 + 1.296)}{0.120 \times 1.00} = 4.600 \text{ pulg}$$

Se adopta  $D_3^* = 6.00$  pulg, entonces:

$$SN_3^* = D_3^* \times a_3 \times m_3 = 6.00 \times 0.120 \times 1.00 = 0.720$$

Verificamos el número estructural:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* > SN$$

$$1.296 + 0.792 + 0.720 > 2.640$$

$$2.808 > 2.640$$

Por lo tanto, la estructura de pavimento tendrá un espesor total de 15.00 pulgadas, conformada por una capa asfáltica de 3.00 pulgadas, una base granular de 6.00 pulgadas y una subbase de 6.00 pulgadas.

### 3. Diseño de pavimento flexible para la calicata C-09 (natural y natural + 8% de emulsión asfáltica)

#### 3.1 Variables de tiempo

Se optará por un período de 20 años.

**Tabla 13**

*Períodos de análisis y diseño de vías*

Clasificación de la vía	Período de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
<b>Rural de alto volumen de tráfico</b>	<b>20 - 50</b>
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20

*Nota.* Adaptado de “*Design Requirements*”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.7), 1993, Autoedición.

#### 3.2 Cálculo del número de ESALs

En la Tabla 48, se indica el monto promedio semanal de vehículos que circulan por la zona.

**Tabla 48**

*Índice Medio Diario Semanal – Tramo 1*

<b>Vehículos</b>	<b>IMDs</b>
Mototaxi	564.28
Motocarga	44.28
Auto	74.00
Station Wagon	16.00
Pick Up	37.14
Panel	4.86
Rural	40.58
Combi	
C2	35.72
C3	20.00
C4	13.42
T2S1	6.58
T2S2	9.42
2S3	9.14

En la Tabla 37, se expone el factor de corrección correspondiente al mes de septiembre

**Tabla 37**

*Factor de Corrección Estacional*

<b>Factor de corrección estacional</b>			
Veh. Livianos	Fe	1.1187	Septiembre
Veh. Pesados	Fe	1.0308	Septiembre

En la tabla 49, se muestra el IMDA, lo cual es resultado de la multiplicación del índice medio diario semanal y su respectivo factor de corrección estacional.

**Tabla 49**
*Índice Medio Diario Anual – Tramo 1*

<b>Vehículos</b>	<b>IMDa</b>
Mototaxi	631.26
Motocarga	49.54
Auto	82.78
Station Wagon	17.90
Pick Up	41.55
Panel	5.44
Rural	
Combi	45.40
C2	36.82
C3	20.62
C4	13.83
T2S1	6.78
T2S2	9.71
2S3	9.42

Teniendo en consideración que el diseño pueda ser aplicado en un tiempo prudente se procede a cuantificar el tránsito proyectado de vehículos para el año 2025:

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1}$$

Se adopta (n) de 3 años.

De la Tabla 39 se obtiene las Tasas de crecimiento de vehículos, se adopta los valores (r) de 0.59% y 1.05% correspondiente a la región Ancash.

**Tabla 39**

*Tasa de Crecimiento de vehículos ligeros y pesados*

<b>Tasa de Crecimiento de Vehículos</b>		
	Ligeros	Pesados
	TC	PBI
Amazonas	0.62%	3.42%
Ancash	0.59%	1.05%
Apurímac	0.59%	6.65%
Arequipa	1.07%	3.37%
Ayacucho	1.18%	3.60%
Cajamarca	0.57%	1.29%
Callao	1.56%	3.41%
Cusco	0.75%	4.43%
Huancavelica	0.83%	2.33%
Huánuco	0.91%	3.85%
Ica	1.15%	3.54%
Junín	0.77%	3.90%
La Libertad	1.26%	2.83%
Lambayeque	0.97%	3.45%
Lima Provincia	1.45%	3.07%
Lima	1.45%	3.69%
Loreto	1.30%	1.29%
Madre de Dios	2.58%	1.98%
Moquegua	1.08%	0.27%
Pasco	0.84%	0.36%
Piura	0.87%	3.23%
Puno	0.92%	3.21%
San Martín	1.49%	3.84%
Tacna	1.50%	2.88%
Tumbes	1.58%	2.60%
Ucayali	1.51%	2.77%

*Nota.* Adaptado de *Ficha Técnica Estándar para Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión de Carreteras Interurbanas*, por MTC, 2019.

Reemplazando en la fórmula se tiene el tránsito proyectando al año 2025 el cual se detalla en la Tabla 50.

**Tabla 50**

*Índice Medio Diario Anual al año 2025 – Tramo 1*

<b>Vehículos</b>	<b>IMDa (2025)</b>
Mototaxi	638.73
Motocarga	50.13
Auto	83.76
Station Wagon	18.11
Pick Up	42.04
Panel	5.50
Rural Combi	45.94
C2	37.60
C3	21.06
C4	14.12
T2S1	6.92
T2S2	9.91
2S3	9.62

En la figura 65, se muestran las relaciones simplificadas para el cálculo de los ejes equivalentes, para las distintas configuraciones de vehículos.

**Figura 65**

*Relación de cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos*

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8,2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	$EE_{S1} = [ P / 6.6 ]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	$EE_{S2} = [ P / 8.2 ]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	$EE_{TA1} = [ P / 14.8 ]^{4.0}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	$EE_{TA2} = [ P / 15.1 ]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	$EE_{TR1} = [ P / 20.7 ]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	$EE_{TR2} = [ P / 21.8 ]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.67), MTC, 2014.

En la Tabla 51, se muestra el cálculo para determinar la sumatoria del Índice medio diario anual flexible.

**Tabla 51**
*Índice Medio Diario Anual de Pavimento Flexible – Tramo 1*

Categoría	Vehículo	IMDa (2025)	Tipo de eje	Número de llantas	Carga de eje en (Tn)	Fp.flexible	(Fp* IMDa)
<b>Vehículo liviano</b>	Mototaxi	638.73	-	1	0.3	4.26883E-06	0.002726632
				2	0.6	6.83013E-05	0.043626118
	Motocarga	50.13	-	1	0.3	4.26883E-06	0.000213997
				2	1	0.000527017	0.02641934
	Auto	83.76	Simple	2	1	0.000527017	0.044142907
				2	1	0.000527017	0.044142907
	Station Wagon	18.11	Simple	2	1	0.000527017	0.00954427
				2	1	0.000527017	0.00954427
	Pick Up	42.04	Simple	2	1	0.000527017	0.022155776
				2	1	0.000527017	0.022155776
	Panel	5.50	Simple	2	1	0.000527017	0.002898591
				2	1	0.000527017	0.002898591
	Rural Combi	45.94	Simple	2	1	0.000527017	0.024211141
				2	1	0.000527017	0.024211141
<b>Camión</b>	C2	37.60	Simple	2	7	1.265366749	47.57778975
			Simple	4	11	3.238286961	121.7595897
			Simple	2	7	1.265366749	26.64862373
	C3	21.06	Tándem	8	18	2.019213454	42.52463534
			Simple	2	7	1.265366749	17.86697849
	C4	14.12	Tridem	10	23	1.508183597	21.29555239
<b>Semi trayler</b>	T2S1	6.92	Simple	2	7	1.265366749	8.756337901
			Simple	4	11	3.238286961	22.40894577
			Simple	4	11	3.238286961	22.40894577
			Simple	2	7	1.265366749	12.53978448
	T2S2	9.91	Simple	4	11	3.238286961	32.09142378
			Tándem	8	18	2.019213454	20.01040533
			Simple	2	7	1.265366749	12.17282812
	2S3	9.62	Tridem	12	25	1.706026248	16.41197251
<b>Σ(Fvp*IMDa)</b>							<b>455.910</b>

De la Figura 66 se adopta (Fd) de 0.50 y (Fc) de 1.00.

### Figura 66

*Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño*

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.64), MTC, 2014.

Para el cálculo del factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (Fca), se emplea la siguiente ecuación:

$$Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Se adopta un valor de tasa anual (r) de 1.05% y un intervalo de diseño (n) de 20 años

$$Fca = \frac{(1+0.0105)^{20} - 1}{0.0105}$$

$$Fca = 22.126$$

La siguiente ecuación define los ESALs:

$$W_{18} = N_{rep\ de\ EE} = \sum(F_{vp} \times I_{MDa}) \times F_{ca} \times F_d \times F_c \times 365$$

Entonces:

$$W_{18} = N_{rep\ de\ EE} = 455.910 \times 22.126 \times 0.500 \times 1.000 \times 365$$

$$W_{18} = 1'840,962.300$$

### 3.3 Tipo de tráfico

Teniendo en consideración el ESALs en el carril de diseño (W18) se adoptará un tráfico

TP6.

#### Figura 13

*Numero de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2t, en el carril de diseño*

Tipos Tráfico Pesado expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE
TP0	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
TP1	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
TP2	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
TP3	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
TP4	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE
TP5	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
TP6	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
TP7	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.75), MTC, 2014.

### 3.4 Índice de confianza

Para (T<sub>P6</sub>), adoptamos el valor de confiabilidad de 85%.

#### Figura 18

Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola Etapa de Diseño (10 ó 20 años) según el rango de Tráfico.

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	100,000	150,000	65%
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	70%
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	75%
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	80%
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	85%
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	85%
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	85%
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	90%
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	90%
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	90%
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	90%
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	95%
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	95%
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	95%
	T <sub>P15</sub>	>30'000,000		95%

Nota. Adaptado de Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (p.133), MTC, 2014.

### 3.5 Desviación Estándar Normal

De la Figura 19, para (T<sub>P6</sub>), adoptamos el valor (ZR) de -1.036.

**Figura 19**

*Coficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 ó 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (ZR)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	100,001	150,000	-0.385
	TP1	150,001	300,000	-0.524
	TP2	300,001	500,000	-0.674
	TP3	500,001	750,000	-0.842
	TP4	750 001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	TP6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	TP8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	TP9	7,500,001	10'000,000	-1.282
	TP10	10'000,001	12'500,000	-1.282
	TP11	12'500,001	15'000,000	-1.282
	TP12	15'000,001	20'000,000	-1.645
	TP13	20'000,001	25'000,000	-1.645
	TP14	25'000,001	30'000,000	-1.645
	TP15	>30'000,000		-1.645

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.135), MTC, 2014.

### 3.6 Desviación estándar combinada (So)

Se adopta el valor (So) de 0.45 para el diseño de pavimentos flexibles.

### 3.7 Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad

Para (TP6), adoptamos el valor de serviciabilidad inicial (Pi) de 4.00

**Figura 16**

*Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) según Rango de Tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	3.80
	TP2	300,001	500,000	3.80
	TP3	500,001	750,000	3.80
	TP4	750 001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.00
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.00
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.00
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.00
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.00
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.00
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.20
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.20
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.20
	TP15		>30'000,000	4.20

*Nota.* Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.137), MTC, 2014.

Para (TP6), adoptamos el valor de serviciabilidad final (Pt) de 2.50

**Figura 17**

*Índice de Serviciabilidad Final (Pt) según Rango de Tráfico*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750 001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	2.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	2.50
	TP9	7,500,001	10'000,000	2.50
	TP10	10'000,001	12'500,000	2.50
	TP11	12'500,001	15'000,000	2.50
	TP12	15'000,001	20'000,000	3.00
	TP13	20'000,001	25'000,000	3.00
	TP14	25'000,001	30'000,000	3.00
	TP15	>30'000,000		3.00

Nota. Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.138), MTC, 2014.

Calculando ( $\Delta PSI$ ) con los valores obtenidos anteriormente.

$$\Delta PSI = P_i - P_f = 4.00 - 2.50$$

$$\Delta PSI = 1.50$$

### 3.8 Módulo resiliente de subrasante

De la Tabla 52, se obtiene el valor de CBR = 10.17% para la Calicata C-09 y CBR=18.80% para la Calicata C-09 + 8% emulsión asfáltica.

**Tabla 52**

*Estudio de terreno de fundación – Tramo 1*

Descripción	Calicata C-09	Calicata C-09 + 8% emulsión asfáltica
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	10.17	18.80

La ecuación de correlación del módulo resiliente con el CBR, es:

$$MR = 2555 \times (CBR)^{0,64}$$

Entonces se tiene:

#### **Calicata C-09**

$$MR = 2555 \times (10.17)^{0,64} = 11,273.955$$

El valor del módulo resiliente (MR) para la Calicata C-09 es 11,273.955 psi.

#### **Calicata C-09 + 8% emulsión asfáltica**

$$MR = 2555 \times (18.80)^{0,64} = 16,705.210$$

El valor del módulo resiliente (Mr) para la Calicata C-09 + 8% emulsión asfáltica es 16,705.210 psi.

### 3.9 Coeficientes estructurales de los materiales

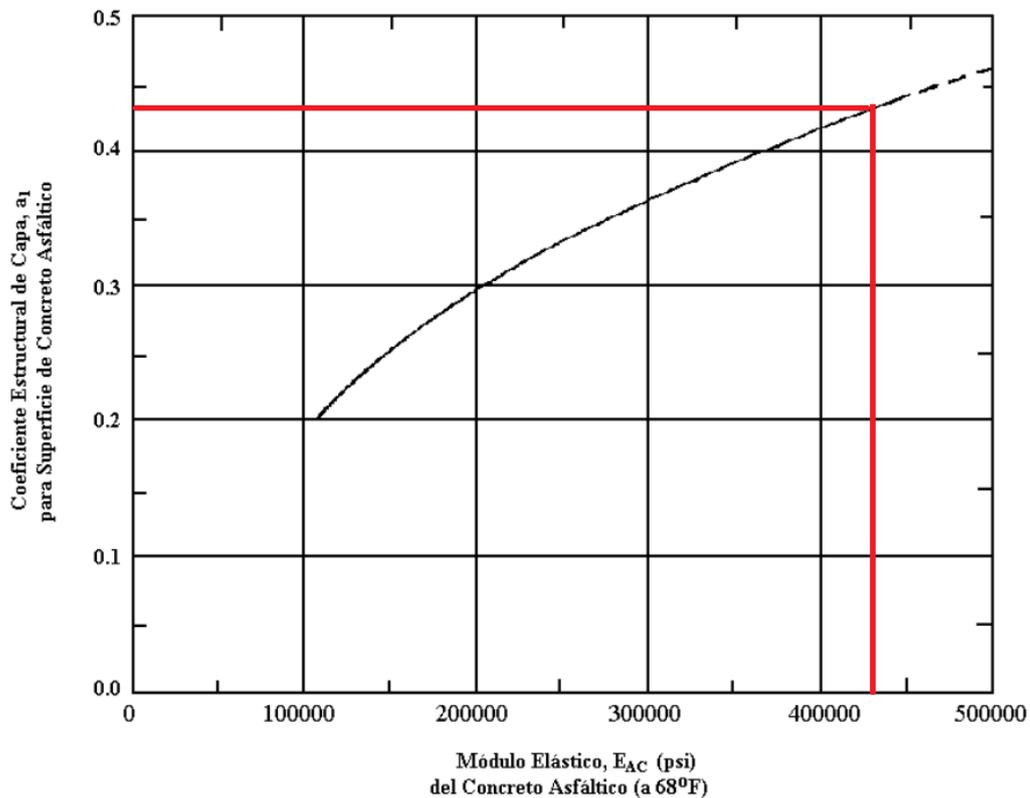
#### 3.9.1 Concreto asfáltico

Consideramos un valor del módulo elástico del concreto asfáltico ( $E_{AC}$ ) = 430,000 psi.

Con el valor del módulo elástico, se encuentra el coeficiente estructural del concreto asfáltico ( $a_1$ ), haciendo uso del gráfico de la Figura 20, encontrando  $a_1 = 0.432$

#### Figura 20

Gráfica para determinar el coeficiente estructural para la capa de concreto asfáltico ( $a_1$ ) en función del módulo elástico



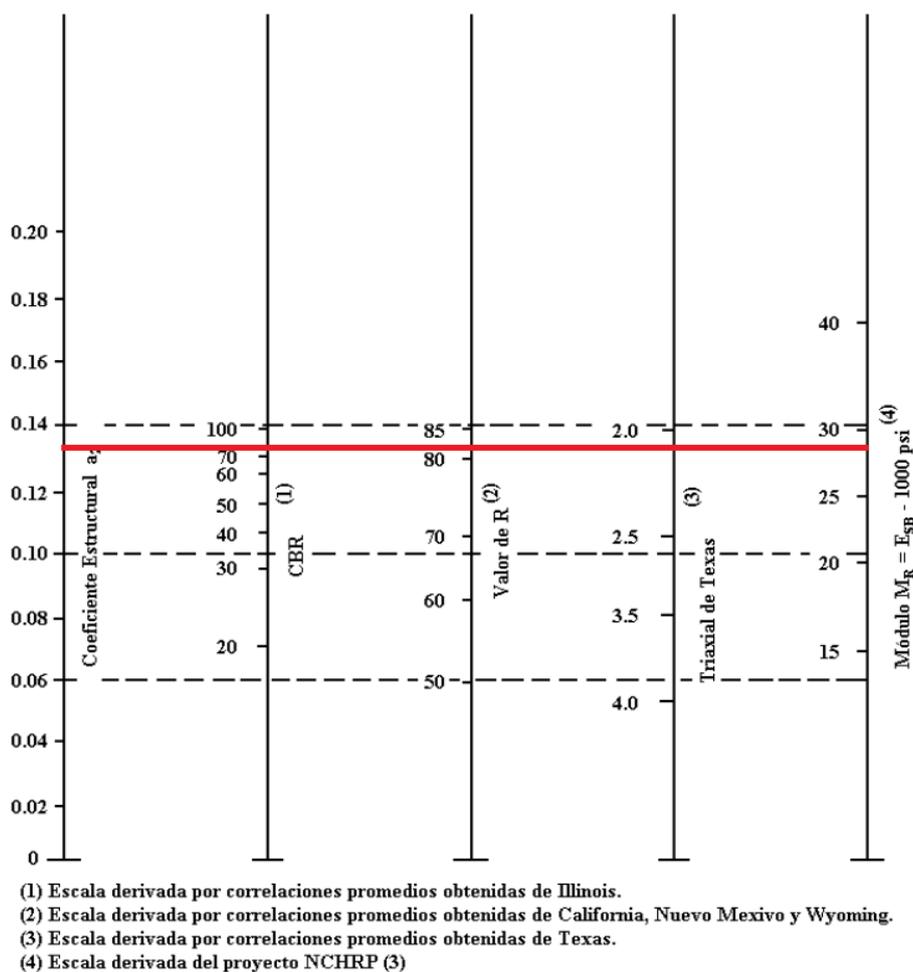
Nota. Adaptado de “Design Requirements”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.18), 1993, Autoedición.

### 3.9.2 Bases granulares no tratadas

El Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” considera para la capa de base granular un CBR Mínimo de 80%. Se encuentra el coeficiente estructural ( $a_2$ ) y el módulo de la base ( $E_B$ ); se encuentra el valor de  $a_2 = 0.132$  y un valor de  $E_B = 28,300$  psi.

**Figura 21**

Variación en el coeficiente estructural de la capa de base granular ( $a_2$ ) con varios parámetros de resistencia de la base



Nota. Adaptado de “Design Requirements”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction* (p.19), 1993, Autoedición.

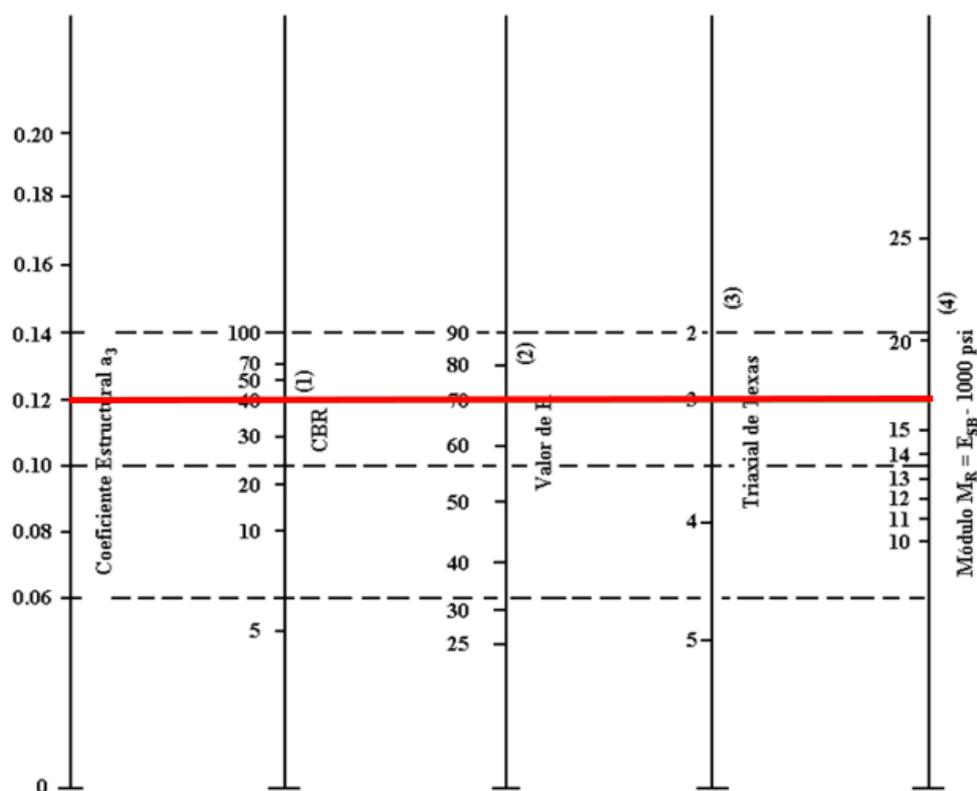
### 3.9.3 Subbases granulares no tratadas

Para la capa de subbase granular se considera un CBR mínimo de 40% para el diseño.

Se encuentra el coeficiente ( $a_3$ ) y el módulo de la subbase ( $E_{SB}$ ) usando el gráfico de la Figura 22, saliendo con el valor de 40,  $a_3 = 0.120$  y el valor de  $E_{SB} = 17,200$  psi.

**Figura 22**

Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase granular ( $a_3$ ) con varios parámetros de resistencia de la subbase



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

*Nota.* Adaptado de “Design Requirements”, por American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993. Part II: Pavement Design Producers for New Construction or Reconstruction (p.21), 1993, Autoedición.

### 3.10 Coeficiente de drenaje

De la figura 23 se adoptará un coeficiente ( $m_2$ ) de 1.00 y un coeficiente de drenaje de la subbase ( $m_3$ ) de 1.00.

#### Figura 23

Valores Recomendados del coeficiente de drenaje ( $m_i$ ) para bases y subbases granulares no tratadas en pavimentos flexibles

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	MENOR QUE 1%	1% - 5%	5% - 25%	MAYOR QUE 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Nota. Adaptado de *Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos* (p.142), MTC, 2014.

### 3.11 Determinación de espesores

#### 3.11.1 Calicata C-09

##### 3.11.1.1 Espesores mínimos en función al número estructural

Se determina el número estructural  $SN$ , aplicando la siguiente ecuación de diseño.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando los valores en  $W_{18}$ ,  $Z_R$ ,  $S_0$ ,  $\Delta PSI$  y  $M_R$ , así tenemos:

$$\log_{10}(1'840,962.300) = -1.036 \times 0.450 + 9.360 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.200$$

$$+ \frac{\log_{10}\left(\frac{1.500}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(11,273.955) - 8.07$$

Obtenemos mediante procesos iterativos,  $SN = 3.216$ .

Se determina el número estructural requerido sobre la capa de base,  $SN_1$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero sustituyendo el valor ( $M_R$ ), por el valor del módulo de la base,  $E_B = 28,300$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_1 = 2.226$ .

Posteriormente se calcula el espesor real de la capa de material bituminoso,  $D_1^*$ :

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.226}{0.432} = 5.153 \text{ pulg}$$

En función del ESALs en el carril de diseño ( $W_{18}$ ), la Guía AASHTO estipula un espesor mínimo para el concreto asfáltico de 3.00 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptara un espesor de 3.00 pulgadas.

Se adopta  $D_1^* = 3.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_1^*$  entonces:

$$SN_1^* = D_1^* \times a_1 = 3.00 \times 0.432 = 1.296$$

Se calcula  $SN_2$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero substituyendo el valor ( $M_R$ ) de la subrasante, por el valor del módulo de la subbase,  $E_{SB} = 17,200$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_2 = 2.714$ .

Posteriormente se efectúa el espesor real de la base,  $D_2^*$ :

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \times m_2} = \frac{2.714 - 1.296}{0.132 \times 1.00} = 10.742 \text{ pulg}$$

Según la cuantificación del ESALs en el carril de diseño, la metodología AASHTO considera un espesor mínimo para la base de 6.00 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptará un espesor de 8.00 pulgadas.

Se adopta  $D_2^* = 8.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_2^*$  entonces:

$$SN_2^* = D_2^* \times a_2 \times m_2 = 8.00 \times 0.132 \times 1.00 = 1.056$$

El número estructural requerido sobre la subrasante,  $SN_3$ , es igual al número estructural total para el diseño,  $SN$ , a lo cual se determina el espesor real de la capa de subbase,  $D_3^*$ :

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \times m_3} = \frac{3.216 - (1.056 + 1.296)}{0.120 \times 1.00} = 7.200 \text{ pulg}$$

Se adopta  $D_3^* = 8.00$  pulg, entonces:

$$SN_3^* = D_3^* \times a_3 \times m_3 = 8.00 \times 0.120 \times 1.00 = 0.960$$

Verificamos el número estructural:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* > SN$$

$$1.296 + 1.056 + 0.960 > 3.216$$

$$3.312 > 3.216$$

Por lo tanto, la estructura de pavimento flexible poseerá un espesor total de 19.00 pulgadas, conformada por una capa asfáltica de 3.00 pulgadas, una capa base granular de 8.00 pulgadas y una subbase de 8.00 pulgadas.

### **3.11.2 Calicata C-09 + 8% Emulsión Asfáltica**

#### **3.11.2.1 Espesores mínimos en función al número estructural**

Se determina el número estructural,  $SN$ , utilizando la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$
$$+ 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando los valores en  $W_{18}$ ,  $Z_R$ ,  $S_o$ ,  $\Delta PSI$  y  $M_R$ , así tenemos:

$$\log_{10}(1'840,962.300) = -1.036 \times 0.450 + 9.360 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.200$$
$$+ \frac{\log_{10}\left(\frac{1.500}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(16,705.210) - 8.07$$

Luego de iterar se obtuvo el valor de  $SN = 2.746$ .

Se determina el número estructural requerido sobre la capa de base,  $SN_1$ , con los mismos valores de entrada de diseño, pero sustituyendo el valor ( $M_R$ ) de la subrasante, por el valor correspondiente a la base,  $E_B = 28,300$  psi. De esta forma se obtiene  $SN_1 = 2.226$ .

Posteriormente se calcula el espesor real de la capa de concreto asfáltico,  $D_1^*$ :

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.226}{0.432} = 5.153 \text{ pulg}$$

La Guía AASHTO tomando como indicador el ESALs de diseño, considera un espesor mínimo para el concreto asfáltico de 3.00 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptara un espesor de 3.00 pulgadas.

Se adopta  $D_1^* = 3.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_1^*$  entonces:

$$SN_1^* = D_1^* \times a_1 = 3.00 \times 0.432 = 1.296$$

Se calcula el número estructural de subbase,  $SN_2$ , sustituyendo el valor ( $M_R$ ) de la subrasante, por el módulo de la subbase,  $E_{SB} = 17,200$  psi. Obteniéndose  $SN_2 = 2.596$ .

Calculamos el espesor real de la base,  $D_2^*$ :

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \times m_2} = \frac{2.714 - 1.296}{0.132 \times 1.00} = 10.742 \text{ pulg}$$

AASHTO considera un espesor mínimo para la base de 6.00 pulgadas, con la finalidad de optimizar el diseño, se adoptará un espesor de 6.00 pulgadas.

Se adopta  $D_2^* = 6.00$  pulg, y se calcula el valor de  $SN_2^*$  entonces:

$$SN_2^* = D_2^* \times a_2 \times m_2 = 6.00 \times 0.132 \times 1.00 = 0.792$$

El número estructural requerido sobre la subrasante,  $SN_3$ , es igual al número estructural  $SN$ , luego se calcula el espesor real de la capa de subbase,  $D_3^*$ :

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \times m_3} = \frac{2.746 - (0.792 + 1.296)}{0.120 \times 1.00} = 5.480 \text{ pulg}$$

Se adopta  $D_3^* = 6.00$  pulg, entonces:

$$SN_3^* = D_3^* \times a_3 \times m_3 = 6.00 \times 0.120 \times 1.00 = 0.720$$

Verificamos el número estructural:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* > SN$$

$$1.296 + 0.792 + 0.720 > 2.746$$

$$2.808 > 2.640$$

Por lo tanto, la estructura de pavimento flexible estará conformado de un espesor total de 15.00 pulgadas, distribuida por una carpeta asfáltica de 3.00 pulgadas, una base granular de 6.00 pulgadas y una capa de subbase granular de 6.00 pulgadas.

## 7.3 Ensayos de Laboratorio

**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

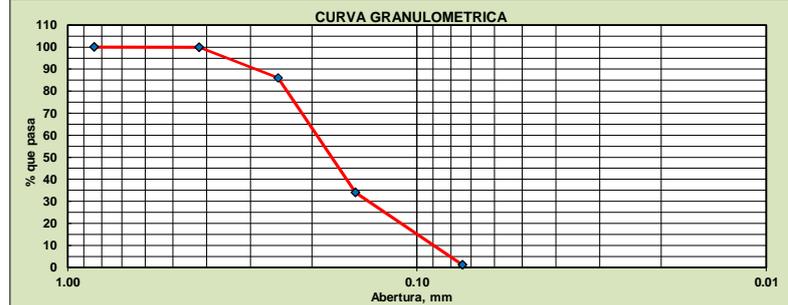
**Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°1 - Muestra de 0.50 a 1.35 m

**Responsables** : Tesistas

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso Inicial Seco(g)	500.00		
Peso Lavado y Seco (g)	495.85		
Mallas	Abertura [mm]	Peso Retenido [grs]	% Pasa
1"	25.400	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	100.00
<b>N° 4</b>	<b>4.760</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
N° 10	2.000	0.00	100.00
N° 20	0.840	0.00	100.00
N° 40	0.420	0.37	99.93
N° 60	0.250	69.25	86.08
N° 100	0.150	260.50	33.98
<b>N° 200</b>	<b>0.074</b>	<b>164.41</b>	<b>1.09</b>
< N° 200		5.47	



### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

#### A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		1	2	3	4
1. No de Golpes					
2. Peso Tara, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)				
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)				
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100				

**NO PRESENTA**

#### B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		1	2	3	4
1. Peso Tara, [gr]					
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)				
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)				
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100				

**NO PLASTICO**



### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]		27.41	27.55	27.12
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		65.61	67.45	69.48
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		59.71	61.29	62.93
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	5.90	6.16	6.55
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	32.30	33.74	35.81
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	18.27	18.26	18.29
7. Contenido de Humedad PROM, [%]	%	18.27%		

### RESUMEN

Grava (No.4 < Diam < 3")	0.00%
Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")	0.00%
Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4")	0.00%
<b>Arena (No.200 &lt; Diam &lt; No.4)</b>	<b>98.91%</b>
Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4)	0.00%
Arena Media (No.40 < Diam < No.10)	0.07%
Arena Fina (No.200 < Diam < No.40)	98.83%
<b>Finos (Diam &lt; No.200)</b>	<b>1.09%</b>
Límite Líquido	N.P.
Límite Plástico	N.P.
Índice Plasticidad	N.P.
Contenido de Humedad	18.27%
Clasificación SUCS	SP
Clasificación AASHTO	A-3(0)



**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°1 - Muestra de 0.50 a 1.35 m **Responsables** : Tesistas

**1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS**

**A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200**

> 50%	Suelo Fino
< 50%	Suelo Grueso

% QUE PASA LA MALLA N#200	1.09
TIPO DE SUELO	<b>SUELO GRUESO</b>

**B. TIPO DE SUELO GRUESO**

**B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4**

> 50%	Arenas
< 50%	Gravas

% QUE PASA LA MALLA N#4	100.00
TIPO DE SUELO	<b>ARENA</b>

**B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA( FINOS < 5%)**

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	2.16
COEFICIENTE DE CURVATURA	1.09
LIMITE LIQUIDO	N.P
LIMITE PLASTICO	N.P

Cu > 6	No Cumple
1 <= Cc <= 3	Cumple

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

SP	<b>ARENA MAL GRADUADA</b>
----	---------------------------

**2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO**

**A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA**

% QUE PASA LA MALLA N#10	100.00
% QUE PASA LA MALLA N#40	99.93
% QUE PASA LA MALLA N#200	1.09
TIPO DE SUELO	<b>MATERIAL GRANULAR</b>

**B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR**

LIMITE LIQUIDO	N.P
LIMITE PLASTICO	N.P
INDICE DE GRUPO	0

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

<b>A-3(0)</b>
---------------



**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

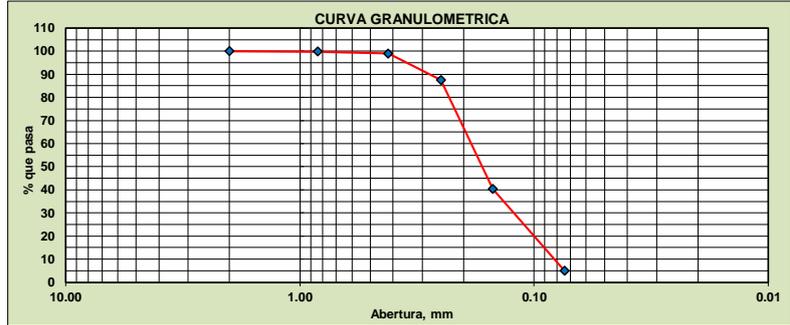
**Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°2 - Muestra de 0.40 a 1.50 m

**Responsables** : Tesistas

**1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)**

<b>Peso Inicial Seco(g)</b>	500.00		
<b>Peso Lavado y Seco (g)</b>	479.95		
<b>Mallas</b>	<b>Abertura [mm]</b>	<b>Peso Retenido [grs]</b>	<b>% Pasa</b>
1"	25.400	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	100.00
<b>N° 4</b>	<b>4.760</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
N° 10	2.000	0.00	100.00
N° 20	0.840	0.95	99.81
N° 40	0.420	4.50	98.91
N° 60	0.250	57.30	87.45
N° 100	0.150	235.57	40.34
<b>N° 200</b>	<b>0.074</b>	<b>177.00</b>	<b>4.94</b>
< N° 200		24.68	0.00



**2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)**

**A. LIMITE LIQUIDO(MTC E 110)**

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		1	2	3	4
1. No de Golpes					
2. Peso Tara, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)				
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)				
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100				

**B. LIMITE PLASTICO(MTC E 111)**

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]				
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]				
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]				
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)			
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)			
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100			



**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)**

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]		27.41	27.05	27.12
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		72.12	70.53	75.69
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		65.96	64.56	69.01
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	6.16	5.97	6.68
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	38.55	37.51	41.89
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	15.98	15.92	15.95
7. Contenido de Humedad PROM, [%]	%	15.95%		

**RESUMEN**

Grava (No.4 < Diam < 3")	0.00%
Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")	0.00%
Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4")	0.00%
<b>Arena (No.200 &lt; Diam &lt; No.4)</b>	<b>95.06%</b>
Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4)	0.00%
Arena Media (No.40 < Diam < No.10)	1.09%
Arena Fina (No.200 < Diam < No.40)	93.97%
<b>Finos (Diam &lt; No.200)</b>	<b>4.94%</b>
Límite Líquido	N.P.
Límite Plástico	N.P.
Índice Plasticidad	N.P.
Contenido de Humedad	15.95%
Clasificación SUCS	SP
Clasificación AASHTO	A-3(0)



**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

**MUESTRA** : Calicata N°2 - Muestra de 0.40 a 1.50 m

**Fecha** : JUNIO-2022

**Responsables** : Tesistas

**1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS**

**A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200**

% QUE PASA LA MALLA N#200	4.94
TIPO DE SUELO	<b>SUELO GRUESO</b>

> 50%	Suelo Fino
< 50%	Suelo Grueso

**B. TIPO DE SUELO GRUESO**

**B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4**

% QUE PASA LA MALLA N#4	100.00
TIPO DE SUELO	<b>ARENA</b>

> 50%	Arenas
< 50%	Gravas

**B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA( FINOS < 5%)**

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	2.27
COEFICIENTE DE CURVATURA	1.00
LIMITE LIQUIDO	N.P
LIMITE PLASTICO	N.P

Cu > 6	No Cumple
1 ≤ Cc ≤ 3	Cumple

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

SP	<b>ARENA MAL GRADUADA</b>
----	---------------------------

**2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO**

**A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA**

% QUE PASA LA MALLA N#10	100.00
% QUE PASA LA MALLA N#40	98.91
% QUE PASA LA MALLA N#200	4.94
TIPO DE SUELO	<b>MATERIAL GRANULAR</b>

**B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR**

LIMITE LIQUIDO	N.P
LIMITE PLASTICO	N.P
INDICE DE GRUPO	0

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

<b>A-3(0)</b>
---------------



**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

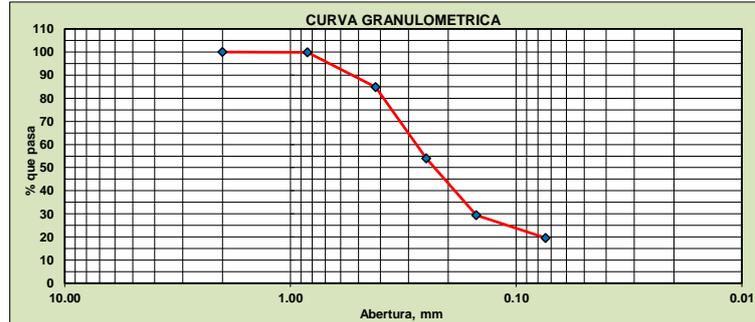
**Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°3 - Muestra de 0.50 a 1.35 m

**Responsables** : Tesistas

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

<b>Peso Inicial Seco(g)</b>	500.00		
<b>Peso Lavado y Seco (g)</b>	410.75		
<b>Mallas</b>	<b>Abertura [mm]</b>	<b>Peso Retenido [grs]</b>	<b>% Pasa</b>
1"	25.400	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	100.00
<b>N° 4</b>	<b>4.750</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
N° 10	2.000	0.00	100.00
N° 20	0.840	0.65	99.87
N° 40	0.420	75.25	84.82
N° 60	0.250	154.10	54.00
N° 100	0.150	123.05	29.39
<b>N° 200</b>	<b>0.074</b>	<b>49.15</b>	<b>19.56</b>
< N° 200		97.80	0.00



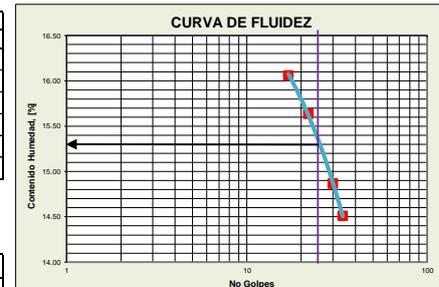
### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

#### A. LIMITE LIQUIDO(MTC E 110)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		17	22	30	34
1. No de Golpes		17	22	30	34
2. Peso Tara, [gr]		21.45	22.65	22.05	22.58
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		46.96	48.39	45.62	49.81
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		43.43	44.91	42.57	46.36
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	3.53	3.48	3.05	3.45
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	21.98	22.26	20.52	23.78
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	16.06	15.63	14.86	14.51

#### B. LIMITE PLASTICO(MTC E 111)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
1. Peso Tara, [gr]					
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	NO PLASTICO			
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)				
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100				



### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]		28.24	27.41	27.05
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		66.38	68.41	67.23
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		60.58	62.19	61.14
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	5.80	6.22	6.09
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	32.34	34.78	34.09
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	17.93	17.88	17.86
7. Contenido de Humedad PROM. [%]	%	17.89%		

### RESUMEN

Grava (No.4 < Diam < 3")	0.00%
Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")	0.00%
Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4")	0.00%
<b>Arena (No.200 &lt; Diam &lt; No.4)</b>	<b>80.44%</b>
Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4)	0.00%
Arena Media (No.40 < Diam < No.10)	15.18%
Arena Fina (No.200 < Diam < No.40)	65.26%
<b>Finos (Diam &lt; No.200)</b>	<b>19.56%</b>
Límite Líquido	15.29%
Límite Plástico	N.P.
Índice Plasticidad	N.P.
Contenido de Humedad	17.89%
Clasificación SUCS	SM
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)



**Proyecto** : OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

**Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°3 - Muestra de 0.00 a 1.35 m

**Responsables** : Tesistas

### 1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS

#### A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200

% QUE PASA LA MALLA N#200	19.56
TIPO DE SUELO	<b>SUELO GRUESO</b>

> 50%	Suelo Fino
< 50%	Suelo Grueso

#### B. TIPO DE SUELO GRUESO

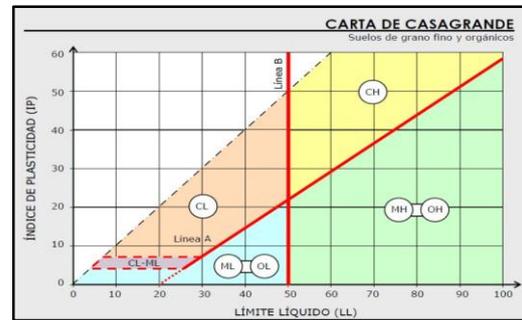
##### B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4

% QUE PASA LA MALLA N#4	100.00
TIPO DE SUELO	<b>ARENA</b>

> 50%	Arenas
< 50%	Gravas

##### B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA( FINOS > 12%)

LIMITE LIQUIDO	15.29%
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE PLASTICIDAD	N.P.



ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**SM ARENA LIMOSA**

### 2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

#### A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA

% QUE PASA LA MALLA N#10	100.00
% QUE PASA LA MALLA N#40	84.82
% QUE PASA LA MALLA N#200	19.56
TIPO DE SUELO	<b>MATERIAL GRANULAR</b>

#### B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR

LIMITE LIQUIDO	15.29%
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE GRUPO	0



ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**A-2-4 (0)**

**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

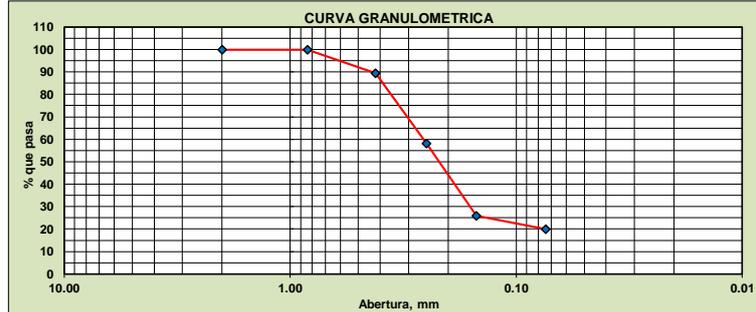
**Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°4 - Muestra de 0.30 a 1.50 m

**Responsables** : Tesistas

**1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)**

<b>Peso Inicial Seco(g)</b>	500.00		
<b>Peso Lavado y Seco (g)</b>	412.35		
<b>Mallas</b>	<b>Abertura [mm]</b>	<b>Peso Retenido [grs]</b>	<b>% Pasa</b>
1"	25.400	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	100.00
<b>N° 4</b>	<b>4.750</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
N° 10	2.000	0.00	100.00
N° 20	0.840	0.50	99.90
N° 40	0.420	52.10	89.48
N° 60	0.250	156.75	58.13
N° 100	0.150	160.85	25.96
<b>N° 200</b>	<b>0.074</b>	<b>30.20</b>	<b>19.92</b>
< N° 200		99.60	0.00



**2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)**

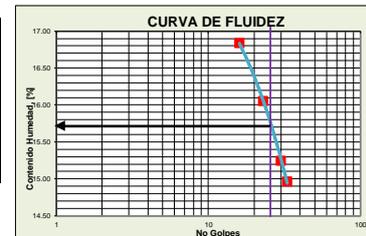
**A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)**

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
1. No de Golpes		16	23	30	33
2. Peso Tara, [gr]		22.46	21.56	22.24	22.65
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		48.69	48.74	47.19	48.31
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		44.91	44.98	43.89	44.97
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	3.78	3.76	3.30	3.34
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	22.45	23.42	21.65	22.32
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)x100	16.84	16.05	15.24	14.96

**B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)**

Procedimiento	Fórmula	Tara			
1. Peso Tara, [gr]					
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)				
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)				
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)x100				

NO PLASTICO



**3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)**

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]		27.41	27.55	27.12
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		95.88	91.55	93.91
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		87.20	83.39	85.43
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	8.68	8.16	8.48
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	59.79	55.84	58.31
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)x100	14.52	14.61	14.54
7. Contenido de Humedad PROM, [%]	%	14.56%		

**RESUMEN**

Grava (No.4 < Diam < 3")	0.00%
Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")	0.00%
Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4")	0.00%
<b>Arena (No.200 &lt; Diam &lt; No.4)</b>	<b>80.08%</b>
Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4)	0.00%
Arena Media (No.40 < Diam < No.10)	10.52%
Arena Fina (No.200 < Diam < No.40)	69.56%
<b>Finos (Diam &lt; No.200)</b>	<b>19.92%</b>
Límite Líquido	15.72%
Límite Plástico	N.P.
Índice Plasticidad	N.P.
Contenido de Humedad	14.56%
Clasificación SUCS	SM
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)



**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

**Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°4 - Muestra de 0.30 a 1.50 m

**Responsables** : Tesistas

### 1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS

#### A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200

% QUE PASA LA MALLA N#200	19.92
TIPO DE SUELO	<b>SUELO GRUESO</b>

> 50%	Suelo Fino
< 50%	Suelo Grueso

#### B. TIPO DE SUELO GRUESO

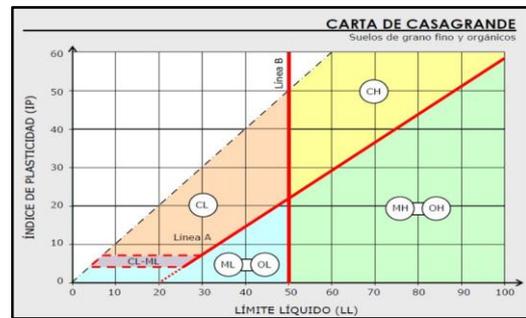
##### B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4

% QUE PASA LA MALLA N#4	100.00
TIPO DE SUELO	<b>ARENA</b>

> 50%	Arenas
< 50%	Gravas

##### B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA( FINOS > 12%)

LIMITE LIQUIDO	15.72%
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE PLASTICIDAD	N.P.



ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**SM ARENA LIMOSA**

### 2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

#### A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA

% QUE PASA LA MALLA N#10	100.00
% QUE PASA LA MALLA N#40	89.48
% QUE PASA LA MALLA N#200	19.92
TIPO DE SUELO	<b>MATERIAL GRANULAR</b>



#### B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR

LIMITE LIQUIDO	15.72%
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE GRUPO	0

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**A-2-4(0)**

**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

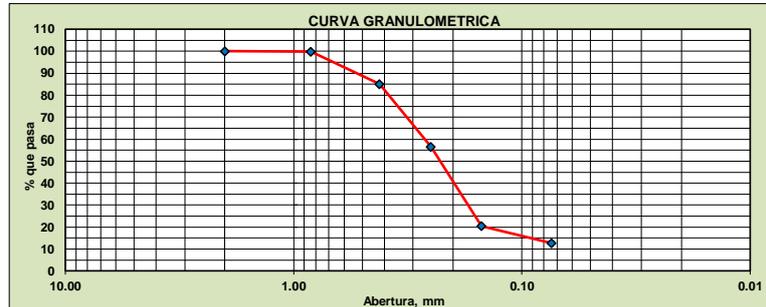
**Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°5 - Muestra de 0.50 a 1.50 m

**Responsables** : Tesistas

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

<b>Peso Inicial Seco(g)</b>	500.00		
<b>Peso Lavado y Seco (g)</b>	444.21		
<b>Mallas</b>	<b>Abertura [mm]</b>	<b>Peso Retenido [grs]</b>	<b>% Pasa</b>
1"	25.400	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.00	100.00
N° 10	2.000	0.00	100.00
N° 20	0.840	0.84	99.83
N° 40	0.420	74.45	84.94
N° 60	0.250	142.56	56.43
N° 100	0.150	180.23	20.38
N° 200	0.074	38.56	12.67
< N° 200		63.36	0.00



### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

#### A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		1	2	3	4
1. No de Golpes					
2. Peso Tara, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)				
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)				
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100				

**NO PRESENTA**

#### B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		1	2	3	4
1. Peso Tara, [gr]					
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)				
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)				
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100				

**NO PLASTICO**



### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]		27.12	27.05	27.41
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		79.22	81.86	80.51
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		71.86	74.15	73.06
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	7.36	7.71	7.45
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	44.74	47.10	45.65
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	16.45	16.37	16.32
7. Contenido de Humedad PROM, [%]	%		16.38%	

### RESUMEN

Grava (No.4 < Diam < 3")	0.00%
Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")	0.00%
Grava Fina (N°4 < Diam < 3/4")	0.00%
<b>Arena (No.200 &lt; Diam &lt; No.4)</b>	<b>87.33%</b>
Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4)	0.00%
Arena Media (No.40 < Diam < No.10)	15.06%
Arena Fina (No.200 < Diam < No.40)	72.27%
<b>Finos (Diam &lt; No.200)</b>	<b>12.67%</b>
Limite Líquido	N.P.
Limite Plástico	N.P.
Índice Plasticidad	N.P.
Contenido de Humedad	16.38%
Clasificación SUCS	SM
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)



**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

**Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°5 - Muestra de 0.50 a 1.50 m

**Responsables** : Tesistas

**1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS**

**A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200**

% QUE PASA LA MALLA N#200	12.67
TIPO DE SUELO	<b>SUELO GRUESO</b>

> 50%	Suelo Fino
< 50%	Suelo Grueso

**B. TIPO DE SUELO GRUESO**

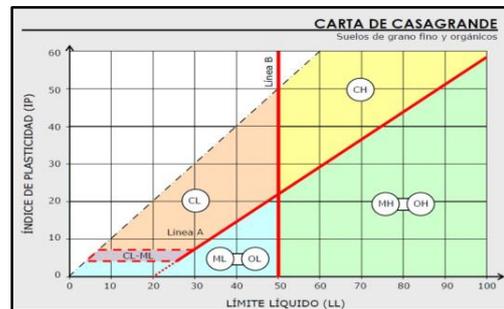
**B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4**

% QUE PASA LA MALLA N#4	100.00
TIPO DE SUELO	<b>ARENA</b>

> 50%	Arenas
< 50%	Gravas

**B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA( FINOS > 12%)**

LIMITE LIQUIDO	N.P
LIMITE PLASTICO	N.P
INDICE DE PLASTICIDAD	N.P.



ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO **SM ARENA LIMOSA**

**2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO**

**A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA**

% QUE PASA LA MALLA N#10	100.00
% QUE PASA LA MALLA N#40	84.94
% QUE PASA LA MALLA N#200	12.67
TIPO DE SUELO	<b>MATERIAL GRANULAR</b>

**B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR**

LIMITE LIQUIDO	N.P.
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE GRUPO	0



ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO **A-2-4 (0)**

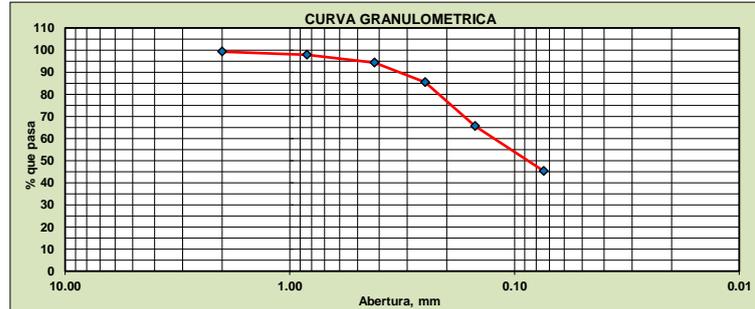
**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°6 - Muestra de 0.20 a 1.50 m **Responsables** : Tesistas

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso Inicial Seco(g)	500.00		
Peso Lavado y Seco (g)	291.20		
Mallas	Abertura [mm]	Peso Retenido [grs]	% Pasa
1"	25.400	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.00	100.00
N° 10	2.000	3.80	99.24
N° 20	0.840	6.95	97.85
N° 40	0.420	17.65	94.32
N° 60	0.250	44.30	85.46
N° 100	0.150	99.05	65.65
N° 200	0.074	102.15	45.22
< N° 200		226.10	0.00



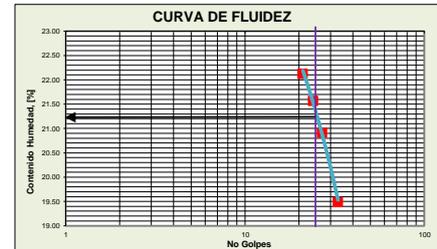
### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

#### A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
1. No de Golpes		21	24	27	33
2. Peso Tara, [gr]		21.46	21.96	21.24	22.15
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		47.07	48.45	47.31	47.84
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		42.43	43.75	42.80	43.65
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	4.64	4.70	4.51	4.19
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	20.97	21.79	21.56	21.50
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	22.13	21.57	20.92	19.49

#### B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
1. Peso Tara, [gr]					
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	NO PLASTICO			
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)				
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100				



### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]		27.05	27.41	28.24
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		66.39	68.41	67.23
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		60.51	62.31	61.35
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	5.88	6.10	5.88
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	33.46	34.90	33.11
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	17.57	17.48	17.76
7. Contenido de Humedad PROM, [%]	%	17.60%		

### RESUMEN

Grava (No.4 < Diam < 3")	0.00%
Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")	0.00%
Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4")	0.00%
Arena (No.200 < Diam < No.4)	54.78%
Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4)	0.76%
Arena Media (No.40 < Diam < No.10)	4.92%
Arena Fina (No.200 < Diam < No.40)	49.10%
Finos (Diam < No.200)	45.22%
Límite Líquido	21.25%
Límite Plástico	N.P.
Índice Plasticidad	N.P.
Contenido de Humedad	17.60%
Clasificación SUCS	SM
Clasificación AASHTO	A-4(0)



**Proyecto** : OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

**MUESTRA** : Calicata N°6 - Muestra de 0.20 a 1.50 m

**Fecha** : JUNIO-2022

**Responsables** : Tesistas

**1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS**

**A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200**

% QUE PASA LA MALLA N#200	45.22
TIPO DE SUELO	<b>SUELO GRUESO</b>

> 50%	Suelo Fino
< 50%	Suelo Grueso

**B. TIPO DE SUELO GRUESO**

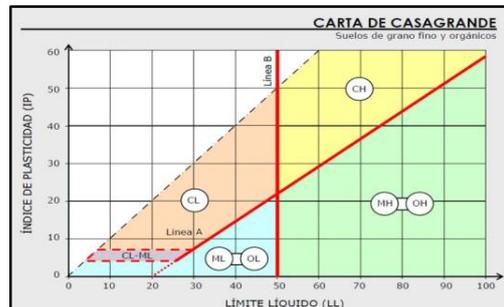
**B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4**

% QUE PASA LA MALLA N#4	100.00
TIPO DE SUELO	<b>ARENA</b>

> 50%	Arenas
< 50%	Gravas

**B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA( FINOS > 12%)**

LIMITE LIQUIDO	21.25%
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE PLASTICIDAD	N.P.



ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**SM ARENA LIMOSA**

**2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO**

**A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA**

% QUE PASA LA MALLA N#10	99.24
% QUE PASA LA MALLA N#40	94.32
% QUE PASA LA MALLA N#200	45.22
TIPO DE SUELO	<b>MATERIAL FINO</b>

**B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR**

LIMITE LIQUIDO	21.25%
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE GRUPO	0

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**A-4(0)**



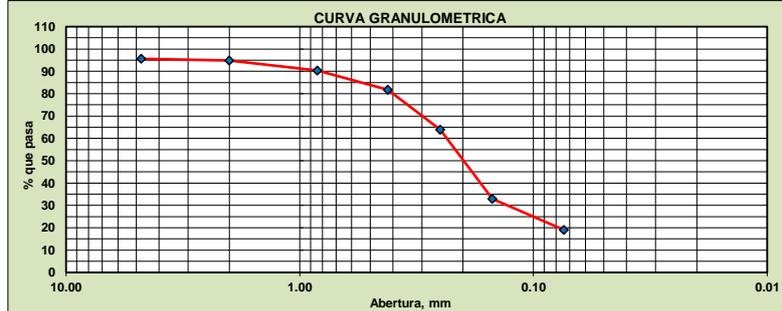
**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°7 - Muestra de 0.40 a 1.50 m **Responsables** : Tesistas

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

<b>Peso Inicial Seco(g)</b>	500.00		
<b>Peso Lavado y Seco (g)</b>	412.56		
<b>Mallas</b>	<b>Abertura [mm]</b>	<b>Peso Retenido [grs]</b>	<b>% Pasa</b>
1"	25.400	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	100.00
N° 4	4.760	21.98	95.60
N° 10	2.000	3.85	94.83
N° 20	0.840	22.18	90.40
N° 40	0.420	43.45	81.71
N° 60	0.250	88.75	63.96
N° 100	0.150	155.42	32.87
N° 200	0.074	69.25	19.02
< N° 200		95.12	0.00



### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

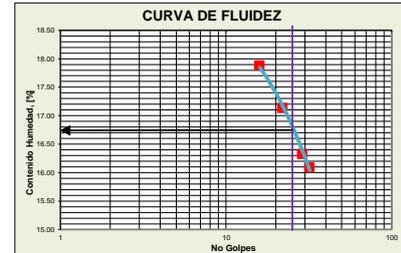
#### A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
1. No de Golpes		16	22	29	32
2. Peso Tara, [gr]		27.45	27.65	27.42	27.33
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		47.76	47.68	46.30	46.45
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		44.68	44.75	43.65	43.80
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	3.08	2.93	2.65	2.65
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	17.23	17.10	16.23	16.47
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	17.88	17.13	16.33	16.09

#### B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
1. Peso Tara, [gr]					
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)				
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)				
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100				

NO PLASTICO



### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]		27.12	27.05	27.57
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		66.20	68.78	67.34
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		61.29	63.55	62.34
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	4.91	5.23	5.00
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	34.17	36.50	34.77
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	14.37	14.33	14.38
7. Contenido de Humedad PROM, [%]	%		14.36%	

### RESUMEN

Grava (No.4 < Diam < 3")	4.40%
Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")	0.00%
Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4")	4.40%
Arena (No.200 < Diam < No.4)	76.58%
Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4)	0.77%
Arena Media (No.40 < Diam < No.10)	13.13%
Arena Fina (No.200 < Diam < No.40)	62.68%
Finos (Diam < No.200)	19.02%
Limite Líquido	16.77%
Limite Plástico	N.P.
Índice Plasticidad	N.P.
Contenido de Humedad	14.36%
Clasificación SUCS	SM
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)





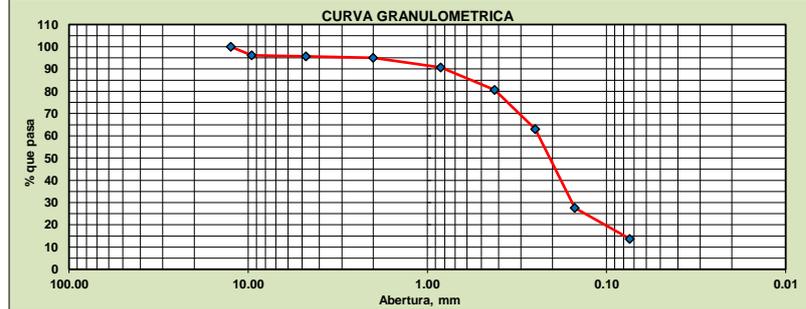
**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°8 - Muestra de 0.30 a 1.50 m **Responsables** : Tesistas

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

<b>Peso Inicial Seco(g)</b>	500.00		
<b>Peso Lavado y Seco (g)</b>	445.14		
<b>Mallas</b>	<b>Abertura [mm]</b>	<b>Peso Retenido [grs]</b>	<b>% Pasa</b>
1"	25.400	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	100.00
3/8"	9.525	19.45	96.11
N° 4	4.760	2.35	95.64
N° 10	2.000	3.00	95.04
N° 20	0.840	21.59	90.72
N° 40	0.420	50.20	80.68
N° 60	0.250	88.80	62.92
N° 100	0.150	176.75	27.57
N° 200	0.074	69.45	13.68
< N° 200		68.41	0.00



### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

#### A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		1	2	3	4
1. No de Golpes					
2. Peso Tara, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)				
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)				
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100				

NO PRESENTA

#### B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]				
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]				
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]				
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)			
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)			
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100			

NO PLASTICO



### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]		27.12	28.24	27.05
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		91.55	88.75	93.61
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		82.87	80.59	84.63
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	8.68	8.16	8.98
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	55.75	52.35	57.58
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	15.57	15.59	15.60
7. Contenido de Humedad PROM, [%]	%	15.58%		

### RESUMEN

Grava (No.4 < Diam < 3")	4.36%
Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")	0.00%
Grava Fina (N°4 < Diam < 3/4")	4.36%
Arena (No.200 < Diam < No.4)	81.96%
Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4)	0.60%
Arena Media (No.40 < Diam < No.10)	14.36%
Arena Fina (No.200 < Diam < No.40)	67.00%
<b>Finos (Diam &lt; No.200)</b>	<b>13.68%</b>
Límite Líquido	N.P.
Límite Plástico	N.P.
Índice Plasticidad	N.P.
Contenido de Humedad	15.58%
Clasificación SUCS	SM
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)



**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

**Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°8 - Muestra de 0.30 a 1.50 m

**Responsables** : Tesistas

## 1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS

### A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200

% QUE PASA LA MALLA N#200	13.68
TIPO DE SUELO	<b>SUELO GRUESO</b>

> 50%	Suelo Fino
< 50%	Suelo Grueso

### B. TIPO DE SUELO GRUESO

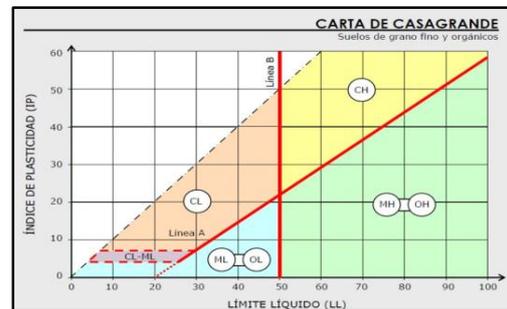
#### B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4

% QUE PASA LA MALLA N#4	95.64
TIPO DE SUELO	<b>ARENA</b>

> 50%	Arenas
< 50%	Gravas

#### B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA( FINOS > 12%)

LIMITE LIQUIDO	N.P.
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE PLASTICIDAD	N.P.



ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**SM ARENA LIMOSA**

## 2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

### A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA

% QUE PASA LA MALLA N#10	95.04
% QUE PASA LA MALLA N#40	80.68
% QUE PASA LA MALLA N#200	13.68
TIPO DE SUELO	<b>MATERIAL GRANULAR</b>

### B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR

LIMITE LIQUIDO	N.P.
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE GRUPO	0

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**A-2-4 (0)**



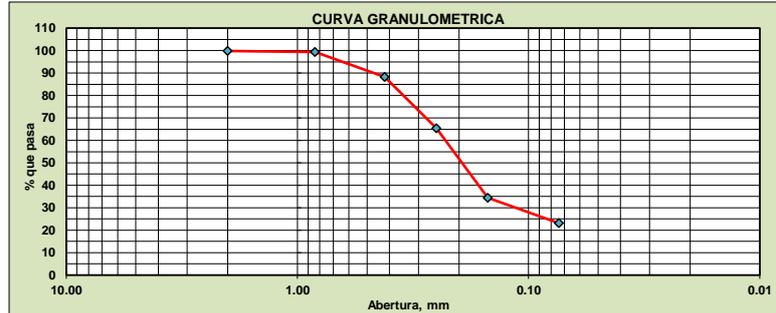
**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : JUNIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°9 - Muestra de 0.40 a 1.50 m **Responsables** : Tesistas

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E 107)

Peso Inicial Seco(g)	500.00		
Peso Lavado y Seco (g)	398.12		
Mallas	Abertura [mm]	Peso Retenido [grs]	% Pasa
1"	25.400	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.00	100.00
N° 10	2.000	0.85	99.83
N° 20	0.840	2.45	99.34
N° 40	0.420	55.14	88.31
N° 60	0.250	114.55	65.40
N° 100	0.150	155.04	34.39
N° 200	0.074	56.30	23.13
< N° 200		115.67	0.00



### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E 110- MTC E 111)

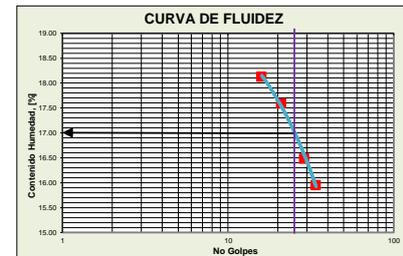
#### A. LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
		N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
1. No de Golpes		16	21	29	34
2. Peso Tara, [gr]		22.46	21.56	22.24	22.65
3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		48.69	48.77	47.19	48.31
4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		44.67	44.70	43.66	44.78
5. Peso Agua, [gr]	(3)-(4)	4.03	4.07	3.53	3.53
6. Peso Suelo Seco, [gr]	(4)-(2)	22.21	23.14	21.42	22.13
7. Contenido de Humedad, [%]	(5)/(6)X100	18.13	17.59	16.48	15.95

#### B. LIMITE PLASTICO (MTC E 111)

Procedimiento	Fórmula	Tara			
1. Peso Tara, [gr]					
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]					
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]					
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)				
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)				
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100				

**NO PLASTICO**



### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (MTC - E 108)

Procedimiento	Fórmula	Tara		
		1	2	3
1. Peso Tara, [gr]		27.05	28.10	27.41
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]		84.31	80.57	81.29
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]		75.81	72.76	73.30
4. Peso Agua, [gr]	(2)-(3)	8.50	7.81	7.99
5. Peso Suelo Seco, [gr]	(3)-(1)	48.76	44.66	45.89
6. Contenido de Humedad, [%]	(4)/(5)X100	17.43	17.49	17.41
7. Contenido de Humedad PROM, [%]	%		17.44%	

### RESUMEN

Grava (No.4 < Diam < 3")	0.00%
Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")	0.00%
Grava Fina (N°4" < Diam < 3/4")	0.00%
Arena (No.200 < Diam < No.4)	76.87%
Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4)	0.17%
Arena Media (No.40 < Diam < No.10)	11.52%
Arena Fina (No.200 < Diam < No.40)	65.18%
Finos (Diam < No.200)	23.13%
Limite Líquido	17.04%
Limite Plástico	N.P.
Índice Plasticidad	N.P.
Contenido de Humedad	17.44%
Clasificación SUCS	SM
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)



**Proyecto** : OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

**MUESTRA** : Calicata N°9 - Muestra de 0.40 a 1.50 m

**Fecha** : JUNIO-2022

**Responsables** : Tesistas

## 1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO SUCS

### A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#200

% QUE PASA LA MALLA N#200	23.13
TIPO DE SUELO	<b>SUELO GRUESO</b>

> 50%	Suelo Fino
< 50%	Suelo Grueso

### B. TIPO DE SUELO GRUESO

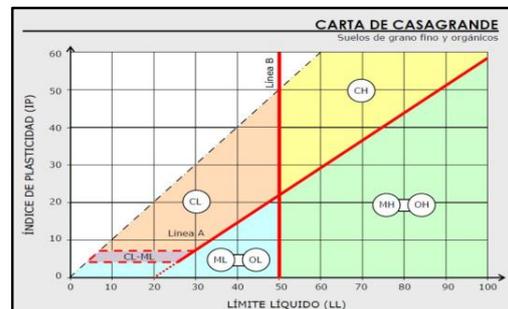
#### B.1 PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N#4

% QUE PASA LA MALLA N#4	100.00
TIPO DE SUELO	<b>ARENA</b>

> 50%	Arenas
< 50%	Gravas

#### B.2 CRITERIO DE GRANULOMETRIA( FINOS > 12%)

LIMITE LIQUIDO	17.04%
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE PLASTICIDAD	N.P.



ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**SM ARENA LIMOSA**

## 2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL METODO AASHTO

### A. PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA

% QUE PASA LA MALLA N#10	99.83
% QUE PASA LA MALLA N#40	88.31
% QUE PASA LA MALLA N#200	23.13
TIPO DE SUELO	<b>MATERIAL GRANULAR</b>

### B. TIPO DE MATERIAL GRANULAR

LIMITE LIQUIDO	17.04%
LIMITE PLASTICO	N.P.
INDICE DE GRUPO	0

ENTONCES ES UN TIPO DE SUELO

**A-2-4 (0)**



**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

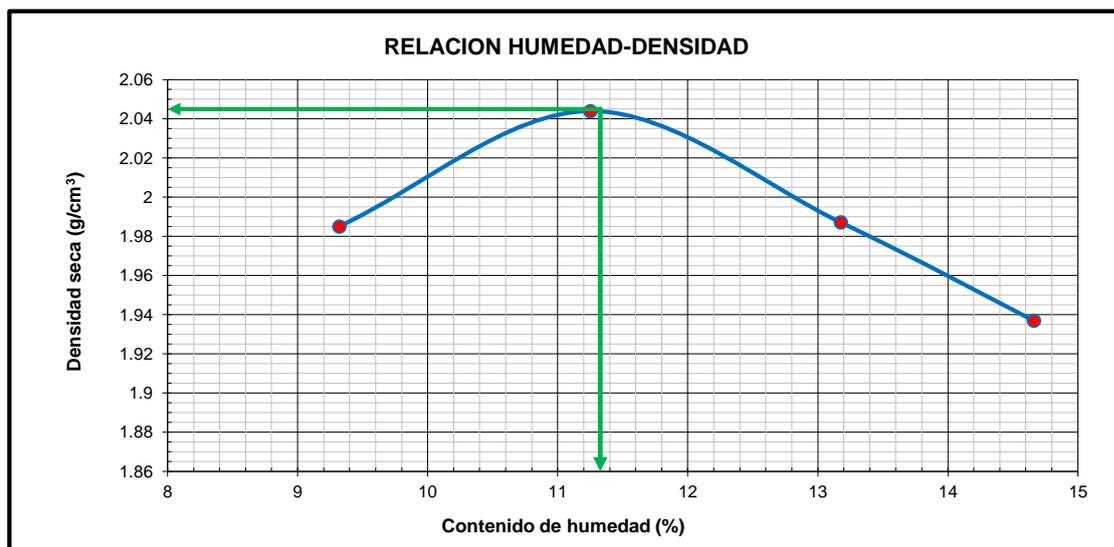
Fecha: JULIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°3 - Muestra de 0.50 a 1.35 m

Responsables: Tesistas

**DATOS DE LA MUESTRA**

Masa Suelo + molde (g)	3976.90	4078.34	4055.41	4028.45
Masa Molde (g)	1940.00	1940.00	1940.00	1940.00
Masa Suelo (g)	2036.90	2138.34	2115.41	2088.45
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	940.45	940.45	940.45	940.45
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.166	2.274	2.249	2.221
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	94.12	90.36	92.66	95.55
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	88.56	84.01	85.08	86.80
Masa de Tara (g)	27.41	27.55	27.55	27.12
Masa de Agua (g)	5.56	6.35	7.58	8.75
Masa del Suelo Seco (g)	61.15	56.46	57.53	59.68
Humedad (%)	<b>9.09</b>	<b>11.25</b>	<b>13.18</b>	<b>14.66</b>
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.985</b>	<b>2.044</b>	<b>1.987</b>	<b>1.937</b>
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				<b>2.045</b>
<b>Humedad óptima (%)</b>				<b>11.33</b>



**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

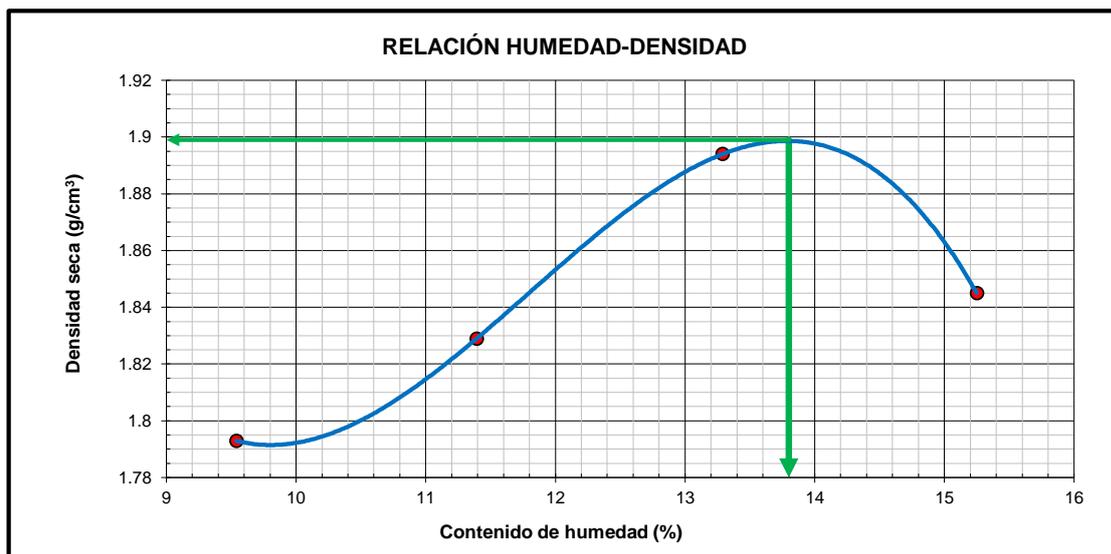
Fecha: JULIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°6 - Muestra de 0.20 a 1.50 m

Responsables: Tesistas

**DATOS DE LA MUESTRA**

Masa Suelo + molde (g)	3787.45	3856.11	3958.10	3940.80
Masa Molde (g)	1940.00	1940.00	1940.00	1940.00
Masa Suelo (g)	1847.45	1916.11	2018.10	2000.80
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	940.45	940.45	940.45	940.45
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.964	2.037	2.146	2.127
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	94.12	98.58	99.04	91.12
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	88.31	91.31	90.73	82.65
Masa de Tara (g)	27.41	27.53	28.24	27.12
Masa de Agua (g)	5.81	7.27	8.30	8.47
Masa del Suelo Seco (g)	60.90	63.78	62.50	55.53
Humedad (%)	<b>9.54</b>	<b>11.39</b>	<b>13.29</b>	<b>15.25</b>
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.793</b>	<b>1.829</b>	<b>1.894</b>	<b>1.846</b>
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				<b>1.899</b>
<b>Humedad óptima (%)</b>				<b>13.80</b>



**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO (MTC E 115)  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

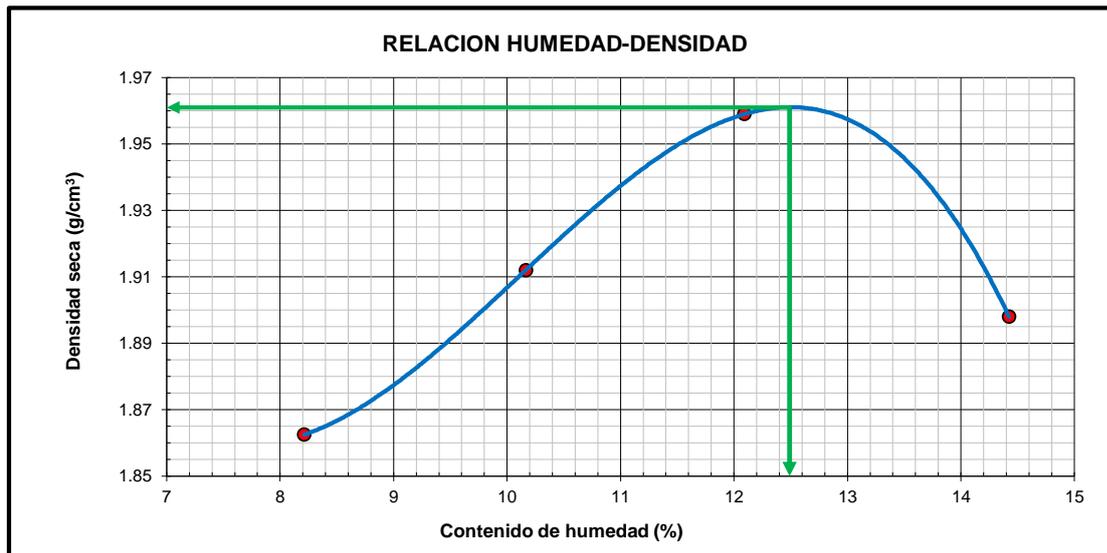
Fecha: JULIO-2022

**MUESTRA** : Calicata N°9 - Muestra de 0.40 a 1.50 m

Responsables: Tesistas

**DATOS DE LA MUESTRA**

Masa Suelo + molde (g)	3835.24	3921.20	4004.11	3982.95
Masa Molde (g)	1940.00	1940.00	1940.00	1940.00
Masa Suelo (g)	1895.24	1981.20	2064.11	2042.95
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	940.45	940.45	940.45	940.45
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.015	2.107	2.195	2.172
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	98.45	96.14	95.12	97.56
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	93.06	89.81	87.83	88.68
Masa de Tara (g)	27.41	27.53	27.55	27.12
Masa de Agua (g)	5.39	6.33	7.29	8.88
Masa del Suelo Seco (g)	65.65	62.28	60.28	61.56
Humedad (%)	<b>8.21</b>	<b>10.16</b>	<b>12.09</b>	<b>14.42</b>
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.862</b>	<b>1.912</b>	<b>1.958</b>	<b>1.898</b>
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				<b>1.961</b>
<b>Humedad óptima (%)</b>				<b>12.49</b>



**INFORME N° GM-LB22-645-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

PROYECTO : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
SOLICITA : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
FECHA : 17/05/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

DESCRIPCIÓN : C.P. San Juan  
CALICATA : C-03  
MUESTRA : M-01  
CLASF. (SUCS) : SM  
CLASF. (AASHTO) : A-2-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12584.00	12623.00	12337.20	12395.00	12171.00	12298.00
Masa de molde (g)	7791.00	7791.00	7692.00	7692.00	7713.00	7713.00
Masa del suelo húmedo (g)	4793.00	4832.00	4645.20	4703.00	4458.00	4585.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2095.00	2095.00	2124.00	2124.00	2114.00	2114.00
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.288	2.306	2.187	2.214	2.109	2.169
Tara (N°)	A-04		A-09		L-01	
Masa suelo húmedo + tara (g)	442.70	4832.00	457.20	4703.00	345.40	4585.00
Masa suelo seco + tara (g)	405.90	4307.37	418.80	4173.06	318.80	4005.39
Masa de tara (g)	79.50	0.00	79.40	0.00	83.40	0.00
Masa de agua (g)	36.80	524.63	38.40	529.94	26.60	579.61
Masa de suelo seco (g)	326.40	4307.37	339.40	4173.06	235.40	4005.39
Contenido de humedad (%)	11.27	12.18	11.31	12.70	11.30	14.47
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.056	2.056	1.965	1.965	1.895	1.895

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/05/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
17/05/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg <sup>2</sup>	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION	
		lb	lb	%	lb	lb	%	lb	lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		26			14			24		
0.050		85			51			77		
0.075		172			105			153		
0.100	1000	286	720	23.9	161	475	15.8	228	269	8.9
0.125		366			220			299		
0.150		598			308			368		
0.175		753			409			433		
0.200	1500	912	1383	30.6	509	903	20.0	507	536	11.8
0.250		1234			720			635		
0.300		1548			938			754		
0.400		2170			1361			991		
0.500		2755			1756			1221		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Jorge E. Morillo Trujillo*  
Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-645-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

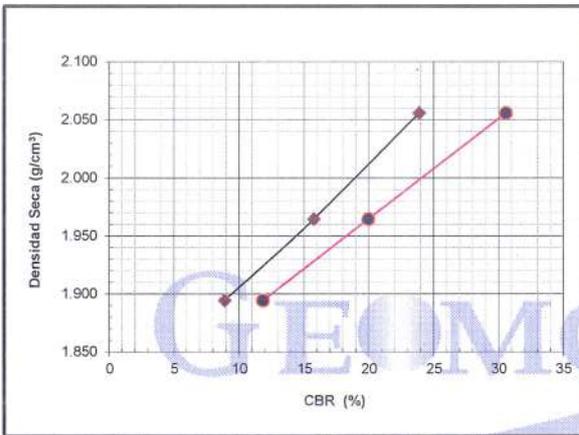
**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 17/05/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan  
**CALICATA** : C-03  
**MUESTRA** : M-01

**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-2-4 (0)

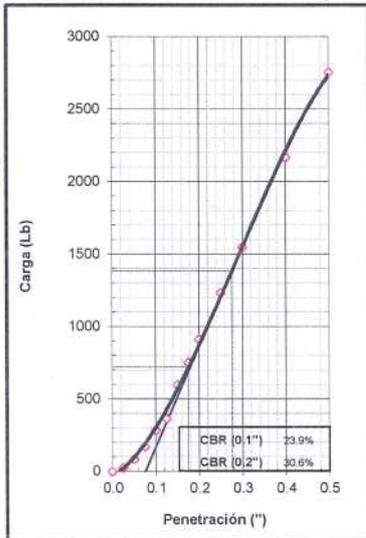


**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 2.045  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 11.33

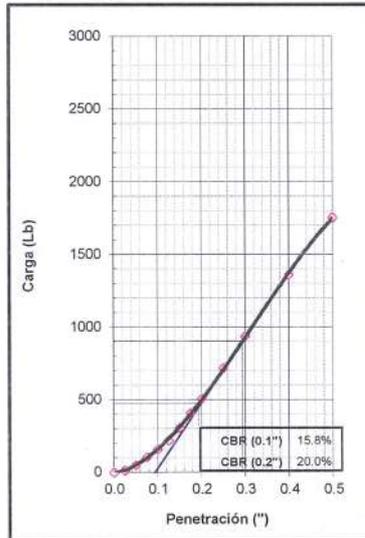
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	22.94	0.2"	29.28
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	13.66	0.2"	17.41

**OBSERVACIONES:**

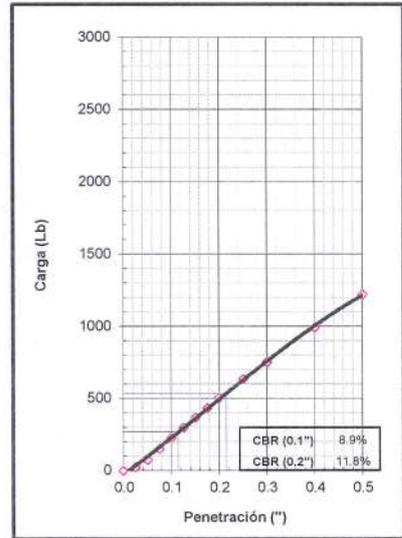
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

**INFORME N° GM-LB22-1178-03**

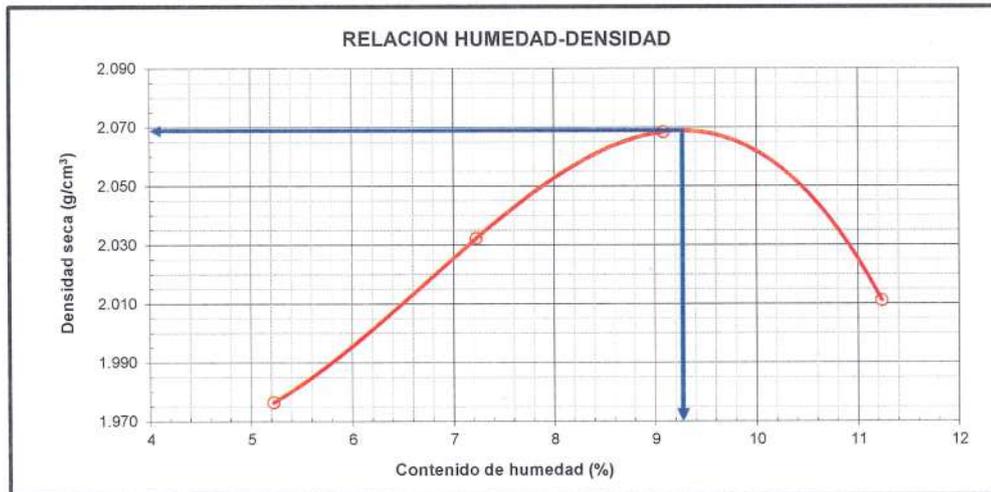
**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO  
 ASTM D1557 - 12<sup>ed</sup>  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 12/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan  
**CALICATA** : C-03  
**MUESTRA** : M-01 + 4% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

Masa Suelo + molde (g)	3950.00	4043.00	4115.00	4097.00	
Masa Molde (g)	2007.00	2007.00	2007.00	2007.00	
Masa Suelo (g)	1943.00	2036.00	2108.00	2090.00	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	934.23	934.23	934.23	934.23	
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.080	2.179	2.256	2.237	
Tara No.	S-12	S-10	A-10	G-07	
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	442.60	400.90	400.60	435.60	
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	425.20	380.10	373.80	399.70	
Masa de Tara (g)	91.90	92.40	78.80	80.10	
Masa de Agua (g)	17.40	20.80	26.80	35.90	
Masa del Suelo Seco (g)	333.30	287.70	295.00	319.60	
Humedad (%)	5.22	7.23	9.08	11.23	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.977	2.032	2.068	2.011	
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>					2.069
<b>Humedad óptima (%)</b>					9.3



Hecho por: K.A.J.



Revisado por: J.M.T

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
 Nuevo Chimbote - Santa - Ancash

Cel. 943355197 - 998185953, email: geomg17@yahoo.es - informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1178-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 12/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan  
**CALICATA** : C-03  
**MUESTRA** : M-01 + 4% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12618.00	12716.00	12165.00	12323.00	12215.00	12455.00
Masa de molde (g)	7833.00	7833.00	7570.00	7570.00	7963.00	7963.00
Masa del suelo húmedo (g)	4785.00	4883.00	4595.00	4753.00	4252.00	4492.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2106.00	2106.00	2113.00	2113.00	2104.25	2104.25
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.272	2.319	2.175	2.249	2.021	2.135
Tara (N°)	L-04		S-01		L-04	
Masa suelo húmedo + tara (g)	459.20	4883.00	427.10	4753.00	430.70	4492.00
Masa suelo seco + tara (g)	428.10	4379.96	398.40	4203.44	401.30	3891.02
Masa de tara (g)	91.80	0.00	90.30	0.00	84.40	0.00
Masa de agua (g)	31.10	503.04	28.70	549.56	29.40	600.98
Masa de suelo seco (g)	336.30	4379.96	308.10	4203.44	316.90	3891.02
Contenido de humedad (%)	9.25	11.49	9.32	13.07	9.28	15.45
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.080	2.080	1.989	1.989	1.849	1.849

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
08/08/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
09/08/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
10/08/2022	09:10	48 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
11/08/2022	09:10	72 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
12/08/2022	09:10	96 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg2	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION	
		lb	lb	%	lb	lb	%	lb	lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		42			64			10		
0.050		126			197			32		
0.075		266			356			68		
0.100	1000	456	846	28.0	512	513	17.0	117	218	7.2
0.125		657			653			168		
0.150		894			787			229		
0.175		1123			908			287		
0.200	1500	1336	1663	36.7	1021	1011	22.3	342	430	9.5
0.250		1732			1239			444		
0.300		2107			1425			539		
0.400		2715			1743			695		
0.500		3289			2015			819		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Ing. Jorge E. Morillo Trujillo*  
CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
Nuevo Chimbote - Santa - Ancash

Cel. 943355197 - 998185953, email: geomg17@yahoo.es - informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1178-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

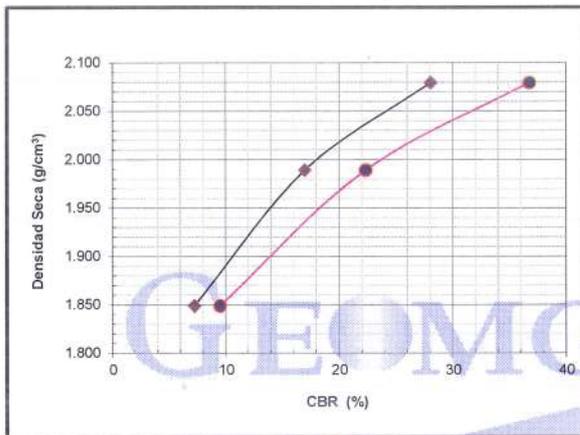
**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 12/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan  
**CALICATA** : C-03  
**MUESTRA** : M-01 + 4% EMULSION

**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-2-4 (0)

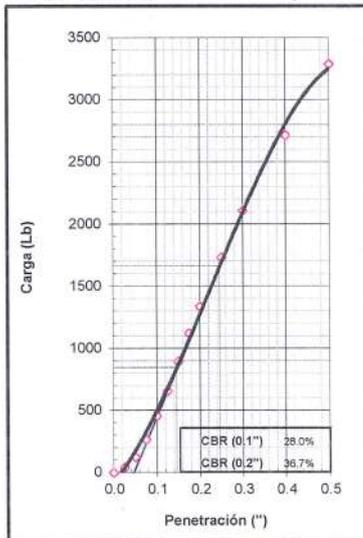


**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 2.069  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 9.27

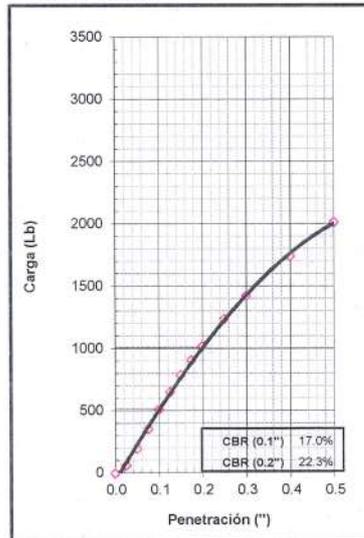
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	26.53	0.2"	34.78
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	14.72	0.2"	19.34

**OBSERVACIONES:**

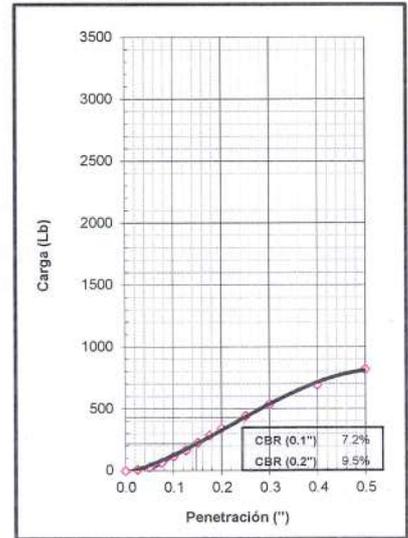
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

**INFORME N° GM-LB22-1194-03**

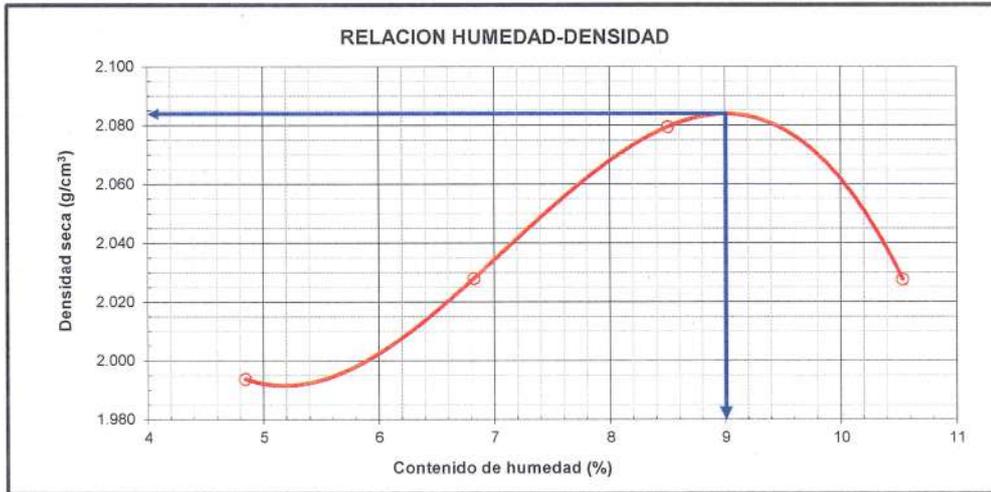
**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO  
 ASTM D1557 - 12<sup>ed</sup>  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 13/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan  
**CALICATA** : C-03  
**MUESTRA** : M-01 + 6% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

Masa Suelo + molde (g)	3960.00	4031.00	4115.00	4101.00	
Masa Molde (g)	2007.00	2007.00	2007.00	2007.00	
Masa Suelo (g)	1953.00	2024.00	2108.00	2094.00	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	934.23	934.23	934.23	934.23	
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.090	2.166	2.256	2.241	
Tara No.	G-01	A-10	S-10	G-07	
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	364.50	393.00	427.90	416.70	
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	351.20	372.90	401.60	384.60	
Masa de Tara (g)	76.70	78.30	92.20	79.90	
Masa de Agua (g)	13.30	20.10	26.30	32.10	
Masa del Suelo Seco (g)	274.50	294.60	309.40	304.70	
Humedad (%)	4.85	6.82	8.50	10.53	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.994	2.028	2.080	2.028	
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				<b>2.084</b>	
<b>Humedad óptima (%)</b>				<b>9.0</b>	



Hecho por: K.A.J.



Revisado por: J.M.T

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIF N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
 Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1194-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 13/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan  
**CALICATA** : C-03  
**MUESTRA** : M-01 + 6% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12553.60	12655.00	12293.00	12458.00	12098.00	12328.00
Masa de molde (g)	7791.00	7791.00	7692.00	7692.00	7713.00	7713.00
Masa del suelo húmedo (g)	4762.60	4864.00	4601.00	4766.00	4385.00	4615.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2095.00	2095.00	2124.00	2124.00	2114.00	2114.00
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.273	2.322	2.166	2.244	2.074	2.183
Tara (N°)	A-07		S-04		G-10	
Masa suelo húmedo + tara (g)	405.40	4864.00	489.30	4766.00	588.90	4615.00
Masa suelo seco + tara (g)	379.20	4373.15	456.50	4222.30	548.10	4029.74
Masa de tara (g)	85.00	0.00	90.80	0.00	85.30	0.00
Masa de agua (g)	26.20	490.85	32.80	543.70	40.80	585.26
Masa de suelo seco (g)	294.20	4373.15	365.70	4222.30	462.80	4029.74
Contenido de humedad (%)	8.91	11.22	8.97	12.88	8.82	14.52
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.087	2.087	1.988	1.988	1.906	1.906

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
09/08/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
10/08/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
11/08/2022	09:10	48 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
12/08/2022	09:10	72 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
13/08/2022	09:10	96 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg <sup>2</sup>	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION	
		lb	lb	%	lb	lb	%	lb	lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		78			52			88		
0.050		225			156			182		
0.075		427			611			276		
0.100	1000	677	896	29.7	460	532	17.6	357	351	11.6
0.125		939			618			426		
0.150		1195			763			487		
0.175		1445			887			541		
0.200	1500	1672	1783	39.4	996	983	21.7	590	592	13.1
0.250		2082			1181			674		
0.300		2424			1328			749		
0.400		2964			1564			876		
0.500		3365			1771			980		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Jorge E. Morillo Trujillo*  
Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
Nuevo Chimbote - Santa - Ancash

Cel. 943355197 - 998185953, email: geomg17@yahoo.es - informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1194-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

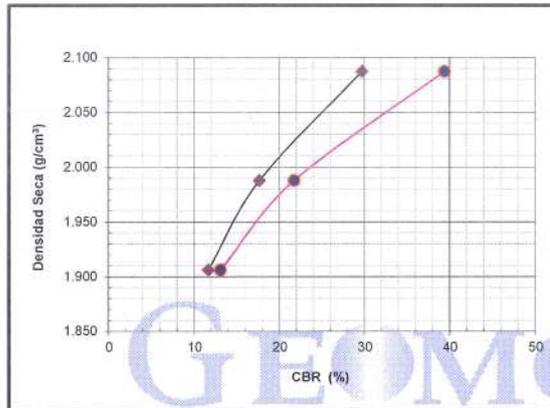
**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 13/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan  
**CALICATA** : C-03  
**MUESTRA** : M-01 + 6% EMULSION

**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-2-4 (0)

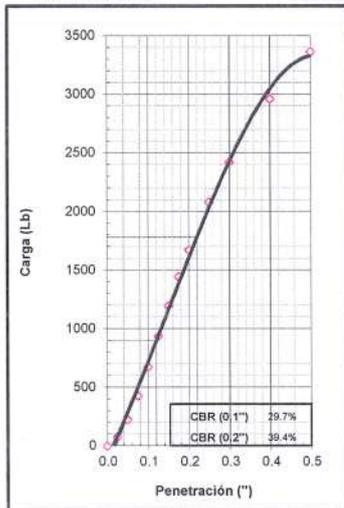


**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 2.084  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 9.01

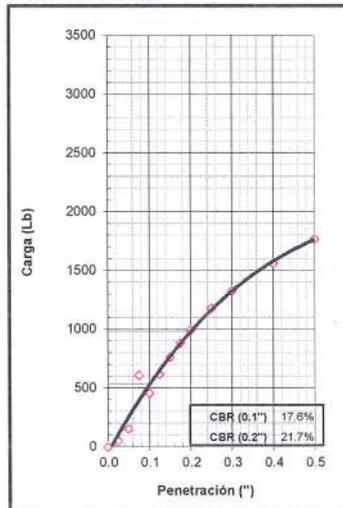
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	29.19	0.2"	38.66
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	16.88	0.2"	20.62

**OBSERVACIONES:**

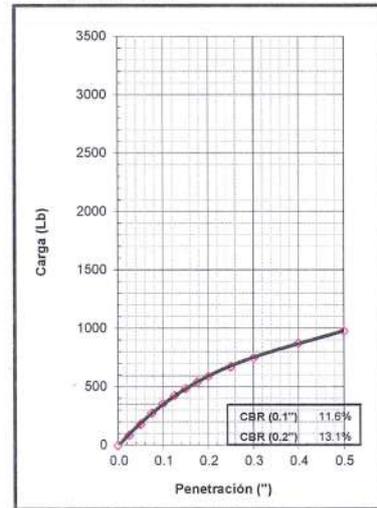
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



EJECUTADO: J.M.

Responsable:



**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

**INFORME N° GM-LB22-1225-03**

**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO  
 ASTM D1557 - 12<sup>E1</sup>  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"

**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO

**FECHA** : 19/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan

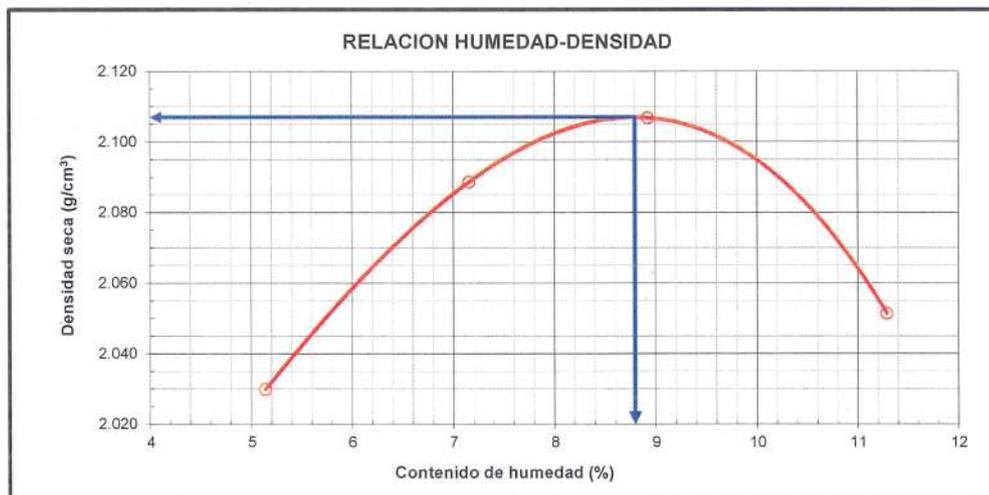
**CALICATA** : C-03

**MUESTRA** : M-01 + 8% EMULSION

**CLASF. (SUCS)** : SM

**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

Masa Suelo + molde (g)	4001.00	4098.00	4151.00	4140.00
Masa Molde (g)	2007.00	2007.00	2007.00	2007.00
Masa Suelo (g)	1994.00	2091.00	2144.00	2133.00
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	934.23	934.23	934.23	934.23
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.134	2.238	2.295	2.283
Tara No.	A-10	G-01	G-07	S-06
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	327.80	373.20	336.20	389.90
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	315.60	353.40	315.20	359.70
Masa de Tara (g)	78.40	76.70	79.90	92.20
Masa de Agua (g)	12.20	19.80	21.00	30.20
Masa del Suelo Seco (g)	237.20	276.70	235.30	267.50
Humedad (%)	5.14	7.16	8.92	11.29
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.030	2.089	2.107	2.052
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				<b>2.107</b>
<b>Humedad óptima (%)</b>				<b>8.8</b>



Hecho por: K.A.J.

Revisado por: J.M.T



**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
 Nuevo Chimbote - Santa - Ancash

Cel. 943355197 - 998185953, email: geomg17@yahoo.es - informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1225-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 19/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan  
**CALICATA** : C-03  
**MUESTRA** : M-01 + 8% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12599.60	12682.00	12443.90	12551.00	12263.00	12418.00
Masa de molde (g)	7791.00	7791.00	7692.00	7692.00	7713.00	7713.00
Masa del suelo húmedo (g)	4808.60	4891.00	4751.90	4859.00	4550.00	4705.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2095.00	2095.00	2124.00	2124.00	2114.00	2114.00
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.295	2.335	2.237	2.288	2.152	2.226
Tara (N°)	S-02		A-01		S-06	
Masa suelo húmedo + tara (g)	392.20	4891.00	336.20	4859.00	376.40	4705.00
Masa suelo seco + tara (g)	368.00	4419.41	315.20	4368.09	353.10	4176.58
Masa de tara (g)	93.20	0.00	76.20	0.00	92.50	0.00
Masa de agua (g)	24.20	471.59	21.00	490.91	23.30	528.42
Masa de suelo seco (g)	274.80	4419.41	239.00	4368.09	260.60	4176.58
Contenido de humedad (%)	8.81	10.67	8.79	11.24	8.94	12.65
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.110	2.110	2.057	2.057	1.976	1.976

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
15/08/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
16/08/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
17/08/2022	09:10	48 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
18/08/2022	09:10	72 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
19/08/2022	09:10	96 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg2	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION	
			lb	lb		%	lb		lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		177			109			103		
0.050		388			253			265		
0.075		649			520			419		
0.100	1000	929	1088	36.0	752	787	26.1	547	539	17.9
0.125		1046			960			660		
0.150		1350			1174			757		
0.175		1660			1371			852		
0.200	1500	1962	2145	47.4	1551	1542	34.1	928	928	20.5
0.250		2503			1872			1065		
0.300		2994			2153			1192		
0.400		3847			2608			1406		
0.500		4586			3006			1593		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Jorge E. Morillo Trujillo*  
**Ing. Jorge E. Morillo Trujillo**  
CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1225-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

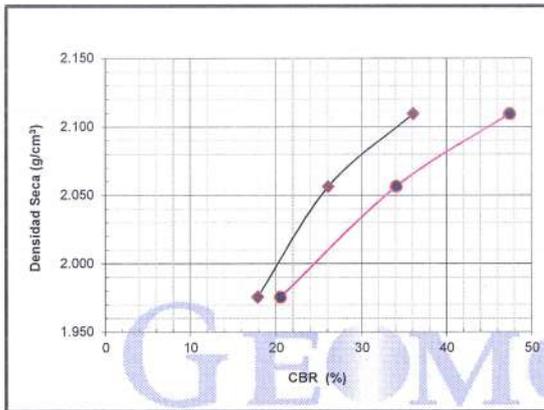
**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 19/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : C.P. San Juan  
**CALICATA** : C-03  
**MUESTRA** : M-01 + 8% EMULSION

**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-2-4 (0)

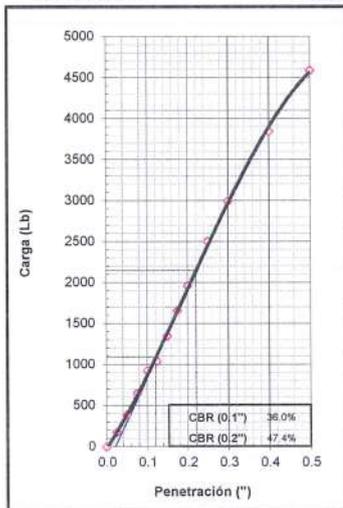


**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 2.107  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 8.80

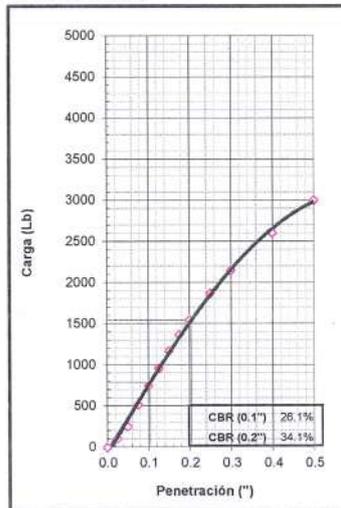
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	35.50	0.2":	46.70
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	19.59	0.2":	23.98

**OBSERVACIONES:**

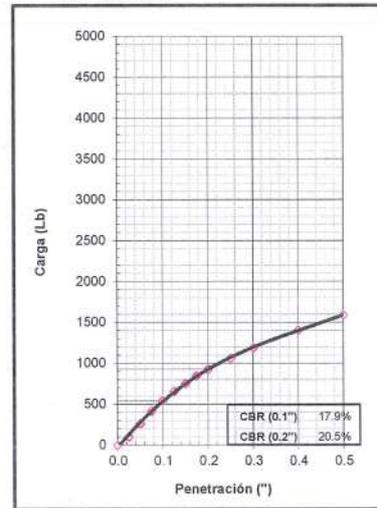
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



EJECUTADO: J.M.

Responsable:



**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
 Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-649-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

PROYECTO : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
SOLICITA : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
FECHA : 17/05/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

DESCRIPCIÓN : Tramo 2  
CALICATA : C-06  
MUESTRA : M-01  
CLASF. (SUCS) : SM  
CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	56		25		10	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12352.30	12431.00	11864.00	11959.00	11995.00	12143.00
Masa de molde (g)	7833.00	7833.00	7570.00	7570.00	7963.00	7963.00
Masa del suelo húmedo (g)	4519.30	4598.00	4294.00	4389.00	4032.00	4180.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2106.00	2106.00	2113.00	2113.00	2104.25	2104.25
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.146	2.183	2.032	2.077	1.916	1.986
Tara (N°)	A-04		A-08		A-09	
Masa suelo húmedo + tara (g)	463.50	4598.00	430.30	4389.00	418.00	4180.00
Masa suelo seco + tara (g)	417.80	3982.57	388.60	3783.28	378.30	3553.95
Masa de tara (g)	78.70	0.00	79.70	0.00	78.70	0.00
Masa de agua (g)	45.70	615.43	41.70	605.72	40.30	626.05
Masa de suelo seco (g)	339.10	3982.57	308.90	3783.28	299.60	3553.95
Contenido de humedad (%)	13.48	15.45	13.50	16.01	13.45	17.62
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.891	1.891	1.790	1.790	1.689	1.689

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/05/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
17/05/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg2	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		lb	lb	lb	%	lb	lb	lb	%	lb	lb	lb	%
0.000		0				0				0			
0.025		30				31				31			
0.050		114				115				94			
0.075		283				231				161			
0.100	1000	465	543	18.0		345	356	11.8		226	226	7.5	
0.125		641				460				283			
0.150		816				563				333			
0.175		846				663				374			
0.200	1500	982	1053	23.3		751	732	16.2		412	407	9.0	
0.250		1218				912				476			
0.300		1428				1044				529			
0.400		1781				1259				619			
0.500		2039				1427				700			

EJECUTADO: J.M.



Responsible:

**GEOMG S.A.C.**  
*Jorge E. Morillo Trujillo*  
**Ing. Jorge E. Morillo Trujillo**  
CIP N° 68736

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-649-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

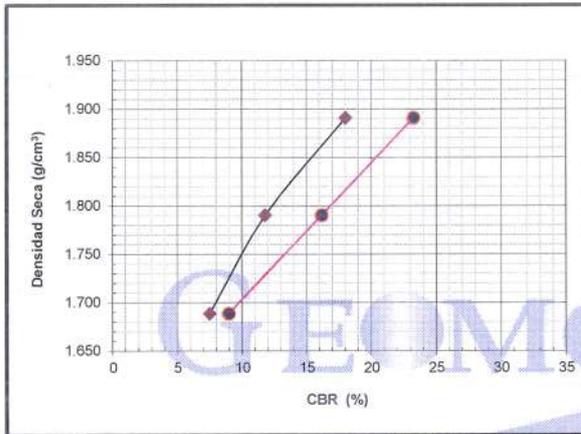
**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 17/05/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : Tramo 2  
**CALICATA** : C-06  
**MUESTRA** : M-01

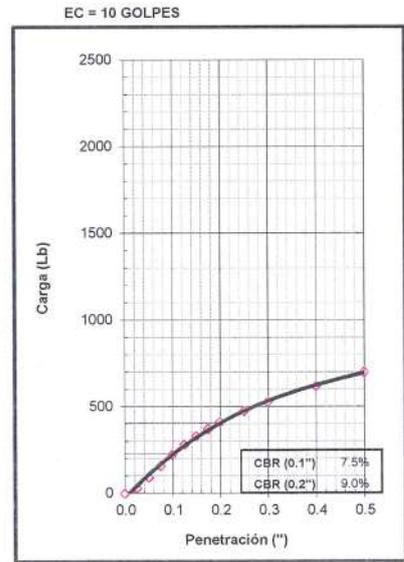
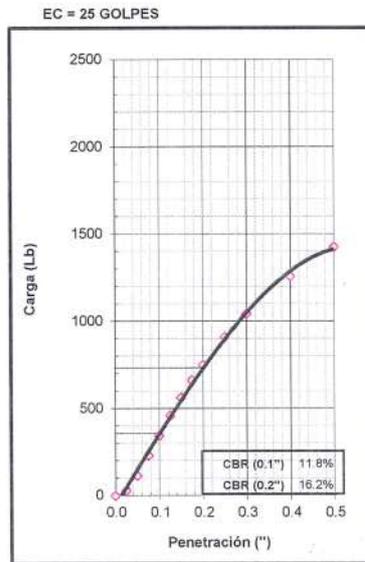
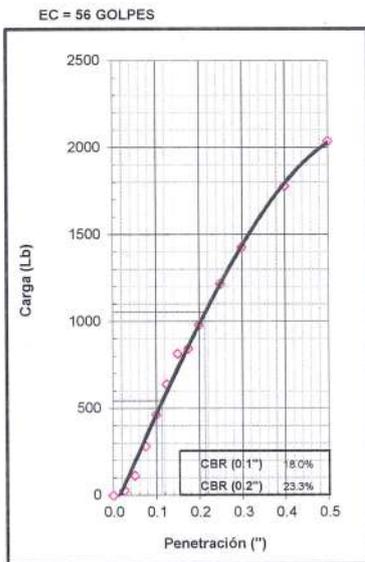
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-4 (0)



**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1.899  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 13.80

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	18.58	0.2"	23.82
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	12.53	0.2"	17.14

**OBSERVACIONES:**



EJECUTADO: J.M.

Responsable:



**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
 Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1253-03**

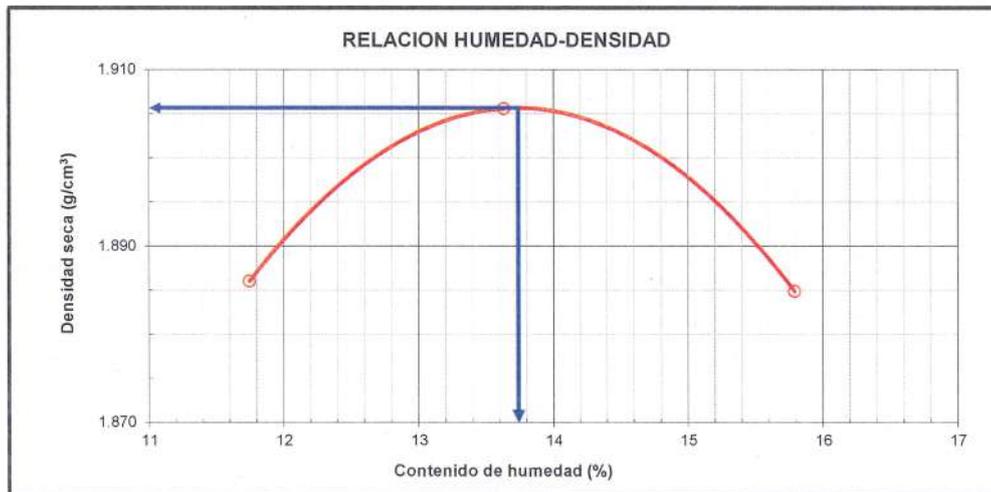
**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO  
 ASTM D1557 - 12<sup>ET</sup>  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 23/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : Tramo 2  
**CALICATA** : C-06  
**MUESTRA** : M-01 + 4% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-4 (0)

Masa Suelo + molde (g)	3976.00	4030.00	4046.00	
Masa Molde (g)	2007.00	2007.00	2007.00	
Masa Suelo (g)	1969.00	2023.00	2039.00	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	934.23	934.23	934.23	
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.108	2.165	2.183	
Tara No.	G-01	G-08	G-11	
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	412.90	411.30	422.30	
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	377.80	371.30	375.10	
Masa de Tara (g)	79.00	77.90	76.20	
Masa de Agua (g)	35.10	40.00	47.20	
Masa del Suelo Seco (g)	298.80	293.40	298.90	
Humedad (%)	11.75	13.63	15.79	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.886	1.906	1.885	
			<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.906</b>
			<b>Humedad óptima (%)</b>	<b>13.7</b>



Hecho por: K.A.J.

Revisado por: J.M.T.



**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
 Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1253-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

PROYECTO : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
SOLICITA : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
FECHA : 23/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

DESCRIPCIÓN : Tramo 2  
CALICATA : C-06  
MUESTRA : M-01 + 4% EMULSION  
CLASF. (SUCS) : SM  
CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

**COMPACTACION**

	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12343.70	12489.00	12072.20	12250.00	11867.00	12120.00
Masa de molde (g)	7791.00	7791.00	7692.00	7692.00	7713.00	7713.00
Masa del suelo húmedo (g)	4552.70	4698.00	4380.20	4558.00	4154.00	4407.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2095.00	2095.00	2124.00	2124.00	2114.00	2114.00
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.173	2.242	2.062	2.146	1.965	2.085
Tara (N°)	L-4		A-11		S-11	
Masa suelo húmedo + tara (g)	329.30	4698.00	396.20	4558.00	360.90	4407.00
Masa suelo seco + tara (g)	300.10	4010.54	358.20	3851.96	328.60	3648.83
Masa de tara (g)	84.10	0.00	81.10	0.00	95.30	0.00
Masa de agua (g)	29.20	687.46	38.00	706.04	32.30	758.17
Masa de suelo seco (g)	216.00	4010.54	277.10	3851.96	233.30	3648.83
Contenido de humedad (%)	13.52	17.14	13.71	18.33	13.84	20.78
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.914	1.914	1.814	1.814	1.726	1.726

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
19/08/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
20/08/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
21/08/2022	09:10	48 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
22/08/2022	09:10	72 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
23/08/2022	09:10	96 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg <sup>2</sup>	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION	
		lb	lb	%	lb	lb	%	lb	lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		36			21			30		
0.050		113			63			72		
0.075		227			127			119		
0.100	1000	386	747	24.8	216	420	13.9	162	165	5.5
0.125		580			326			205		
0.150		802			450			240		
0.175		1008			567			272		
0.200	1500	1215	1478	32.7	682	830	18.3	299	295	6.5
0.250		1567			880			345		
0.300		1864			1047			386		
0.400		2314			1300			456		
0.500		2649			1488			521		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Ing. Jorge E. Morillo Trujillo*  
CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1253-02**

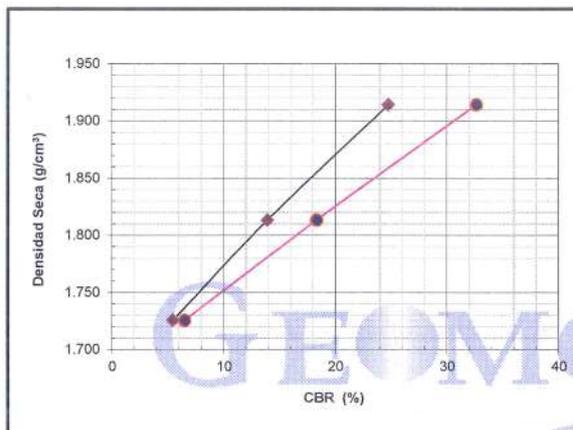
**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
 MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 23/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : Tramo 2  
**CALICATA** : C-06  
**MUESTRA** : M-01 + 4% EMULSION

**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-4 (0)

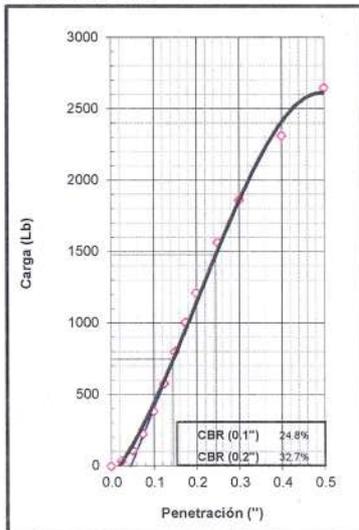


**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1.906  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 13.74

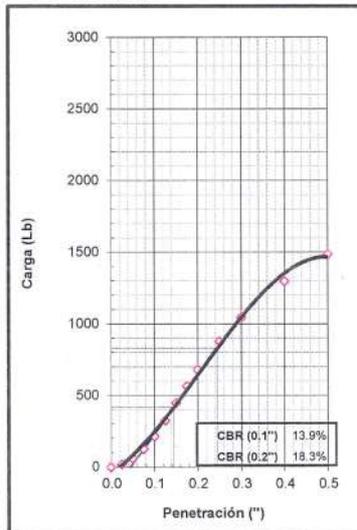
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	23.81	0.2"	31.45
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	13.62	0.2"	17.95

**OBSERVACIONES:**

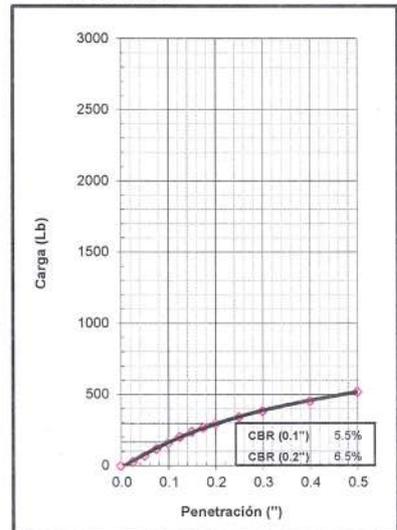
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

**INFORME N° GM-LB22-1272-03**

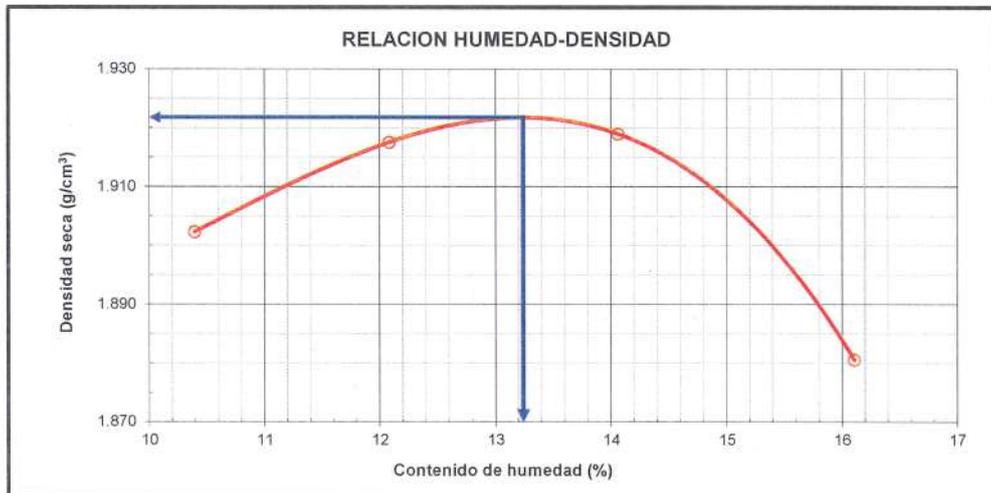
**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO  
 ASTM D1557 - 12<sup>E1</sup>  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 25/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : Tramo 2  
**CALICATA** : C-06  
**MUESTRA** : M-01 + 6% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-4 (0)

Masa Suelo + molde (g)	3969.00	4015.00	4052.00	4047.00	
Masa Molde (g)	2007.00	2007.00	2007.00	2007.00	
Masa Suelo (g)	1962.00	2008.00	2045.00	2040.00	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	934.23	934.23	934.23	934.23	
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.100	2.149	2.189	2.184	
Tara No.	G-03	L-04	A-11	A-10	
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	398.00	291.00	400.90	472.70	
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	368.60	268.70	361.40	418.20	
Masa de Tara (g)	85.80	84.20	80.60	79.90	
Masa de Agua (g)	29.40	22.30	39.50	54.50	
Masa del Suelo Seco (g)	282.80	184.50	280.80	338.30	
Humedad (%)	10.40	12.09	14.07	16.11	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.902	1.918	1.919	1.881	
				<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.922
				<b>Humedad óptima (%)</b>	13.2



Hecho por: K.A.J.



Revisado por: J.M.T

GEOMG S.A.C.  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

**INFORME N° GM-LB22-1272-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

PROYECTO : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
SOLICITA : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
FECHA : 25/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

DESCRIPCIÓN : Tramo 2  
CALICATA : C-06  
MUESTRA : M-01 + 6% EMULSION  
CLASF. (SUCS) : SM  
CLASF. (AASHTO) : A-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12401.60	12551.00	11868.90	12108.00	11983.00	12267.00
Masa de molde (g)	7833.00	7833.00	7570.00	7570.00	7963.00	7963.00
Masa del suelo húmedo (g)	4568.60	4718.00	4298.90	4538.00	4020.00	4304.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2106.00	2106.00	2113.00	2113.00	2104.25	2104.25
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.169	2.240	2.035	2.148	1.910	2.045
Tara (N°)	P-06		S-08		P-08	
Masa suelo húmedo + tara (g)	378.50	4718.00	438.40	4538.00	485.30	4304.00
Masa suelo seco + tara (g)	345.00	4031.78	398.30	3797.63	439.60	3550.38
Masa de tara (g)	93.40	0.00	94.50	0.00	94.10	0.00
Masa de agua (g)	33.50	686.22	40.10	740.37	45.70	753.62
Masa de suelo seco (g)	251.60	4031.78	303.80	3797.63	345.50	3550.38
Contenido de humedad (%)	13.31	17.02	13.20	19.50	13.23	21.23
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.914	1.914	1.797	1.797	1.687	1.687

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
21/08/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
22/08/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
23/08/2022	09:10	48 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
24/08/2022	09:10	72 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
25/08/2022	09:10	96 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg2	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION	
		lb	lb	%	lb	lb	%	lb	lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		91			56			24		
0.050		257			139			67		
0.075		494			251			129		
0.100	1000	763	806	26.7	380	402	13.3	201	212	7.0
0.125		961			509			253		
0.150		1273			626			335		
0.175		1495			734			393		
0.200	1500	1690	1598	35.3	822	795	17.6	444	420	9.3
0.250		1974			975			519		
0.300		2182			1094			574		
0.400		2485			1276			654		
0.500		2756			1413			725		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Ing. Jorge E. Morillo Trujillo*  
CIP N° 68736

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
Nuevo Chimbote - Santa - Ancash

Cel. 943355197 - 998185953, email: geomg17@yahoo.es - informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1272-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

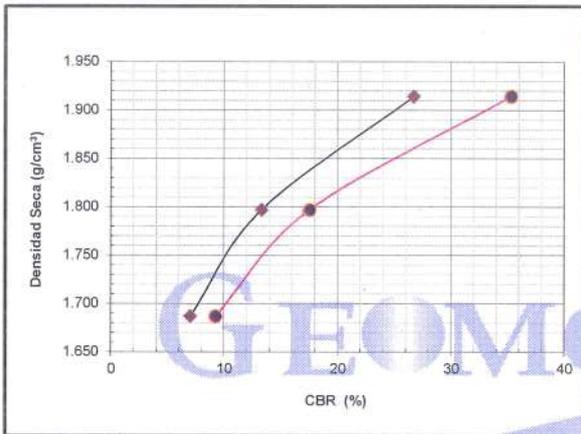
**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 25/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : Tramo 2  
**CALICATA** : C-06  
**MUESTRA** : M-01 + 6% EMULSION

**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-4 (0)

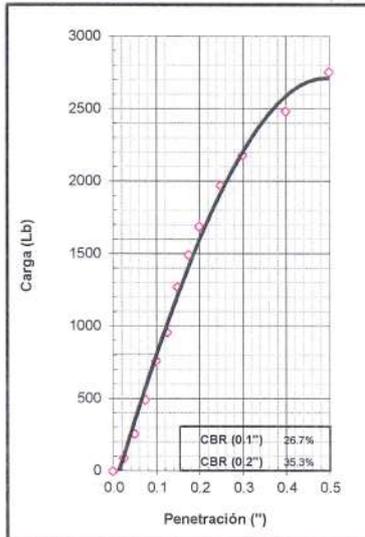


**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1.922  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 13.24

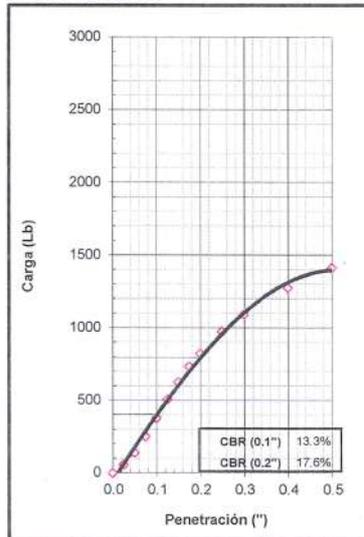
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	27.81	0.2":	36.78
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	15.95	0.2":	21.04

**OBSERVACIONES:**

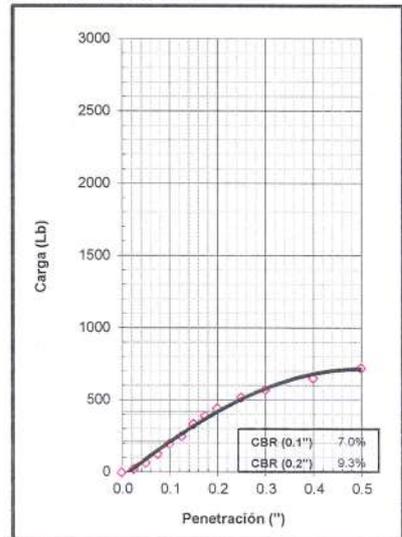
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIF N° 68738

**INFORME N° GM-LB22-1299-03**

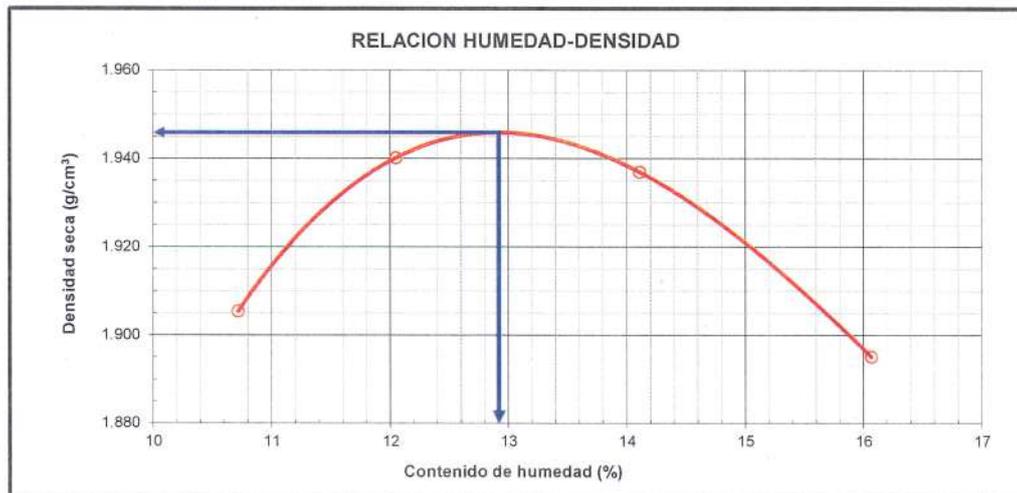
**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO  
 ASTM D1557 - 12<sup>e1</sup>  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 29/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : Tramo 2  
**CALICATA** : C-06  
**MUESTRA** : M-01 + 8% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-4 (0)

Masa Suelo + molde (g)	3978.00	4038.00	4072.00	4062.00
Masa Molde (g)	2007.00	2007.00	2007.00	2007.00
Masa Suelo (g)	1971.00	2031.00	2065.00	2055.00
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	934.23	934.23	934.23	934.23
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.110	2.174	2.210	2.200
Tara No.	S-06	G-05	S-07	G-06
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	444.90	384.80	403.60	425.50
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	410.80	352.40	365.00	377.10
Masa de Tara (g)	92.70	83.50	91.50	75.90
Masa de Agua (g)	34.10	32.40	38.60	48.40
Masa del Suelo Seco (g)	318.10	268.90	273.50	301.20
Humedad (%)	10.72	12.05	14.11	16.07
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.905	1.940	1.937	1.895
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				<b>1.946</b>
<b>Humedad óptima (%)</b>				<b>12.9</b>



Hecho por: K.A.J.

Revisado por: J.M.T



**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

**INFORME N° GM-LB22-1299-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 29/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : Tramo 2  
**CALICATA** : C-06 **CLASF. (SUCS)** : SM  
**MUESTRA** : M-01 + 8% EMULSION **CLASF. (AASHTO)** : A-4 (0)

**COMPACTACION**

	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12408.60	12555.00	12031.00	12306.00	11641.00	12026.00
Masa de molde (g)	7791.00	7791.00	7692.00	7692.00	7713.00	7713.00
Masa del suelo húmedo (g)	4617.60	4764.00	4339.00	4614.00	3928.00	4313.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2095.00	2095.00	2124.00	2124.00	2114.00	2114.00
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.204	2.274	2.043	2.172	1.858	2.040
Tara (N°)	S-01		G-11		S-08	
Masa suelo húmedo + tara (g)	422.30	4764.00	440.30	4614.00	405.80	4313.00
Masa suelo seco + tara (g)	384.30	4089.08	398.30	3839.72	369.90	3475.59
Masa de tara (g)	90.30	0.00	75.30	0.00	94.10	0.00
Masa de agua (g)	38.00	674.92	42.00	774.28	35.90	837.41
Masa de suelo seco (g)	294.00	4089.08	323.00	3839.72	275.80	3475.59
Contenido de humedad (%)	12.93	16.51	13.00	20.17	13.02	24.09
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.952	1.952	1.808	1.808	1.644	1.644

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
25/08/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
26/08/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
27/08/2022	09:10	48 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
28/08/2022	09:10	72 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
29/08/2022	09:10	96 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg2	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION
		lb	lb	%	lb	lb	%	lb	lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		109			58			24		
0.050		310			144			70		
0.075		595			261			134		
0.100	1000	919	970	32.2	395	440	14.6	209	251	8.3
0.125		1157			529			263		
0.150		1533			652			348		
0.175		1800			763			409		
0.200	1500	2035	1924	42.5	855	845	18.7	462	462	10.2
0.250		2376			1014			540		
0.300		2627			1138			597		
0.400		2992			1327			680		
0.500		3318			1469			753		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Ing. Jorge E. Morillo Trujillo*  
CIE N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9

Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1299-02**

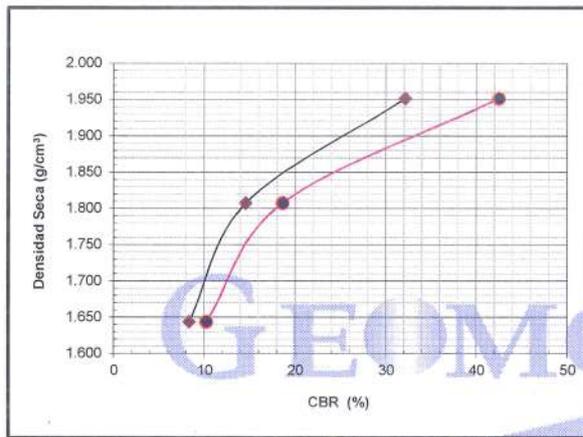
**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 29/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**DESCRIPCIÓN** : Tramo 2  
**CALICATA** : C-06  
**MUESTRA** : M-01 + 8% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-4 (0)

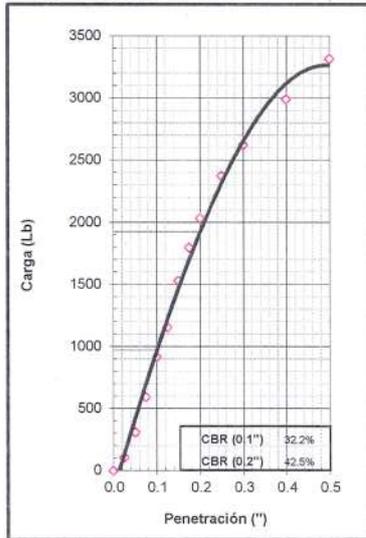


**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1.946  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 12.92

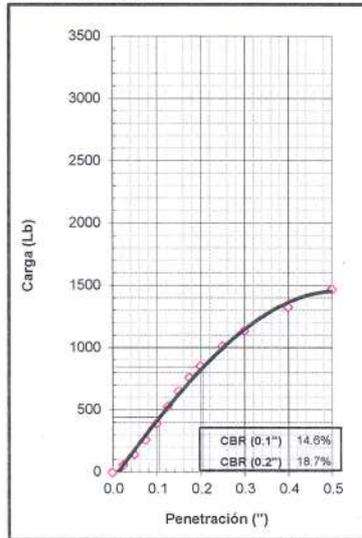
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	31.22	0.2":	41.26
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	18.42	0.2":	23.88

**OBSERVACIONES:**

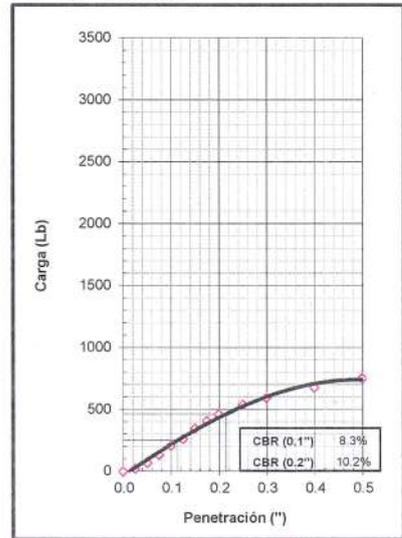
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9

Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-653-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

PROYECTO : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
SOLICITA : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
FECHA : 17/05/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

PROGRESIVA : Tramo 1  
CALICATA : C-09  
MUESTRA : M-01  
CLASF. (SUCS) : SM  
CLASF. (AASHTO) : A-2-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12464.20	12520.00	12023.00	12148.00	12150.00	12342.00
Masa de molde (g)	7833.00	7833.00	7570.00	7570.00	7963.00	7963.00
Masa del suelo húmedo (g)	4631.20	4687.00	4453.00	4578.00	4187.00	4379.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2106.00	2106.00	2113.00	2113.00	2104.25	2104.25
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.199	2.226	2.107	2.167	1.990	2.081
Tara (N°)	A-11		A-09		A-04	
Masa suelo húmedo + tara (g)	460.50	4687.00	491.20	4578.00	475.30	4379.00
Masa suelo seco + tara (g)	418.50	4115.94	444.90	3952.82	431.20	3721.07
Masa de tara (g)	83.00	0.00	79.00	0.00	79.00	0.00
Masa de agua (g)	42.00	571.06	46.30	625.18	44.10	657.93
Masa de suelo seco (g)	335.50	4115.94	365.90	3952.82	352.20	3721.07
Contenido de humedad (%)	12.52	13.87	12.65	15.82	12.52	17.68
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.954	1.954	1.871	1.871	1.768	1.768

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/05/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
17/05/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg2	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION	
		lb	lb	%	lb	lb	%	lb	lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		18			34			33		
0.050		42			112			99		
0.075		72			215			179		
0.100	1000	123	517	17.1	317	318	10.6	257	259	8.6
0.125		175			408			325		
0.150		250			496			384		
0.175		318			577			436		
0.200	1500	402	907	20.0	654	642	14.2	485	474	10.5
0.250		584			792			560		
0.300		778			914			623		
0.400		1160			1126			738		
0.500		1643			1307			843		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

GEOMG S.A.C.  
*Jorge E. Morillo Trujillo*  
Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
Nuevo Chimbote - Santa - Ancash

Cel. 943355197 - 998185953, email: geomg17@yahoo.es - informes@geomgsac.com

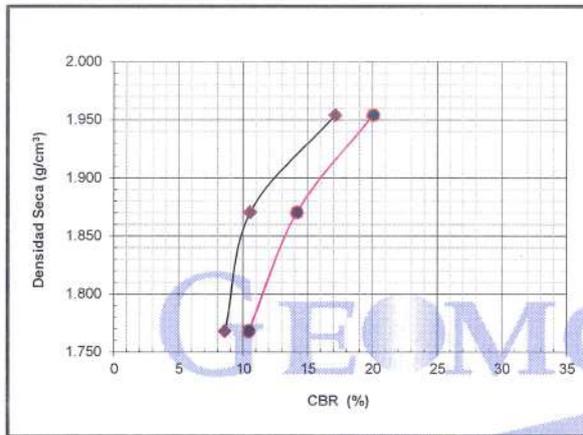
**INFORME N° GM-LB22-653-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
 MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 17/05/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

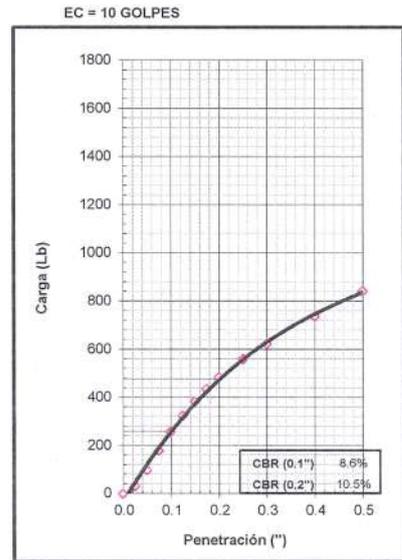
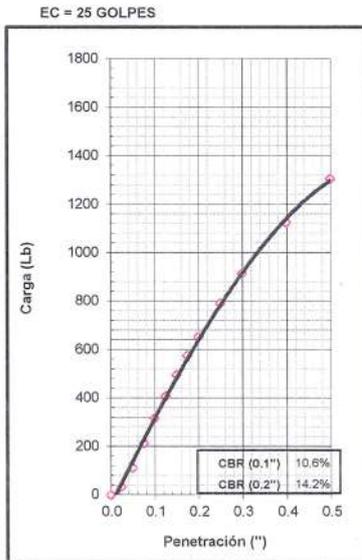
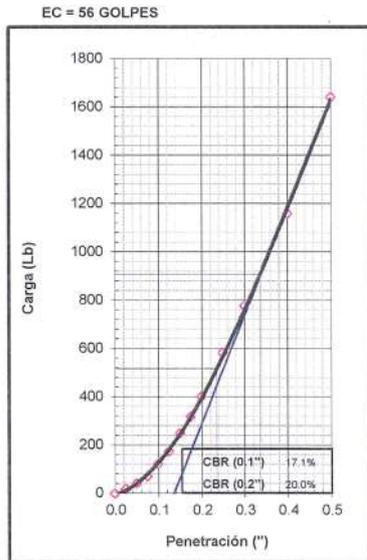
**PROGRESIVA** : Tramo 1  
**CALICATA** : C-09  
**MUESTRA** : M-01  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-2-4 (0)



**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1.961  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 12.49

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	17.83	0.2"	20.62
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	10.17	0.2"	13.76

**OBSERVACIONES:**



EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge El Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

**INFORME N° GM-LB22-1279-03**

**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO  
 ASTM D1557 - 12<sup>et</sup>  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 26/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**PROGRESIV#** : Tramo 1

**CALICATA** : C-09

**MUESTRA** : M-01 + 4% EMULSION

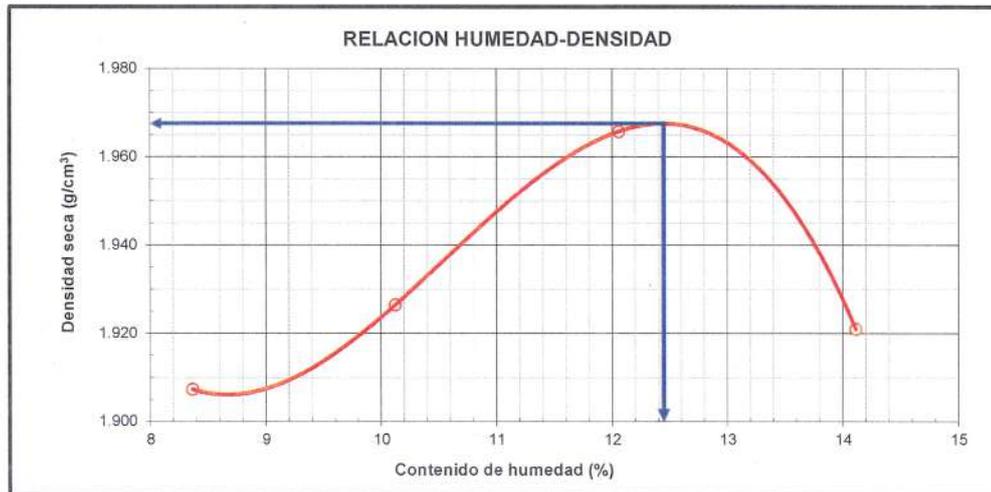
**CLASF. (SUCS)**

: SM

**CLASF. (AASHTO)**

: A-2-4 (0)

Masa Suelo + molde (g)	3938.00	3989.00	4065.00	4055.00
Masa Molde (g)	2007.00	2007.00	2007.00	2007.00
Masa Suelo (g)	1931.00	1982.00	2058.00	2048.00
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	934.23	934.23	934.23	934.23
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.067	2.122	2.203	2.192
Tara No.	P-06	S-02	S-10	S-09
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	371.30	404.20	394.50	391.10
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	349.90	375.60	362.00	354.60
Masa de Tara (g)	94.20	93.10	92.50	96.00
Masa de Agua (g)	21.40	28.60	32.50	36.50
Masa del Suelo Seco (g)	255.70	282.50	269.50	258.60
Humedad (%)	8.37	10.12	12.06	14.11
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.907	1.926	1.966	1.921
<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				1.968
<b>Humedad óptima (%)</b>				12.4



Hecho por: K.A.J.



Revisado por: J.M.T

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68736

**INFORME N° GM-LB22-1279-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 26/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**PROGRESIVA** : Tramo 1  
**CALICATA** : C-09  
**MUESTRA** : M-01 + 4% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12500.50	12529.00	12121.00	12189.00	12326.00	12464.00
Masa de molde (g)	7833.00	7833.00	7570.00	7570.00	7963.00	7963.00
Masa del suelo húmedo (g)	4667.50	4696.00	4551.00	4619.00	4363.00	4501.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2106.00	2106.00	2113.00	2113.00	2104.25	2104.25
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.216	2.230	2.154	2.186	2.073	2.139
Tara (N°)	S-10		S-02		P-06	
Masa suelo húmedo + tara (g)	464.90	4696.00	542.90	4619.00	553.30	4501.00
Masa suelo seco + tara (g)	423.70	4150.98	488.10	3996.67	502.60	3881.81
Masa de tara (g)	92.60	0.00	93.00	0.00	93.60	0.00
Masa de agua (g)	41.20	545.02	54.80	622.33	50.70	619.19
Masa de suelo seco (g)	331.10	4150.98	395.10	3996.67	409.00	3881.81
Contenido de humedad (%)	12.44	13.13	13.87	15.57	12.40	15.95
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.971	1.971	1.891	1.891	1.845	1.845

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/08/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
23/08/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
24/08/2022	09:10	48 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
25/08/2022	09:10	72 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
26/08/2022	09:10	96 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg2	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03				
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION			
			lb	lb		%	lb		lb	%	lb	lb
0.000			0				0			0		
0.025			39				49			13		
0.050			105				159			36		
0.075			200				279			69		
0.100	1000		315	740	24.5		408	454	15.1	109	327	10.8
0.125			444				526			153		
0.150			582				640			201		
0.175			755				745			261		
0.200	1500		915	1411	31.2		842	856	18.9	316	563	12.4
0.250			1261				1006			435		
0.300			1593				1136			550		
0.400			2239				1340			773		
0.500			2842				1436			1085		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Jorge E. Morillo Trujillo*  
Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
CIE N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9

Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1279-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

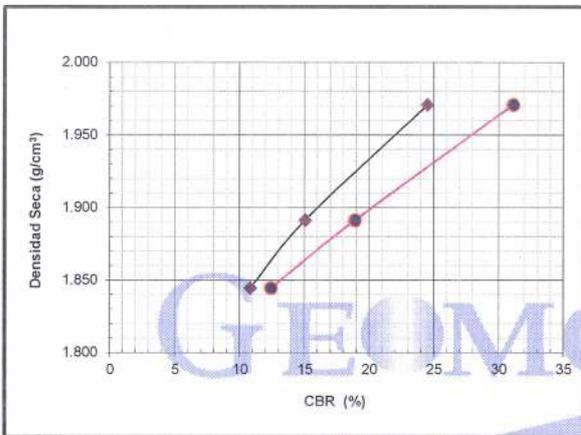
**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 26/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**PROGRESIVA** : Tramo 1  
**CALICATA** : C-09  
**MUESTRA** : M-01 + 4% EMULSION

**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

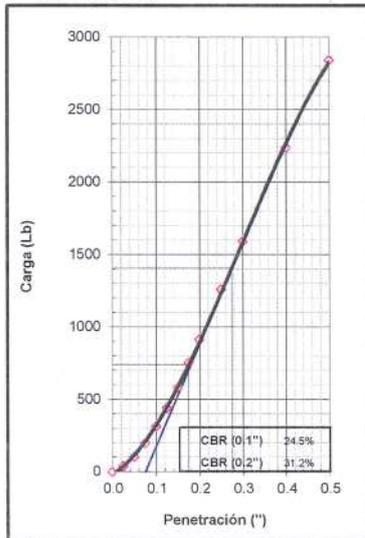


**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1.968  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 12.45

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	24.11	0.2":	30.67
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	12.96	0.2":	15.82

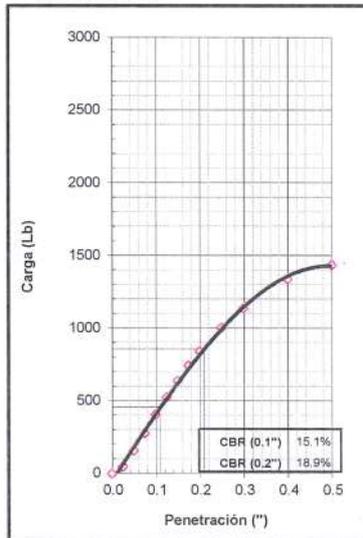
**OBSERVACIONES:**

EC = 56 GOLPES



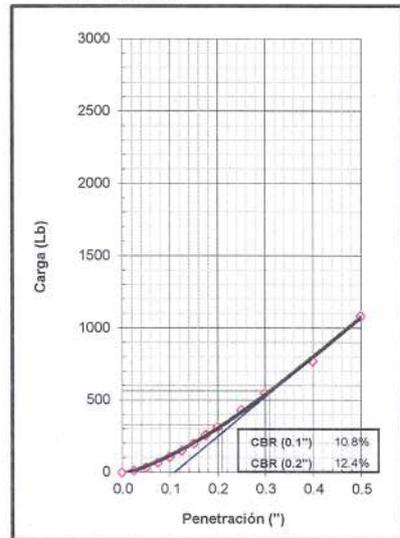
CBR (0.1") : 24.5%  
 CBR (0.2") : 31.2%

EC = 25 GOLPES



CBR (0.1") : 15.1%  
 CBR (0.2") : 18.9%

EC = 10 GOLPES



CBR (0.1") : 10.8%  
 CBR (0.2") : 12.4%

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
 Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1336-03**

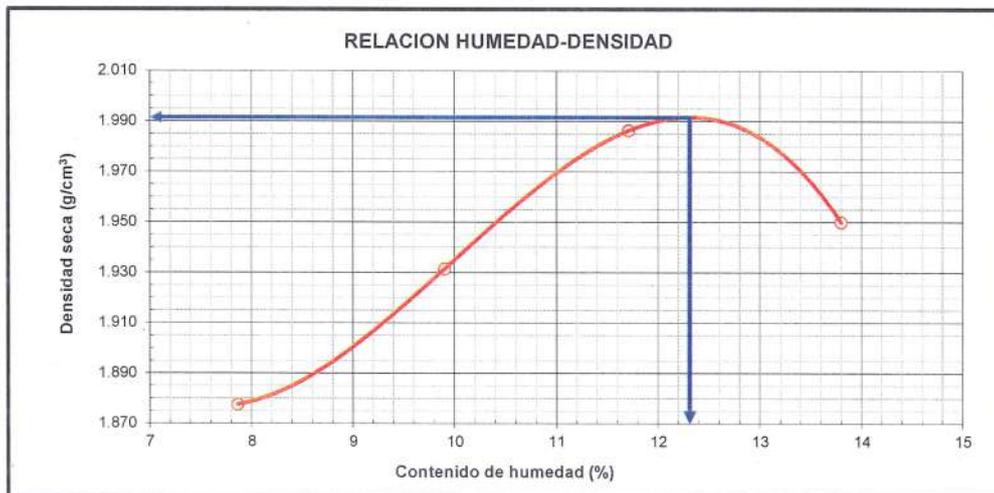
**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO  
 ASTM D1557 - 12<sup>E1</sup>  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 03/09/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**PROGRESIVA** : Tramo 1  
**CALICATA** : C-09  
**MUESTRA** : M-01 + 6% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

Masa Suelo + molde (g)	3899.00	3990.00	4080.00	4080.00
Masa Molde (g)	2007.00	2007.00	2007.00	2007.00
Masa Suelo (g)	1892.00	1983.00	2073.00	2073.00
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	934.23	934.23	934.23	934.23
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.025	2.123	2.219	2.219
Tara No.	S-04	G-01	A-04	L-04
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	424.50	394.70	383.20	444.10
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	400.20	366.20	350.80	400.50
Masa de Tara (g)	91.10	78.20	74.10	84.40
Masa de Agua (g)	24.30	28.50	32.40	43.60
Masa del Suelo Seco (g)	309.10	288.00	276.70	316.10
Humedad (%)	7.86	9.90	11.71	13.79
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.878	1.931	1.986	1.950
<b>Densidad máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>				1.992
<b>Humedad óptima (%)</b>				12.3



Hecho por: K.A.J.

Revisado por: J.M.T



GEOMG S.A.C.  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 OIP N° 68738

**INFORME N° GM-LB22-1336-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 03/09/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**PROGRESIVA** : Tramo I  
**CALICATA** : C-09  
**MUESTRA** : M-01 + 6% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12489.00	12540.00	12246.50	12335.00	12069.00	12239.00
Masa de molde (g)	7791.00	7791.00	7692.00	7692.00	7713.00	7713.00
Masa del suelo húmedo (g)	4698.00	4749.00	4554.50	4643.00	4356.00	4526.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2095.00	2095.00	2124.00	2124.00	2114.00	2114.00
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.242	2.267	2.144	2.186	2.061	2.141
Tara (N°)	S-04		G-01		A-04	
Masa suelo húmedo + tara (g)	580.30	4749.00	445.20	4643.00	435.20	4526.00
Masa suelo seco + tara (g)	526.00	4176.85	404.50	4049.55	395.20	3875.75
Masa de tara (g)	90.80	0.00	78.10	0.00	74.00	0.00
Masa de agua (g)	54.30	572.15	40.70	593.45	39.80	650.25
Masa de suelo seco (g)	435.20	4176.85	326.40	4049.55	321.20	3875.75
Contenido de humedad (%)	12.48	13.70	12.47	14.65	12.39	16.78
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.994	1.994	1.907	1.907	1.833	1.833

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
30/08/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
31/08/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
01/09/2022	09:10	48 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
02/09/2022	09:10	72 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
03/09/2022	09:10	96 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg <sup>2</sup>	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION	
		lb	lb	%	lb	lb	%	lb	lb	%
0.000		0			0			0		
0.025		50			47			18		
0.050		133			152			48		
0.075		335			321			88		
0.100	1000	438	859	28.5	511	533	17.7	140	317	10.5
0.125		626			678			208		
0.150		816			800			284		
0.175		1012			955			357		
0.200	1500	1229	1674	37.0	1057	999	22.1	439	619	13.7
0.250		1653			1180			591		
0.300		2046			1306			731		
0.400		2740			1423			980		
0.500		3248			1575			1162		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Ing. Jorge E. Morillo Trujillo*  
CIP N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
Nuevo Chimbote - Santa - Ancash

Cel. 943355197 - 998185953, email: geomg17@yahoo.es - informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1336-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

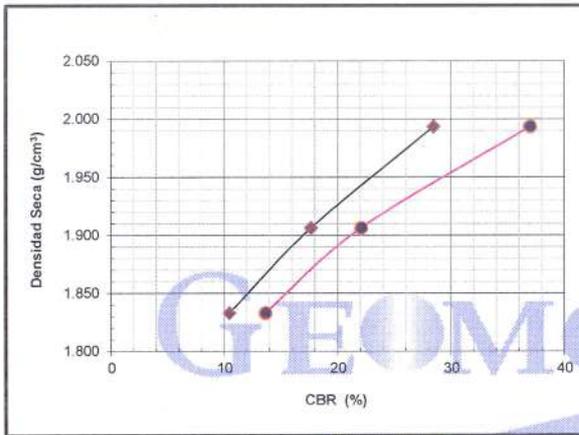
**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 03/09/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**PROGRESIVA** : Tramo 1  
**CALICATA** : C-09  
**MUESTRA** : M-01 + 6% EMULSION

**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-2-4 (0)

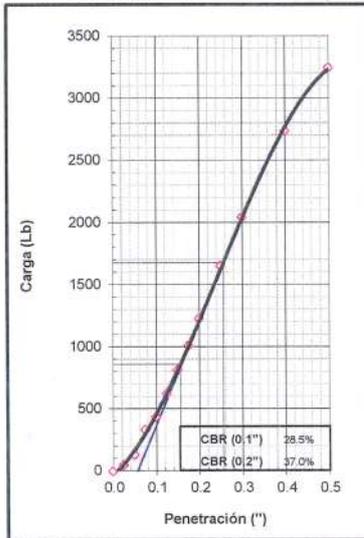


**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1.992  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 12.31

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	28.22	0.2"	36.65
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	16.15	0.2"	20.16

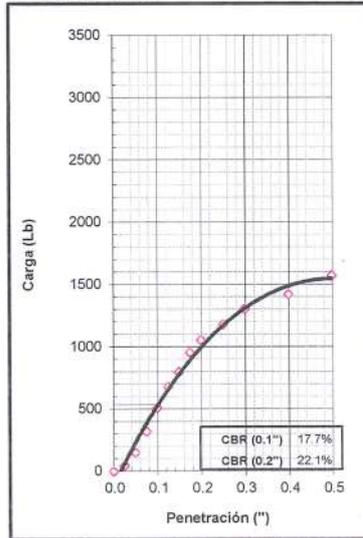
**OBSERVACIONES:**

EC = 56 GOLPES



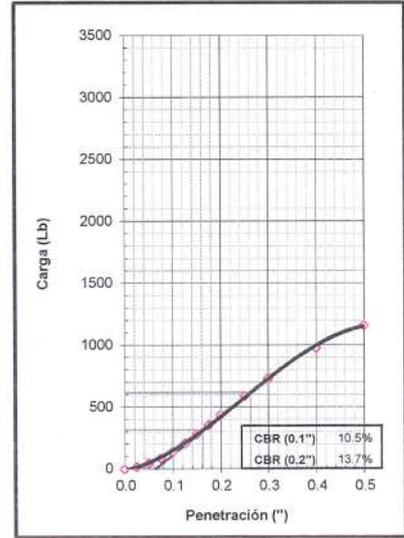
CBR (0.1")	28.5%
CBR (0.2")	37.0%

EC = 25 GOLPES



CBR (0.1")	17.7%
CBR (0.2")	22.1%

EC = 10 GOLPES



CBR (0.1")	10.5%
CBR (0.2")	13.7%

EJECUTADO: J.M.

Responsable:



**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIR N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
 Nuevo Chimbote - Santa - Ancash

Cel. 943355197 - 998185953, email: geomg17@yahoo.es - informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1309-03**

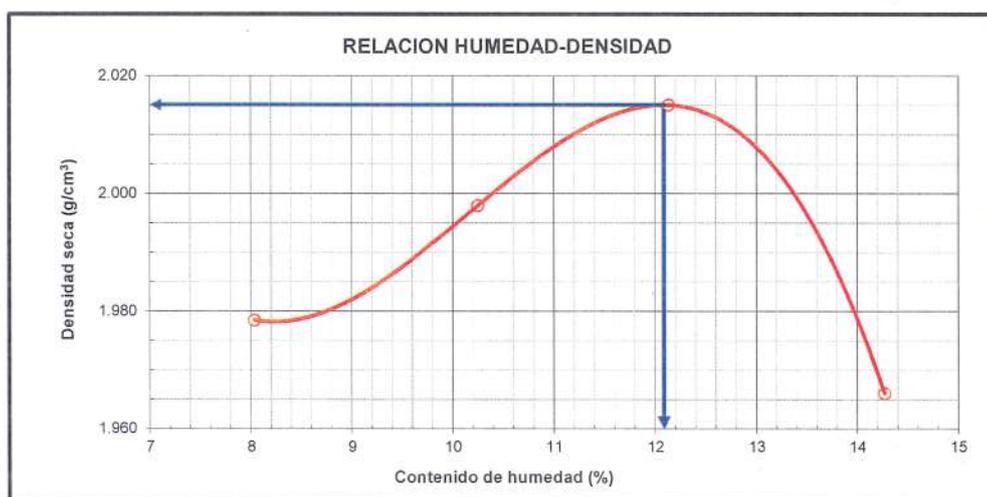
**ENSAYO DE COMPACTACION  
 PROCTOR MODIFICADO  
 ASTM D1557 - 12<sup>ª</sup>  
 METODO "A"**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 31/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**PROGRESIV#** : Tramo 1  
**CALICATA** : C-09  
**MUESTRA** : M-01 + 8% EMULSION  
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-4 (0)

Masa Suelo + molde (g)	4004.00	4065.00	4118.00	4106.00	
Masa Molde (g)	2007.00	2007.00	2007.00	2007.00	
Masa Suelo (g)	1997.00	2058.00	2111.00	2099.00	
Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )	934.23	934.23	934.23	934.23	
Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.138	2.203	2.260	2.247	
Tara No.	S-04	S-08	S-10	A-10	
Masa del Suelo Húmedo + Tara (g)	425.10	420.40	368.70	363.30	
Masa del Suelo Seco + Tara (g)	400.20	390.10	338.80	327.80	
Masa de Tara (g)	90.50	94.60	92.40	79.10	
Masa de Agua (g)	24.90	30.30	29.90	35.50	
Masa del Suelo Seco (g)	309.70	295.50	246.40	248.70	
Humedad (%)	8.04	10.25	12.13	14.27	
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.979	1.998	2.015	1.966	
				<b>Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.015</b>
				<b>Humedad óptima (%)</b>	<b>12.1</b>



Hecho por: K.A.J.



Revisado por: J.M.T

**GEOMG S.A.C.**  
 Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
 CIF N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9  
 Nuevo Chimbote - Santa - Ancash

Cel. 943355197 - 998185953, email: geomg17@yahoo.es - informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1309-01**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
MTC E-132 / ASTM D-1883**

PROYECTO : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
SOLICITA : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
FECHA : 31/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

PROGRESIVA : Tramo 1  
CALICATA : C-09  
MUESTRA : M-01 + 8% EMULSION  
CLASF. (SUCS) : SM  
CLASF. (AASHTO) : A-2-4 (0)

**COMPACTACION**

Molde N°	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		10	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12592.50	12634.00	12079.20	12179.00	12150.00	12359.00
Masa de molde (g)	7833.00	7833.00	7570.00	7570.00	7963.00	7963.00
Masa del suelo húmedo (g)	4759.50	4801.00	4509.20	4609.00	4187.00	4396.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2106.00	2106.00	2113.00	2113.00	2104.25	2104.25
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.260	2.280	2.134	2.181	1.990	2.089
Tara (N°)	S-04		L-04		S-08	
Masa suelo húmedo + tara (g)	365.60	4801.00	386.60	4609.00	433.40	4396.00
Masa suelo seco + tara (g)	335.90	4245.47	354.30	4014.98	396.10	3726.03
Masa de tara (g)	90.60	0.00	91.90	0.00	94.60	0.00
Masa de agua (g)	29.70	555.53	32.30	594.02	37.30	669.97
Masa de suelo seco (g)	245.30	4245.47	262.40	4014.98	301.50	3726.03
Contenido de humedad (%)	12.11	13.09	12.31	14.80	12.37	17.98
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.016	2.016	1.900	1.900	1.771	1.771

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
27/08/2022	09:10	00 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
28/08/2022	09:10	24 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
29/08/2022	09:10	48 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
30/08/2022	09:10	72 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00
31/08/2022	09:10	96 Hrs	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00	0.0000	0.000	0.00

**PENETRACION**

PENETRACION Pulgadas	CARGA STAND. Lb/pulg2	MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03					
		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION				
			lb	lb		%	lb		lb	%	lb	lb	%
0.000			0				0						
0.025			115				43				63		
0.050			352				101				126		
0.075			559				193				189		
0.100	1000		768	978	32.4		281	522	17.3		246	240	7.9
0.125			1229				390				295		
0.150			1432				581				342		
0.175			1532				632				387		
0.200	1500		1850	1881	41.6		757	1002	22.1		436	439	9.7
0.250			2157				1003				525		
0.300			2613				1247				613		
0.400			2791				1709				779		
0.500			2865				2133				935		

EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Jorge E. Morillo Trujillo*  
Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
CIF N° 68738

Urb. Bellamar II Etapa Mz. B2 Lt. 8-9

Nuevo Chimbote – Santa – Ancash

Cel. 943355197 – 998185953, email: geomg17@yahoo.es – informes@geomgsac.com

**INFORME N° GM-LB22-1309-02**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

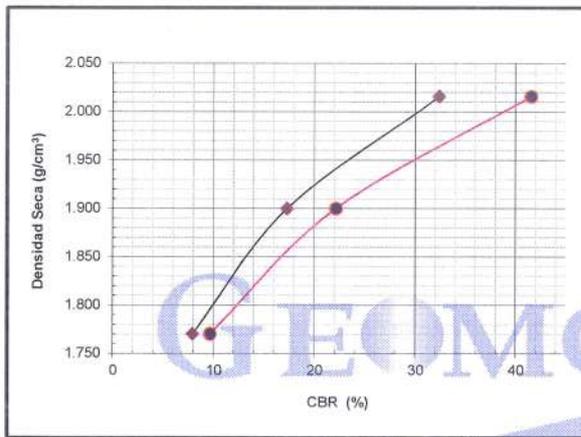
**MTC E-132 / ASTM D-1883**

**PROYECTO** : TESIS: "OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA-ANCASH-2021"  
**SOLICITA** : TESISTAS: CARBAJAL MILLA ROBERTH, LORENZO CHÁVEZ PABLO  
**FECHA** : 31/08/2022

**DATOS DE LA MUESTRA**

**PROGRESIVA** : Tramo 1  
**CALICATA** : C-09  
**MUESTRA** : M-01 + 8% EMULSION

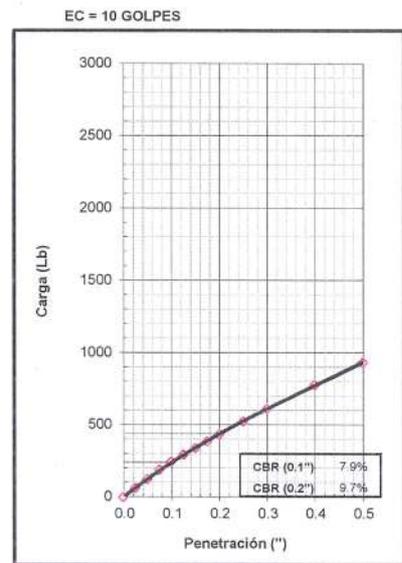
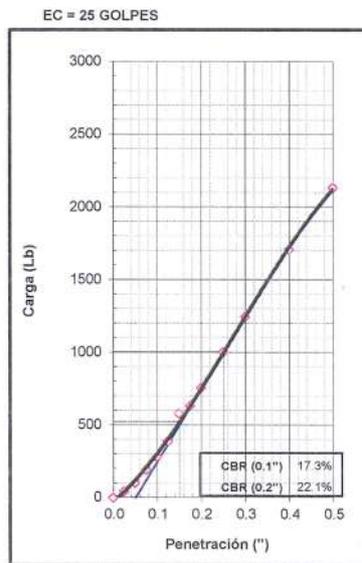
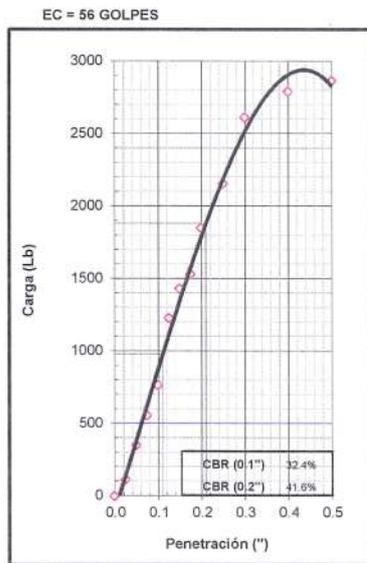
**CLASF. (SUCS)** : SM  
**CLASF.(AASHTO)** : A-2-4 (0)



**METODO DE COMPACTACION** : ASTM D1557  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 2.015  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 12.09

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	32.26	0.2"	41.37
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	18.80	0.2"	24.08

**OBSERVACIONES:**



EJECUTADO: J.M.



Responsable:

**GEOMG S.A.C.**  
*Ing. Jorge E. Morillo Trujillo*  
 CIP N° 68738



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 707 - 2022

Página : 1 de 2

Expediente : 175-2022  
Fecha de emisión : 2022-09-30

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

Dirección : MZA. J2 LOTE. 8 URB. LOS HEROES - NUEVO CHIMBOTE  
- SANTA - ANCASH

2. Descripción del Equipo : PRENSA GBR

Marca de Prensa : DGSJ  
Modelo de Prensa : S-61010  
Serie de Prensa : 1398

Marca de Celda : CARDINAL SCALE  
Modelo de Celda : ZX-10000  
Serie de Celda : XG14C8C8  
Capacidad de Celda : 44,482 kN

Marca de indicador : HIGH WEIGHT  
Modelo de Indicador : 315-X8  
Serie de Indicador : 2019688

3. Lugar y fecha de Calibración

MZA. B2 LOTE. 9 URB. BELLAMAR II ETAPA - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH  
28 - SETIEMBRE - 2022

4. Método de Calibración

La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4 .

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 128-2022	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	HIGH WEIGHT		

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	19,9	20,0
Humedad %	69	69

7. Resultados de la Medición

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicado ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.



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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 707 - 2022

Página : 2 de 2

TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kgf	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
500	500,50	500,00	-0,10	0,00	500,25	-0,05	0,10
1000	1000,00	1000,00	0,00	0,00	1000,00	0,00	0,00
1500	1499,50	1499,50	0,03	0,03	1499,50	0,03	0,00
2000	1999,00	1999,50	0,05	0,03	1999,25	0,04	-0,03
2500	2498,50	2498,00	0,06	0,08	2498,25	0,07	0,02
3000	2997,00	2997,50	0,10	0,08	2997,25	0,09	-0,02
3500	3497,50	3497,50	0,07	0,07	3497,50	0,07	0,00
4000	3996,00	3996,50	0,10	0,09	3996,25	0,09	-0,01

### NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = \text{Error}(2) - \text{Error}(1)$$

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación:  $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste :  $y = 1,0012x - 1,1172$

Donde: x : Lectura de la pantalla  
y : Fuerza promedio (kgf)

GRÁFICO N° 1

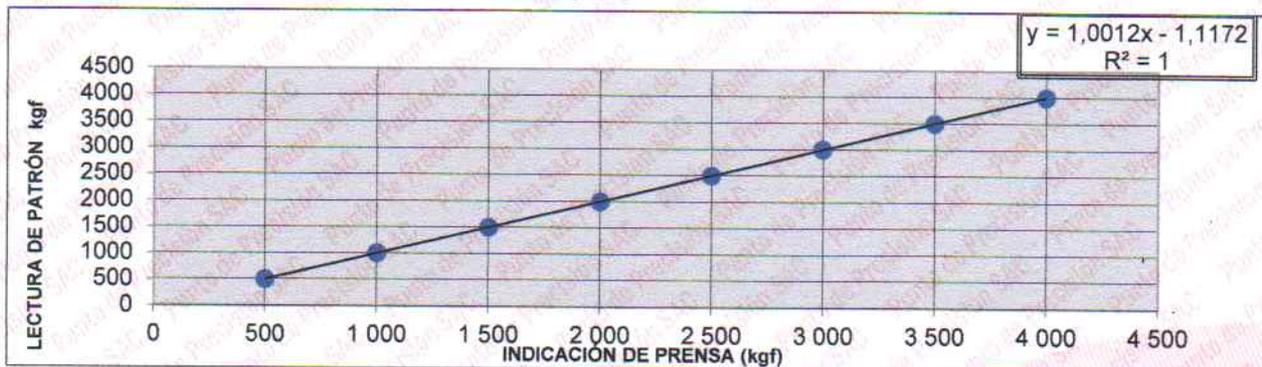
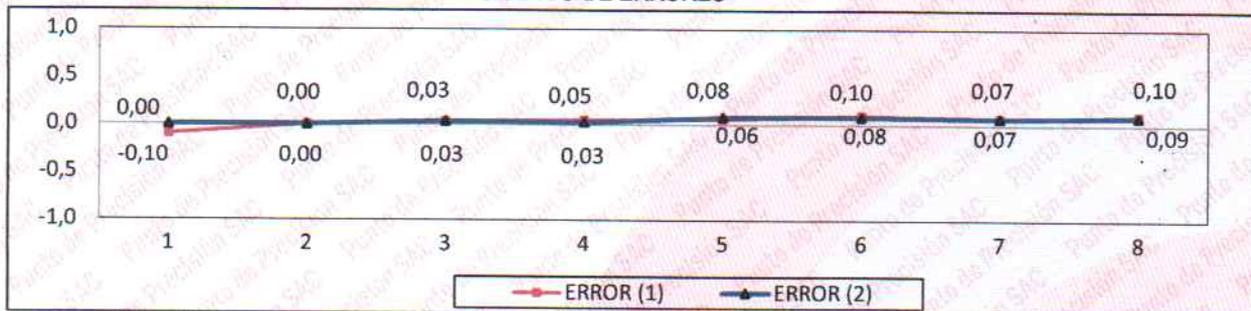


GRÁFICO DE ERRORES



FIN DEL DOCUMENTO



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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 3027 - 2022

Página : 1 de 2

Expediente : 175-2022  
Fecha de emisión : 2022-09-30

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

Dirección : MZA. J2 LOTE. 8 URB. LOS HEROES - NUEVO CHIMBOTE  
- SANTA - ANCASH

2. Instrumento de Medición : MOLDE PROCTOR 4"

Marca : NO INDICA

Serie : NO INDICA

Material : HIERRO

Color : PLATEADO

Código de Identificación : B1

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precision S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

#### 3. Lugar y fecha de Calibración

MZA. B2 LOTE. 9 URB. BELLAMAR II ETAPA - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH  
28 - SETIEMBRE - 2022

#### 4. Método de Calibración

Por Comparación, tomando como referencia la Norma ASTM D 698 - ASTM D 1557.

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
PIE DE REY	INSIZE	DM21 - C - 0136 - 2021	INACAL - DM

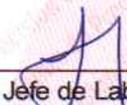
#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	19,7	19,8
Humedad %	70	70

#### 7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.



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



Laboratorio PP

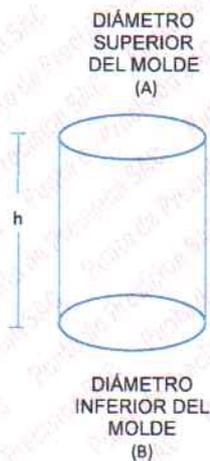
# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LL - 3027 - 2022

Página : 2 de 2

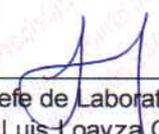
### DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN POR EL MÉTODO DE MEDIDAS LINEALES



N° DE MEDICIONES	DIÁMETRO INTERIOR SUPERIOR	DIÁMETRO INTERIOR INFERIOR	ALTURA
	A mm	B mm	h mm
1	101,63	101,35	115,90
2	101,73	101,20	115,78
3	101,50	101,32	115,65
4	101,49	101,20	115,91
5	101,16	101,27	115,97
6	101,44	101,23	115,83
PROMEDIO	101,49	101,26	115,84
ESTÁNDAR	101,60	101,60	116,40
TOLERANCIAS (±)	0,40	0,40	0,50
ERROR	-0,11	-0,34	-0,56
VOLUMEN DETERMINADO POR MEDIDAS LINEALES	935 cm <sup>3</sup>		

FIN DEL DOCUMENTO



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



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 3029 - 2022

Página : 1 de 2

Expediente : 175-2022  
Fecha de emisión : 2022-09-30

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

Dirección : MZA. J2 LOTE. 8 URB. LOS HEROES - NUEVO CHIMBOTE  
- SANTA - ANCASH

2. Instrumento de Medición : MOLDE CBR

Marca : NO INDICA

Serie : NO INDICA

Material : HIERRO

Color : PLATEADO

Código de Identificación : 1A

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

#### 3. Lugar y fecha de Calibración

MZA. B2 LOTE. 9 URB. BELLAMAR II ETAPA - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH  
28 - SETIEMBRE - 2022

#### 4. Método de Calibración

Por Comparación, tomando como referencia la Norma ASTM D-1883.

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
PIE DE REY	INSIZE	DM21 - C - 0136 - 2021	INACAL - DM

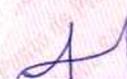
#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	19,9	19,9
Humedad %	70	69

#### 7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.



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



Laboratorio PP

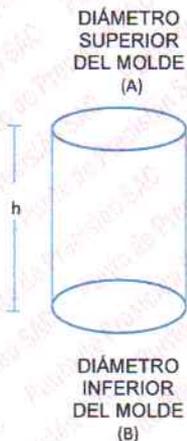
# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 3029 - 2022

Página : 2 de 2

### DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN POR EL MÉTODO DE MEDIDAS LINEALES



N° DE MEDICIONES	DIÁMETRO INTERIOR SUPERIOR	DIÁMETRO INTERIOR INFERIOR	ALTURA
	A mm	B mm	h mm
1	150,63	152,78	177,94
2	151,02	152,51	177,98
3	151,04	152,81	177,91
4	151,22	152,87	177,72
5	151,05	152,63	177,70
6	151,07	152,31	177,71
PROMEDIO	151,01	152,65	177,83
ESTÁNDAR	152,40	152,40	177,80
TOLERANCIAS (±)	0,66	0,66	0,46
ERROR	-1,40	0,25	0,03
VOLUMEN DETERMINADO POR MEDIDAS LINEALES	3220 cm <sup>3</sup>		

N° DE MEDICIONES	MEDIDAS DEL DISCO ESPACIADOR		N° DE MEDICIONES	PESA	
	DIÁMETRO mm	ALTURA mm		ANULAR kg	RANURADA kg
1	150,41	60,77	1	2,285	2,280
2	150,34	60,81	ESTÁNDAR	2,270	2,270
3	150,36	60,87	TOLERANCIAS (±)	0,02	0,02
4	150,36	60,84	ERROR	0,015	0,010
5	150,36	60,77			
6	150,37	60,89			
PROMEDIO	150,37	60,83	MASA TOTAL	kg	
ESTÁNDAR	150,80	61,37	ESTÁNDAR	4,540	
TOLERANCIAS (±)		0,127	TOLERANCIAS (±)	0,02	
ERROR	-0,43	-0,55	ERROR	0,025	

FIN DEL DOCUMENTO



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



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 3030 - 2022

Página : 1 de 2

Expediente : 175-2022  
Fecha de emisión : 2022-09-30

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

Dirección : MZA. J2 LOTE. 8 URB. LOS HEROES - NUEVO CHIMBOTE  
- SANTA - ANCASH

2. Instrumento de Medición : MOLDE CBR

Marca : NO INDICA

Serie : NO INDICA

Material : HIERRO

Color : PLATEADO

Código de Identificación : 2A

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precision S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

#### 3. Lugar y fecha de Calibración

MZA. B2 LOTE. 9 URB. BELLAMAR II ETAPA - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH  
28 - SETIEMBRE - 2022

#### 4. Método de Calibración

Por Comparación, tomando como referencia la Norma ASTM D-1883.

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
PIE DE REY	INSIZE	DM21 - C - 0136 - 2021	INACAL - DM

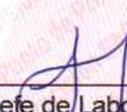
#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	19,9	19,9
Humedad %	69	69

#### 7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.



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



Laboratorio PP

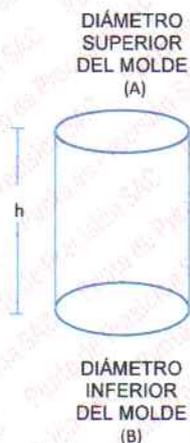
# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 3030 - 2022

Página : 2 de 2

### DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN POR EL MÉTODO DE MEDIDAS LINEALES



N° DE MEDICIONES	DIÁMETRO INTERIOR SUPERIOR	DIÁMETRO INTERIOR INFERIOR	ALTURA
	A mm	B mm	h mm
1	151,92	152,84	177,90
2	151,66	152,24	177,90
3	152,00	152,36	177,76
4	152,09	152,41	177,84
5	151,96	152,42	177,70
6	151,95	152,28	177,73
PROMEDIO	151,93	152,43	177,81
ESTÁNDAR	152,40	152,40	177,80
TOLERANCIAS (±)	0,66	0,66	0,46
ERROR	-0,47	0,02	0,00
VOLUMEN DETERMINADO POR MEDIDAS LINEALES	3234 cm <sup>3</sup>		

N° DE MEDICIONES	MEDIDAS DEL DISCO ESPACIADOR		N° DE MEDICIONES	PESA	
	DIÁMETRO mm	ALTURA mm		ANULAR kg	RANURADA kg
1	150,41	60,77	1	2,263	2,281
2	150,34	60,81	ESTÁNDAR	2,270	2,270
3	150,36	60,87	TOLERANCIAS (±)	0,02	0,02
4	150,36	60,84	ERROR	-0,007	0,011
5	150,36	60,77			
6	150,37	60,89			
PROMEDIO	150,37	60,83	MASA TOTAL	kg	
ESTÁNDAR	150,80	61,37	ESTÁNDAR	4,540	
TOLERANCIAS (±)		0,127	TOLERANCIAS (±)	0,02	
ERROR	-0,43	-0,55	ERROR	0,004	

FIN DEL DOCUMENTO



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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISI3N S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACI3N

### CERTIFICADO DE CALIBRACI3N N° LL - 3031 - 2022

Página : 1 de 2

Expediente : 175-2022  
Fecha de emisi3n : 2022-09-30

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

Direcci3n : MZA. J2 LOTE. 8 URB. LOS HEROES - NUEVO CHIMBOTE  
- SANTA - ANCASH

2. Instrumento de Medici3n : MOLDE CBR

Marca : NO INDICA

Serie : NO INDICA

Material : HIERRO

Color : PLATEADO

C3digo de Identificaci3n : 3A

El Equipo de medici3n con el modelo y n3mero de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Direcci3n de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son v3lidos en el momento y en las condiciones de la calibraci3n. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecuci3n de una recalibraci3n, la cual est3 en funci3n del uso, conservaci3n y mantenimiento del instrumento de medici3n o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisi3n S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretaci3n de los resultados de la calibraci3n aqu3 declarados.

#### 3. Lugar y fecha de Calibraci3n

MZA. B2 LOTE. 9 URB. BELLAMAR II ETAPA - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH  
28 - SETIEMBRE - 2022

#### 4. M3todo de Calibraci3n

Por Comparaci3n, tomando como referencia la Norma ASTM D-1883.

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
PIE DE REY	INSIZE	DM21 - C - 0136 - 2021	INACAL - DM

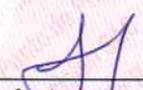
#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	19,9	19,9
Humedad %	69	69

#### 7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la p3gina 02 del presente documento.



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



Laboratorio PP

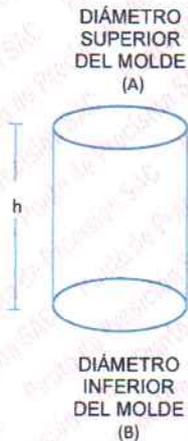
# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 3031 - 2022

Página : 2 de 2

### DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN POR EL MÉTODO DE MEDIDAS LINEALES

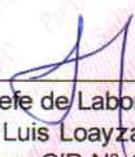


N° DE MEDICIONES	DIÁMETRO INTERIOR SUPERIOR	DIÁMETRO INTERIOR INFERIOR	ALTURA
	A mm	B mm	h mm
1	152,55	151,70	176,72
2	152,04	151,69	176,68
3	152,34	151,46	176,81
4	152,41	151,95	176,89
5	152,14	151,47	176,85
6	152,04	151,74	176,63
PROMEDIO	152,25	151,67	176,73
ESTÁNDAR	152,40	152,40	177,80
TOLERANCIAS (±)	0,66	0,66	0,46
ERROR	-0,15	-0,73	-1,07
VOLUMEN DETERMINADO POR MEDIDAS LINEALES	3205 cm <sup>3</sup>		

N° DE MEDICIONES	MEDIDAS DEL DISCO ESPACIADOR		N° DE MEDICIONES	PESA	
	DIÁMETRO mm	ALTURA mm		ANULAR kg	RANURADA kg
1	150,41	60,77	1	2,276	2,268
2	150,34	60,81	ESTÁNDAR	2,270	2,270
3	150,36	60,87	TOLERANCIAS (±)	0,02	0,02
4	150,36	60,84	ERROR	0,006	-0,002
5	150,36	60,77			
6	150,37	60,89			
PROMEDIO	150,37	60,83	MASA TOTAL	kg	
ESTÁNDAR	150,80	61,37	ESTÁNDAR	4,540	
TOLERANCIAS (±)		0,127	TOLERANCIAS (±)	0,02	
ERROR	-0,43	-0,55	ERROR	0,004	

FIN DEL DOCUMENTO



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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

**Punto de Precisión SAC**  
**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL**  
**ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**  
**CON REGISTRO N° LC - 033**



Registro N° LC - 033

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-644-2022**

Página: 1 de 3

**Expediente** : 175-2022  
**Fecha de Emisión** : 2022-10-04

**1. Solicitante** : GEOMG S.A.C.

**Dirección** : MZA. J2 LOTE. 8 URB. LOS HEROES - NUEVO  
CHIMBOTE - SANTA - ANCASH

**2. Instrumento de Medición** : **BALANZA**

**Marca** : **OHAUS**

**Modelo** : **R31P30**

**Número de Serie** : **8340410357**

**Alcance de Indicación** : **30 000 g**

**División de Escala de Verificación ( e )** : **1 g**

**División de Escala Real ( d )** : **1 g**

**Procedencia** : **CHINA**

**Identificación** : **NO INDICA**

**Tipo** : **ELECTRÓNICA**

**Ubicación** : **LABORATORIO**

**Fecha de Calibración** : **2022-09-28**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarán las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**3. Método de Calibración**

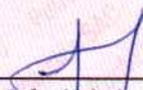
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.

**4. Lugar de Calibración**

LABORATORIO de GEOMG S.A.C.  
MZA. B2 LOTE. 9 URB. BELLAMAR II ETAPA - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# Punto de Precisión SAC

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-644-2022

Página: 2 de 3

### 5. Condiciones Ambientales

	Mínima	Máxima
Temperatura	18,9	18,9
Humedad Relativa	73,3	73,3

### 6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL - DM	Juego de pesas (exactitud F1)	PE21-C-0084-2021
	Pesa (exactitud F1)	1AM-0057-2022
	Pesa (exactitud F1)	LM-C-226-2022
	Pesa (exactitud F1)	LM-C-227-2022

### 7. Observaciones

No se realizó ajuste a la balanza antes de su calibración.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

### 8. Resultados de Medición

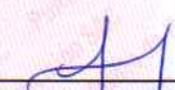
INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

#### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Temp. (°C)					
	Inicial			Final		
	18,9			18,9		
	Carga L1= 15 000,0 g			Carga L2= 30 000,0 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,8	-0,3
2	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,5	0,0
3	15 000	0,9	-0,4	30 000	0,9	-0,4
4	15 000	0,8	-0,3	29 999	0,4	-0,9
5	15 000	0,5	0,0	30 000	0,8	-0,3
6	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,6	-0,1
7	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,8	-0,3
8	15 000	0,8	-0,3	30 000	0,5	0,0
9	15 000	0,5	0,0	30 000	0,7	-0,2
10	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,9	-0,4
Diferencia Máxima				0,9		
Error máximo permitido	± 2 g			± 3 g		



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-644-2022

Página: 3 de 3

2	5
1	
3	4

### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

	Inicial	Final
Temp. (°C)	18,9	18,9

Posición de la Carga	Determinación de E <sub>0</sub>				Determinación del Error corregido				
	Carga mínima (g)	l (g)	ΔL (g)	E <sub>0</sub> (g)	Carga L (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)
1	10,0	10	0,6	-0,1	10 000,0	10 000	0,9	-0,4	-0,3
2		10	0,8	-0,3		10 000	0,5	0,0	0,3
3		10	0,5	0,0		9 999	0,3	-0,8	-0,8
4		10	0,7	-0,2		10 000	0,6	-0,1	0,1
5		10	0,9	-0,4		10 001	0,8	0,7	1,1
					Error máximo permitido : ± 2 g				

(\*) valor entre 0 y 10 e

### ENSAYO DE PESAJE

	Inicial	Final
Temp. (°C)	18,9	18,9

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				± emp (g)
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	
10,0	10	0,6	-0,1						
50,0	50	0,8	-0,3	-0,2	50	0,5	0,0	0,1	1
500,0	500	0,5	0,0	0,1	500	0,7	-0,2	-0,1	1
2 000,0	2 000	0,7	-0,2	-0,1	2 000	0,9	-0,4	-0,3	1
5 000,0	5 000	0,9	-0,4	-0,3	5 000	0,6	-0,1	0,0	1
7 000,0	7 000	0,6	-0,1	0,0	7 000	0,8	-0,3	-0,2	2
10 000,0	10 000	0,8	-0,3	-0,2	10 000	0,5	0,0	0,1	2
15 000,0	15 000	0,5	0,0	0,1	15 000	0,7	-0,2	-0,1	2
20 000,0	20 000	0,7	-0,2	-0,1	20 000	0,9	-0,4	-0,3	2
25 000,0	25 000	0,9	-0,4	-0,3	25 000	0,5	0,0	0,1	3
30 000,0	30 000	0,6	-0,1	0,0	30 000	0,6	-0,1	0,0	3

e.m.p.: error máximo permitido

### Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R + 5,72 \times 10^{-6} \times R$$

#### Incertidumbre

$$U_R = 2 \sqrt{2,48 \times 10^{-1} \text{ g}^2 + 2,47 \times 10^{-9} \times R^2}$$

R : Lectura de la balanza    ΔL : Carga Incrementada    E : Error encontrado    E<sub>0</sub> : Error en cero    E<sub>c</sub> : Error corregido

R : en g

FIN DEL DOCUMENTO



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

**Punto de Precisión SAC**  
**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL**  
**ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**  
**CON REGISTRO N° LC - 033**



Registro N° LC - 033

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-645-2022**

Página: 1 de 3

**Expediente** : 175-2022  
**Fecha de Emisión** : 2022-10-04

**1. Solicitante** : GEOMG S.A.C.

**Dirección** : MZA. J2 LOTE. 8 URB. LOS HEROES - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH

**2. Instrumento de Medición** : **BALANZA**

**Marca** : OHAUS

**Modelo** : CS 200

**Número de Serie** : NO INDICA

**Alcance de Indicación** : 200 g

**División de Escala de Verificación ( e )** : 0,1 g

**División de Escala Real (d)** : 0,1 g

**Procedencia** : CHINA

**Identificación** : NO INDICA

**Tipo** : ELECTRÓNICA

**Ubicación** : LABORATORIO

**Fecha de Calibración** : 2022-09-28

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**3. Método de Calibración**

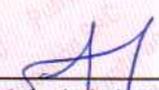
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-001 1ra Edición, 2019; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII del INACAL-DM.

**4. Lugar de Calibración**

LABORATORIO de GEOMG S.A.C.  
MZA. B2 LOTE. 9 URB. BELLAMAR II ETAPA - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

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

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

**Punto de Precisión SAC**  
**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL**  
**ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**  
**CON REGISTRO N° LC - 033**



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-645-2022

Página: 2 de 3

**5. Condiciones Ambientales**

	Mínima	Máxima
Temperatura	18,5	18,6
Humedad Relativa	74,3	74,3

**6. Trazabilidad**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL - DM	Juego de pesas (exactitud F1)	PE21-C-0084-2021

**7. Observaciones**

No se realizó ajuste a la balanza antes de su calibración.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**8. Resultados de Medición**

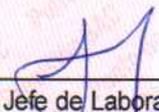
INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	NO TIENE		

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Carga L1= 100,00 g			Carga L2= 200,00 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	100,0	0,06	-0,01	200,0	0,09	-0,04
2	100,0	0,08	-0,03	200,0	0,05	0,00
3	100,0	0,05	0,00	200,0	0,07	-0,02
4	100,0	0,07	-0,02	200,0	0,09	-0,04
5	100,0	0,09	-0,04	200,0	0,06	-0,01
6	100,0	0,06	-0,01	200,0	0,08	-0,03
7	100,0	0,08	-0,03	200,0	0,05	0,00
8	100,0	0,05	0,00	200,0	0,09	-0,04
9	100,0	0,07	-0,02	200,0	0,08	-0,03
10	100,0	0,08	-0,03	200,0	0,06	-0,01
Diferencia Máxima			0,04	0,04		
Error máximo permitido ±			0,2 g	± 0,3 g		



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# Punto de Precisión SAC

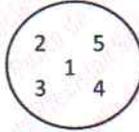
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-645-2022

Página: 3 de 3



### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

	Inicial	Final
Temp. (°C)	18,6	18,5

Posición de la Carga	Determinación de E <sub>0</sub>				Determinación del Error corregido				
	Carga mínima (g)	l (g)	ΔL (g)	E <sub>0</sub> (g)	Carga L (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)
1	1,00	1,0	0,05	0,00	60,00	60,0	0,09	-0,04	-0,04
2		1,0	0,07	-0,02		60,0	0,06	-0,01	0,01
3		1,0	0,09	-0,04		60,0	0,08	-0,03	0,01
4		1,0	0,08	-0,03		60,0	0,05	0,00	0,03
5		1,0	0,06	-0,01		60,0	0,07	-0,02	-0,01
									Error máximo permitido : ± 0,2 g

(\*) valor entre 0 y 10 e

### ENSAYO DE PESAJE

	Inicial	Final
Temp. (°C)	18,5	18,6

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				± emp (g)
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	
1,00	1,0	0,08	-0,03						
2,00	2,0	0,05	0,00	0,03	2,0	0,09	-0,04	-0,01	0,1
5,00	5,0	0,07	-0,02	0,01	5,0	0,05	0,00	0,03	0,1
10,00	10,0	0,09	-0,04	-0,01	10,0	0,07	-0,02	0,01	0,1
20,00	20,0	0,06	-0,01	0,02	20,0	0,08	-0,03	0,00	0,1
50,00	50,0	0,08	-0,03	0,00	50,0	0,05	0,00	0,03	0,1
70,00	70,0	0,05	0,00	0,03	70,0	0,09	-0,04	-0,01	0,2
100,00	100,0	0,07	-0,02	0,01	100,0	0,06	-0,01	0,02	0,2
120,00	120,0	0,09	-0,04	-0,01	120,0	0,08	-0,03	0,00	0,2
150,00	150,0	0,06	-0,01	0,02	150,0	0,05	0,00	0,03	0,2
200,00	200,0	0,08	-0,03	0,00	200,0	0,08	-0,03	0,00	0,2

e.m.p.: error máximo permitido

### Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 9,08 \times 10^{-5} \times R$$

#### Incetidumbre

$$U_R = 2 \sqrt{2,06 \times 10^{-3} \text{ g}^2 + 1,37 \times 10^{-7} \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza    ΔL: Carga Incrementada    E: Error encontrado    E<sub>0</sub>: Error en cero    E<sub>c</sub>: Error corregido

R: en g

FIN DEL DOCUMENTO



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-531-2022

Página 1 de 5

**Expediente** : 175-2022  
**Fecha de emisión** : 2022-09-30

**1. Solicitante** : GEOMG S.A.C.

**Dirección** : MZA. J2 LOTE. 8 URB. LOS HEROES - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH

**2. Instrumento de medición** : ESTUFA

**Alcance de medición** : NO INDICA

**Resolución del indicador** : 1 °C

**Alcance del selector** : NO INDICA

**Punto de calibración** : 110 °C ± 5 °C

**Marca** : QUINCY LAB

**Modelo** : NO INDICA

**Procedencia** : NO INDICA

**Numero de serie** : NO INDICA

**Código de Identificación** : NO INDICA

**Fecha de calibración** : 2022-09-28

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarán las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

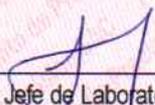
**3. Método de calibración**

La calibración se realizó según la PC-018 "Procedimiento de calibración para medios isotermicos usando aire como medio conductor".

**4. Lugar de calibración**

MZA. B2 LOTE. 9 URB. BELLAMAR II ETAPA - NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH



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



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-531-2022

Página 2 de 5

### 5. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura ambiental (°C)	20,1	20,0
Humedad relativa (%hr)	69,0	68,0

### 6. Trazabilidad

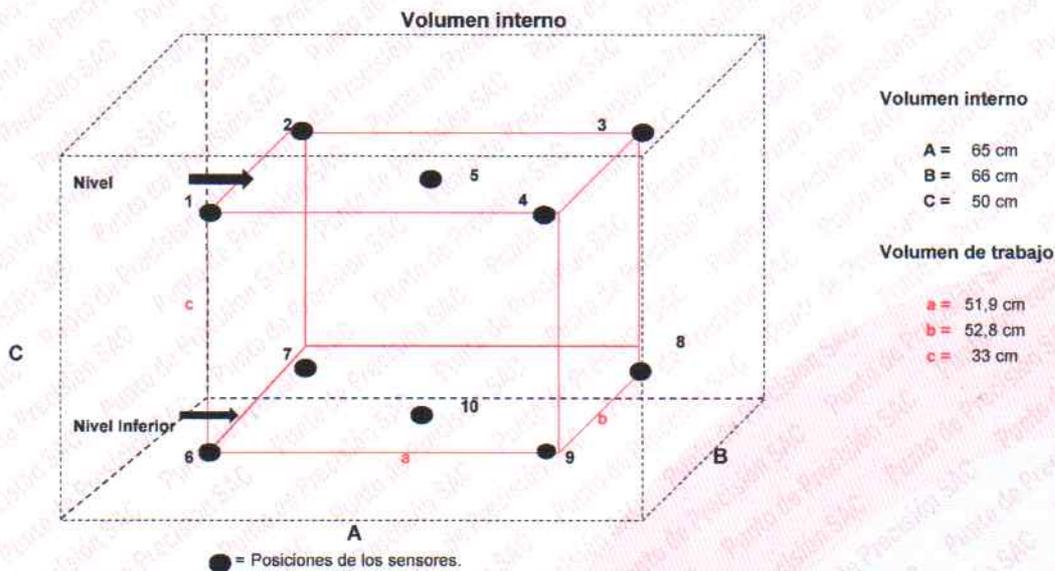
Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Patrón utilizado	N° de Certificado	Trazabilidad
Termómetro digital de 10 sensores termopares tipo K con una incertidumbre en el orden de 0,13 °C a 0,16 °C.	0093-TPES-C-2021	PESATEC PERÚ S.A.C.

### 7. Observaciones

- La incertidumbre de medición calculada (U), ha sido determinada apartir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura  $k=2$ . Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.
- Se colocó una etiqueta adherido al instrumento de medición con la indicación "CALIBRADO".
- La carga para La prueba consistió en tazón de acero.
- Se seleccionó el selector del equipo en 110 °C, para obtener una temperatura de trabajo aproximada a 110 °C.

### 8. Ubicación dentro del volumen interno del equipo



A, B, C = Dimensiones del volumen interno del equipo.

a, b, c = Aproximadamente 1/10 a 1/4 de las paredes de las dimensiones del volumen interno.

Los sensores ubicados en las posiciones 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Distancia de la pared inferior del equipo al nivel inferior: 10,5 cm

Distancia de la pared superior del equipo al nivel superior: 6,5 cm



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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-531-2022

Página 3 de 5

### 9. Resultados de la calibración

Temperaturas registradas en el punto de calibración : 110 °C ± 5 °C

Tiempo hh:mm	Indicador del equipo (°C)	Temperaturas convencionalmente verdaderas expresadas en °C										T. prom. °C	ΔT. °C
		Posición 1	Posición 2	Posición 3	Posición 4	Posición 5	Posición 6	Posición 7	Posición 8	Posición 9	Posición 10		
00:00	109,8	108,5	108,7	106,4	105,8	108,4	105,2	113,0	110,2	111,0	108,3	108,5	7,9
00:02	109,8	108,3	108,8	106,4	105,8	108,8	104,8	112,8	109,9	111,4	108,0	108,5	8,1
00:04	110,0	109,0	109,4	106,6	106,5	109,2	105,3	112,6	109,7	111,3	108,5	108,8	7,4
00:06	110,1	109,3	109,3	106,7	106,1	109,2	105,7	112,4	111,3	111,8	108,8	109,0	6,8
00:08	110,1	109,6	109,4	106,3	106,1	109,1	105,9	113,5	111,0	111,8	108,6	109,1	7,7
00:10	110,0	109,1	108,8	107,3	106,2	108,7	105,3	113,2	110,7	111,0	108,6	108,9	8,0
00:12	109,9	108,3	109,0	105,6	106,5	108,9	106,2	113,6	110,4	110,9	108,6	108,8	8,0
00:14	110,3	109,4	107,6	105,5	106,6	109,2	106,1	114,0	110,0	111,6	108,9	108,9	8,5
00:16	110,0	109,3	109,1	106,4	105,7	108,7	105,1	112,2	109,6	111,2	108,6	108,6	7,2
00:18	110,1	109,0	108,4	105,7	105,9	108,5	105,7	112,2	109,3	110,8	108,3	108,4	6,6
00:20	109,8	109,4	109,0	106,6	106,0	108,8	105,4	113,2	110,7	111,4	108,4	108,9	7,9
00:22	110,1	109,3	108,6	106,2	105,7	108,7	105,0	113,1	110,6	111,2	108,2	108,7	8,2
00:24	109,8	108,5	108,7	106,4	105,8	108,4	105,2	113,0	110,2	111,0	108,3	108,5	7,9
00:26	109,8	108,3	108,8	106,4	105,8	108,8	104,8	112,8	109,9	111,4	108,0	108,5	8,1
00:28	110,0	109,0	109,4	106,6	106,5	109,2	105,3	112,6	109,7	111,3	108,5	108,8	7,4
00:30	110,1	109,3	109,3	106,7	106,1	109,2	105,7	112,4	111,3	111,8	108,8	109,0	6,8
00:32	110,1	109,6	109,4	106,3	106,1	109,1	105,9	113,5	111,0	111,8	108,6	109,1	7,7
00:34	110,0	109,1	108,8	107,3	106,2	108,7	105,3	113,2	110,7	111,0	108,6	108,9	8,0
00:36	109,9	108,3	109,0	105,6	106,5	108,9	106,2	113,6	110,4	110,9	108,6	108,8	8,0
00:38	110,3	109,4	107,6	105,5	106,6	109,2	106,1	114,0	110,0	111,6	108,9	108,9	8,5
00:40	110,0	109,3	109,1	106,4	105,7	108,7	105,1	112,2	109,6	111,2	108,6	108,6	7,2
00:42	110,1	109,0	108,4	105,7	105,9	108,5	105,7	112,2	109,3	110,8	108,3	108,4	6,6
00:44	109,8	109,4	109,0	106,6	106,0	108,8	105,4	113,2	110,7	111,4	108,4	108,9	7,9
00:46	110,1	109,3	108,6	106,2	105,7	108,7	105,0	113,1	110,6	111,2	108,2	108,7	8,2
00:48	109,8	108,5	108,7	106,4	105,8	108,4	105,2	113,0	110,2	111,0	108,3	108,5	7,9
00:50	109,8	108,3	108,8	106,4	105,8	108,8	104,8	112,8	109,9	111,4	108,0	108,5	8,1
00:52	110,0	109,0	109,4	106,6	106,5	109,2	105,3	112,6	109,7	111,3	108,5	108,8	7,4
00:54	110,1	109,3	109,3	106,7	106,1	109,2	105,7	112,4	111,3	111,8	108,8	109,0	6,8
00:56	110,1	109,6	109,4	106,3	106,1	109,1	105,9	113,5	111,0	111,8	108,6	109,1	7,7
00:58	110,0	109,1	108,8	107,3	106,2	108,7	105,3	113,2	110,7	111,0	108,6	108,9	8,0
01:00	109,9	108,3	109,0	105,6	106,5	108,9	106,2	113,6	110,4	110,9	108,6	108,8	8,0

T. Promedio	109,0	108,9	106,4	106,1	108,8	105,4	113,0	110,3	111,3	108,5	Temperatura promedio general (°C)
T. Máximo	109,6	109,4	107,3	106,6	109,2	106,2	114,0	111,3	111,8	108,9	
T. Mínimo	108,3	107,6	105,5	105,7	108,4	104,8	112,2	109,3	110,8	108,0	
DTT	1,3	1,8	1,8	0,9	0,8	1,5	1,8	2,0	1,0	0,9	

Tabla de resumen de resultados

Magnitudes obtenidas	Valor (°C)	Incertidumbre expandida (°C)
Máxima temperatura registrada durante la calibración	114,0	0,3
Mínima temperatura registrada durante la calibración	104,8	0,2
Desviación de temperatura en el tiempo (DTT)	2,0	0,1
Desviación de temperatura en el espacio (DTE)	7,6	0,1
Estabilidad (±)	1,00	0,04
Uniformidad	8,5	0,2



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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

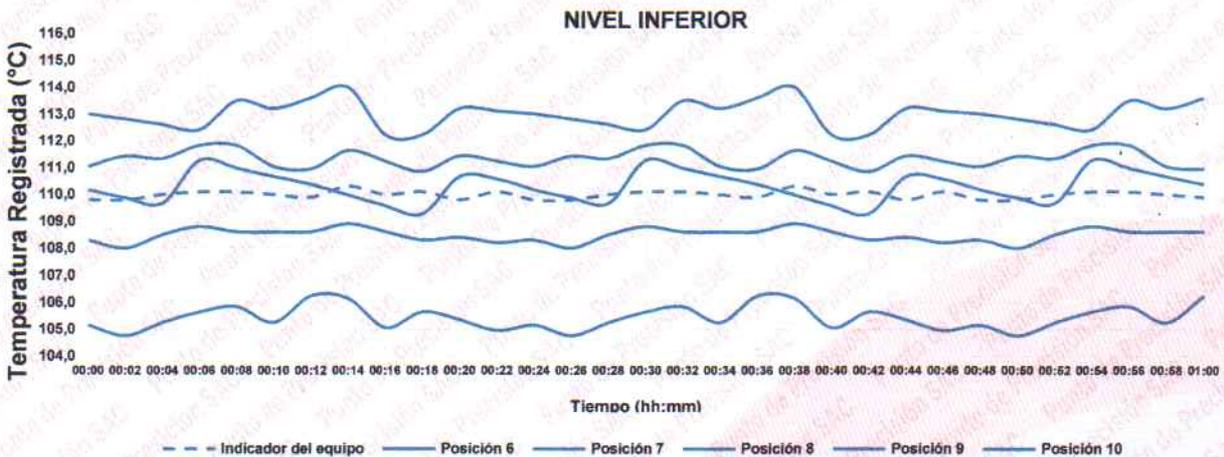
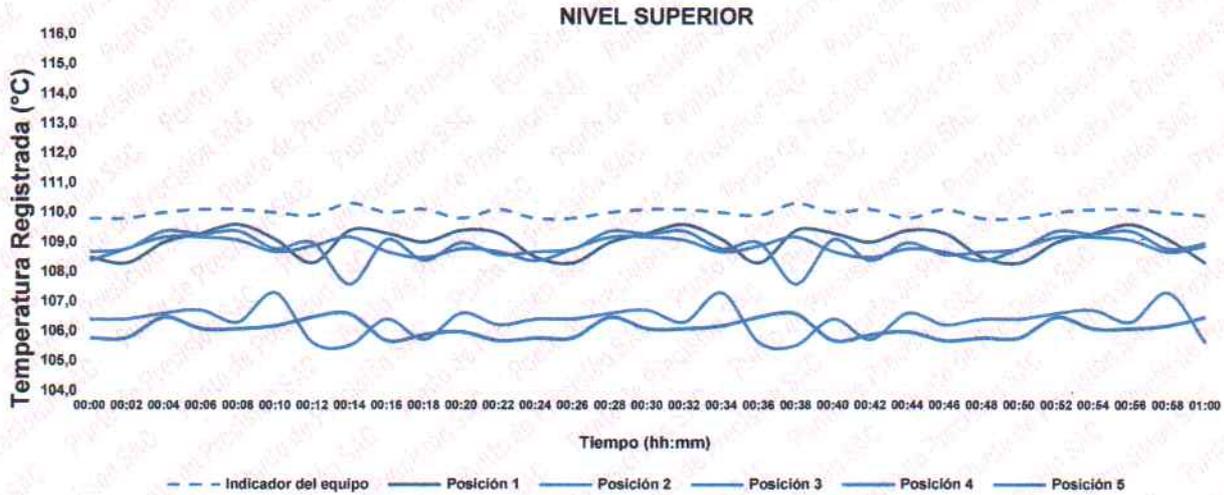
## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

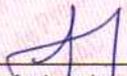
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-531-2022

Página 4 de 5

### 10. Gráfico de resultados durante la calibración del equipo

TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C ± 5 °C



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

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-531-2022

Página 5 de 5

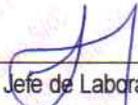
### Nomenclatura

<b>T. prom</b>	: Temperatura promedio de los sensores por cada intervalo.
<b><math>\Delta T</math></b>	: Diferencia entre máxima y mínima temperaturas en cada intervalo de tiempo.
<b>T. Promedio</b>	: Promedio de las temperaturas convencionalmente verdaderas durante el tiempo total
<b>T. Máximo</b>	: La máxima de las temperaturas convencionalmente verdaderas durante el tiempo total
<b>T. Mínimo</b>	: La mínima de las temperaturas convencionalmente verdaderas durante el tiempo total
<b>DTT</b>	: Desviación de temperatura en el tiempo.

---

FIN DEL DOCUMENTO



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

## 7.4 Diseño de Pavimento

### Flexible



**Proyecto** : OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash

**MUESTRA** : C - 3 (Natural)

**Fecha** : Junio - 2022  
**Tramo** : Centro Poblado

**A) PARÁMETROS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE**

Periodo de diseño	20 años
Numero de cargas 18,000 lb (w18)	486,437.068
Confiabilidad (R)	75.00%
Desviación estándar normal (Zr)	-0.674
Desviación estándar combinada (So)	0.45
Índice de serviciabilidad inicial (Po)	3.80
Índice de serviciabilidad final (Pt)	2.00
Perdida de serviciabilidad (ΔPSI)	1.80
C.B.R. de la sub rasante	13.66
Módulo de resiliencia de la sub rasante	13,616.935

**B) MÓDULO DE RESILIENCIA DE LOS MATERIALES**

Módulo de resiliencia del concreto asfáltico	430,000.00
Módulo de resiliencia de la base granular	28,300.00
Módulo de resiliencia de la sub base granular	17,200.00

**C) COEFICIENTES ESTRUCTURALES**

Concreto asfáltico	0.432
Base granular	0.132
Sub base granular	0.120

**D) COEFICIENTE DE DRENAJE**

Base granular	1.00
Sub base granular	1.00

**E) CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando valores en la fórmula anterior y mediante un proceso iterativo se obtiene el SN (Numero estructural) requerido

SN = 2.199
------------

**F) CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

El número estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por AASHTO - 93, los cuales se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:

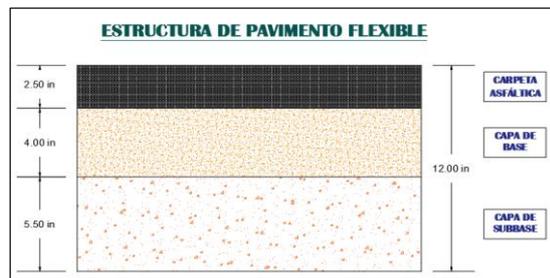
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Por lo tanto

SN (teórico) < SN (propuesto)
2.199 < 2.268

Estructura de pavimento calculado

Carpeta asfáltica	=	2.50 Pulg
Base granular	=	4.00 Pulg
Sub base granular	=	5.50 Pulg
<b>Espesor total de pavimento</b>	=	<b>12.00 Pulg</b>



**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : Junio - 2022

**MUESTRA** : C - 3 (+ 8% de emulsión asfáltica) **Tramo** : Centro Poblado

**A) PARÁMETROS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE**

Periodo de diseño	20 años
Numero de cargas 18,000 lb (w18)	486,437.068
Confiabilidad (R)	75.00%
Desviación estándar normal (Zr)	-0.674
Desviación estándar combinada (So)	0.45
Índice de serviciabilidad inicial (Po)	3.80
Índice de serviciabilidad final (Pt)	2.00
Perdida de serviciabilidad (ΔPSI)	1.80
C.B.R. de la sub rasante	19.59
Módulo de resiliencia de la sub rasante	17,151.138

**B) MÓDULO DE RESILIENCIA DE LOS MATERIALES**

Módulo de resiliencia del concreto asfáltico	430,000.00
Módulo de resiliencia de la base granular	28,300.00
Módulo de resiliencia de la sub base granular	17,200.00

**C) COEFICIENTES ESTRUCTURALES**

Concreto asfáltico	0.432
Base granular	0.132
Sub base granular	0.120

**D) COEFICIENTE DE DRENAJE**

Base granular	1.00
Sub base granular	1.00

**E) CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando valores en la fórmula anterior y mediante un proceso iterativo se obtiene el SN (Numero estructural) requerido

SN = 2.011
------------

**F) CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

El número estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por AASHTO - 93, los cuales se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:

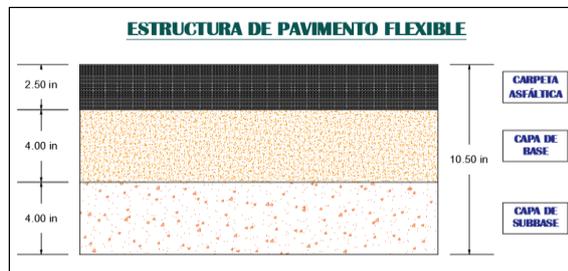
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Por lo tanto

SN (teórico) < SN (propuesto)
2.011 < 2.088

Estructura de pavimento calculado

Carpeta asfáltica	=	2.50 Pulg
Base granular	=	4.00 Pulg
Sub base granular	=	4.00 Pulg
<b>Espesor total de pavimento</b>	=	<b>10.50 Pulg</b>





**Proyecto** : OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : Junio - 2022

**MUESTRA** : C - 6 **Tramo** : Tramo 2

**A) PARÁMETROS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE**

Periodo de diseño	20 años
Numero de cargas 18,000 lb (w18)	1'421,769.964
Confiabilidad (R)	85.00%
Desviación estándar normal (Zr)	-1.036
Desviación estándar combinada (So)	0.45
Índice de serviciabilidad inicial (Po)	4.00
Índice de serviciabilidad final (Pt)	2.50
Perdida de serviciabilidad (ΔPSI)	1.50
C.B.R. de la sub rasante	12.53
Módulo de resiliencia de la sub rasante	12,884.857

**B) MÓDULO DE RESILIENCIA DE LOS MATERIALES**

Módulo de resiliencia del concreto asfáltico	430,000.00
Módulo de resiliencia de la base granular	28,300.00
Módulo de resiliencia de la sub base granular	17,200.00

**C) COEFICIENTES ESTRUCTURALES**

Concreto asfáltico	0.432
Base granular	0.132
Sub base granular	0.120

**D) COEFICIENTE DE DRENAJE**

Base granular	1.00
Sub base granular	1.00

**E) CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando valores en la fórmula anterior y mediante un proceso iterativo se obtiene el SN (Numero estructural) requerido

SN = 2.914
------------

**F) CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

El número estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por AASHTO - 93, los cuales se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Por lo tanto

SN (teorico) < SN (propuesto)
2.914 < 3.060

Estructura de pavimento calculado

Carpeta asfáltica	=	3.00 Pulg
Base granular	=	7.00 Pulg
Sub base granular	=	7.00 Pulg
<b>Esesor total de pavimento</b>	<b>=</b>	<b>17.00 Pulg</b>



<b>Proyecto</b>	:OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021	
<b>UBICACIÓN</b>	: C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash	<b>Fecha</b> :Junio - 2022
<b>MUESTRA</b>	:C - 6 (+ 8% de emulsión asfáltica)	<b>Tramo</b> :Tramo 2

**A) PARÁMETROS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE**

Periodo de diseño	20 años
Numero de cargas 18,000 lb (w18)	1'421,769.964
Confiabilidad (R)	85.00%
Desviación estándar normal (Zr)	-1.036
Desviación estándar combinada (So)	0.45
Índice de serviciabilidad inicial (Po)	4.00
Índice de serviciabilidad final (Pt)	2.50
Perdida de serviciabilidad (ΔPSI)	1.50
C.B.R. de la sub rasante	18.42
Módulo de resiliencia de la sub rasante	16,488.315

**B) MÓDULO DE RESILIENCIA DE LOS MATERIALES**

Módulo de resiliencia del concreto asfáltico	430,000.00
Módulo de resiliencia de la base granular	28,300.00
Módulo de resiliencia de la sub base granular	17,200.00

**C) COEFICIENTES ESTRUCTURALES**

Concreto asfáltico	0.432
Base granular	0.132
Sub base granular	0.120

**D) COEFICIENTE DE DRENAJE**

Base granular	1.00
Sub base granular	1.00

**E) CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{1094} \right)}{0.40 + \frac{1}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando valores en la fórmula anterior y mediante un proceso iterativo se obtiene el SN (Numero estructural) requerido

SN	=	2.640
----	---	-------

**F) CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

El número estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por AASHTO - 93, los cuales se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:

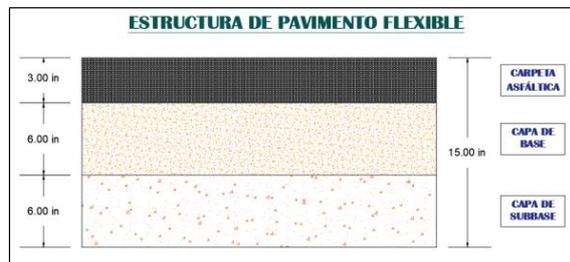
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Por lo tanto

SN (teorico)	<	SN (propuesto)
2.640	<	2.808

Estructura de pavimento calculado

Carpeta asfáltica	=	3.00 Pulg
Base granular	=	6.00 Pulg
Sub base granular	=	6.00 Pulg
<b>Espesor total de pavimento</b>	=	<b>15.00 Pulg</b>





**Proyecto** : OPTIMIZACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : Junio - 2022

**MUESTRA** : C - 9 **Tramo** : Tramo 1

**A) PARÁMETROS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE**

Periodo de diseño	20 años
Numero de cargas 18,000 lb (w18)	1'840,962.300
Confiabilidad (R)	85.00%
Desviación estándar normal (Zr)	-1.036
Desviación estándar combinada (So)	0.45
Índice de serviciabilidad inicial (Po)	4.00
Índice de serviciabilidad final (Pt)	2.50
Perdida de serviciabilidad (ΔPSI)	1.50
C.B.R. de la sub rasante	10.17
Módulo de resiliencia de la sub rasante	11,273.955

**B) MÓDULO DE RESILIENCIA DE LOS MATERIALES**

Módulo de resiliencia del concreto asfáltico	430,000.00
Módulo de resiliencia de la base granular	28,300.00
Módulo de resiliencia de la sub base granular	17,200.00

**C) COEFICIENTES ESTRUCTURALES**

Concreto asfáltico	0.432
Base granular	0.132
Sub base granular	0.120

**D) COEFICIENTE DE DRENAJE**

Base granular	1.00
Sub base granular	1.00

**E) CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{1094} \right)}{0.40 + \frac{1}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando valores en la fórmula anterior y mediante un proceso iterativo se obtiene el SN (Numero estructural) requerido

SN = 3.216
------------

**F) CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

El número estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por AASHTO - 93, los cuales se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:

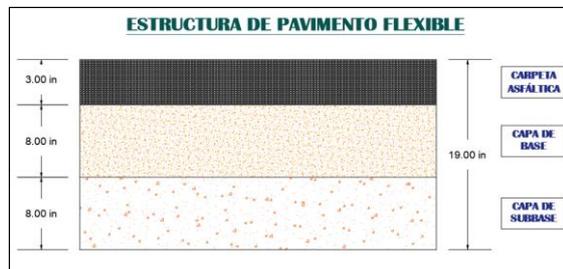
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Por lo tanto

SN (teorico) < SN (propuesto)
3.216 < 3.312

Estructura de pavimento calculado

Carpeta asfáltica	=	3.00 Pulg
Base granular	=	8.00 Pulg
Sub base granular	=	8.00 Pulg
<b>Espesor total de pavimento</b>	=	<b>19.00 Pulg</b>



**Proyecto** : OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSION ASFALTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA - ANCASH - 2021

**UBICACIÓN** : C.P San Luis, Distrito: Santa, Provincia: Santa, Departamento: Ancash **Fecha** : Junio - 2022

**MUESTRA** : C - 9 (+ 8% de emulsión asfáltica) **Tramo** : Tramo 1

**A) PARÁMETROS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE**

Periodo de diseño	20 años
Numero de cargas 18,000 lb (w18)	1'840,962.300
Confiabilidad (R)	85.00%
Desviación estándar normal (Zr)	-1.036
Desviación estándar combinada (So)	0.45
Índice de serviciabilidad inicial (Po)	4.00
Índice de serviciabilidad final (Pt)	2.50
Perdida de serviciabilidad (ΔPSI)	1.50
C.B.R. de la sub rasante	18.80
Módulo de resiliencia de la sub rasante	16,705.210

**B) MÓDULO DE RESILIENCIA DE LOS MATERIALES**

Módulo de resiliencia del concreto asfáltico	430,000.00
Módulo de resiliencia de la base granular	28,300.00
Módulo de resiliencia de la sub base granular	17,200.00

**C) COEFICIENTES ESTRUCTURALES**

Concreto asfáltico	0.432
Base granular	0.132
Sub base granular	0.120

**D) COEFICIENTE DE DRENAJE**

Base granular	1.00
Sub base granular	1.00

**E) CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{1094} \right)}{0.40 + \frac{1}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Remplazando valores en la fórmula anterior y mediante un proceso iterativo se obtiene el SN (Numero estructural) requerido

SN = 2.746
------------

**F) CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

El número estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por AASHTO - 93, los cuales se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:

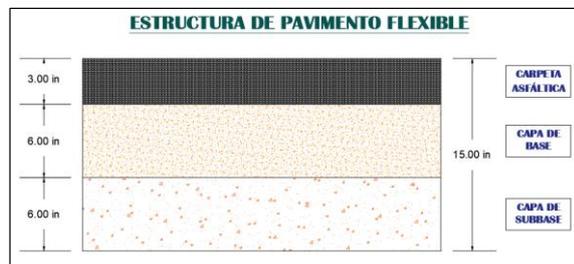
$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Por lo tanto

SN (teórico) < SN (propuesto)
2.746 < 2.808

Estructura de pavimento calculado

Carpeta asfáltica	=	3.00 Pulg
Base granular	=	6.00 Pulg
Sub base granular	=	6.00 Pulg
<b>Espesor total de pavimento</b>	=	<b>15.00 Pulg</b>



## 7.5 Ficha Técnica de Emulsión

Asfáltica



BITUPER S.A.C.

## FICHA TECNICA

### Emulsión Asfáltica Catiónica Tipo Superestable CSS-1H

Código : **BP-CSS-1H**

Revisión : Mayo 2013

Rvdo. por : Lab. Central

Página : 1 de 1

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

## 7.6 Panel Fotográfico



**Fotografía N°1.**Excavación y toma de muestra de calicata C-01 en centro poblado San Luis



**Fotografía N°2.**Medición de la profundidad alcanzada debido al nivel freático.



**Fotografía N°3.**Excavación y toma de muestra de la calicata C-04 en una vía de acceso.



**Fotografía N°4.** Medición de la profundidad alcanzada debido al nivel freático.



**Fotografía N°5.** Excavación y extracción de muestra de la calicata #6 en una vía de acceso.



**Fotografía N°6.** Medición de la profundidad alcanzada debido al nivel freático.

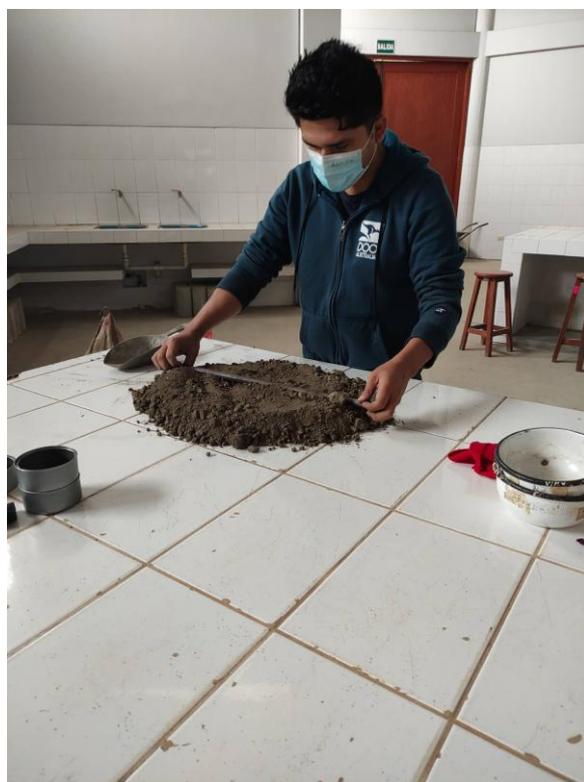


**Fotografía N°7.** Excavación y selección de muestra de la calicata #6 en una vía de acceso.



**Fotografía N°8.** Excavación y selección de muestra de la calicata #9 en una vía de acceso.

## TRABAJO EN LABORATORIO



**Fotografías N° 9, 10 y 11.** Obtención de muestra representativa de cada calicata mediante la técnica de cuarteo (MTC E 105)



**Fotografías N° 12, 13 y 14.**  
Procedimiento para determinar el contenido de humedad natural de cada calicata (MTC E 108)





**Fotografía N°15.** Retiro del horno de la muestra representativa luego de 24 horas para realizar granulometría por lavado.



**Fotografía N°16.** Adición de agua en la muestra representativa para disgregar terrones



**Fotografías N° 17, 18 y 19.** Granulometría por lavado usando la malla N°200, repitiendo proceso cuidadosamente para eliminar los finos, es decir las partículas  $< 0.075$  mm.



**Fotografías N° 20, 21 y 22.** Proceso del lavado hasta que el agua mezclada con la muestra quede completamente limpia, para luego colocar lo retenido en el tamiz N° 200 en un recipiente que será colocado en horno hasta secar.



**Fotografía N°23.** Colocación de la muestra lavada y seca en el juego de tamices para realizar la granulometría. (MTC E 107).

**Fotografía N°24.** Se utilizó una tamizadora eléctrica como apoyo adicional para lograr una mejor separación de las partículas a través de cada tamiz.

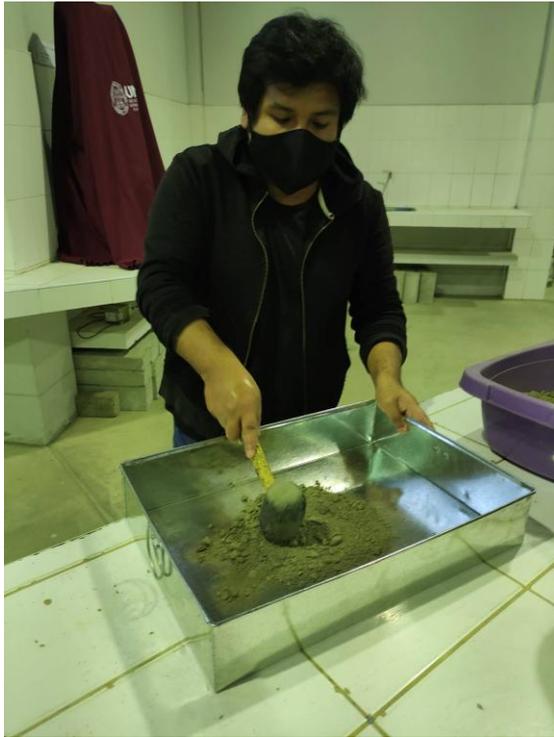




**Fotografía N°25.** Determinación de masa de la muestra representativa retenida en cada tamiz utilizado en el ensayo granulométrico.

**Fotografía N°26.** Muestra representativa separada según el tamaño de sus partículas luego del ensayo.





**Fotografía N°27.** Preparación previa de la muestra para la realización de determinación del límite líquido (MTC E 110)

**Fotografía N°28.** Obtención del material pasante a través del tamiz N°40 para el ensayo de límite líquido.





**Fotografías N° 29, 30 y 31.** Preparación de la pasta uniforme adicionando al material agua destilada para su posterior colocación en la copa de Casagrande con ayuda de una espátula.



**Fotografía N°32.** Ranurado de la muestra con el acanalador, para posteriormente aplicar golpes mediante el aparato de Casagrande.

**Fotografía N°33.** Vista de la muestra cerrada una longitud aproximada de 13mm indicando el término del ensayo en la copa de Casagrande.





**Fotografías N° 34, 35 y 36.** Obtención de una porción representativa de la pasta uniforme luego del ensayo para su posterior colocación en el horno eléctrico con el fin de determinar el contenido de humedad correspondiente. (MTC E 110)



**Fotografías N° 37, 38 y 39.** Realización del ensayo para determinar el límite plástico, mediante la elaboración de los especímenes, así como su colocación en el horno para hallar el contenido de humedad en ese estado de consistencia.



**Fotografía N°40.** Pesaje del material necesario para realizar el ensayo de Proctor modificado del terreno natural proveniente de la calicata #3 del centro poblado San Luis.

**Fotografía N°41.** Colocación del material dentro del horno eléctrico a una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C.





**Fotografías N° 42, 43 y 44.** Pesaje y medición de los materiales para realizar el ensayo Proctor modificado de terreno natural.



**Fotografías N° 45, 46 y 47.** Preparación del espécimen adicionando porcentaje de agua a la muestra seca y batiendo hasta uniformizar la humedad, para luego compactar dicho espécimen dentro del molde en 5 capas de 25 golpes por capa utilizando el pisón manual de Proctor modificado.



**Fotografía N°48.** Determinación de la masa del molde con el espécimen compactado, luego de retirar el collar de extensión y enrasar adecuadamente con ayuda de una regla metálica.

**Fotografía N°49.** Toma y pesaje de una muestra representativa húmeda, luego del ensayo de Proctor modificado para su posterior colocación dentro del horno eléctrico, con el fin de encontrar el contenido de humedad.





**Fotografías N° 50, 51 y 52.** Elaboración del espécimen del suelo natural para el ensayo CBR, pesaje del molde junto a la base, y ensamblaje de este con el collarín de extensión, además de la colocación interior de un disco espaciador y un papel filtro del mismo diámetro.



**Fotografías N° 53, 54 y 55.** Compactación del espécimen dentro del molde en 5 capas, en este específicamente con 56 golpes por capa, los restantes dos moldes se compactan con 25 y 10 golpes por capa con ayuda del pisón, además en todos estos luego se les retira el collar para la realización del enrasado.



**Fotografías N° 56, 57 y 58.** Procedimiento de volteo del molde para quitar el disco espaciador y dejar espacio para las sobrecargas, así también como su posterior pesaje del molde conteniendo el espécimen compactado.



**Fotografía N°59.** Colocación de la placa perforada con vástago, y las pesas anular y circular en cada uno de los moldes CBR.

**Fotografía N°60.** Colocación del trípode sobre el canto del molde y calibración del dial para registrar el valor inicial y controlar la expansión antes y después de la saturación en agua.





**Fotografía N° 61.** Sumersión de los moldes en agua por un periodo de 96 horas para inicio del proceso de saturación del CBR realizado con terreno natural.

**Fotografía N° 62.** Realización del ensayo CBR del espécimen de suelo natural para posterior de la lectura.





**Fotografía N° 63.** Adición de emulsión asfáltica al suelo natural en proporción previamente determinada.

**Fotografía N° 64.** Preparación de la muestras para realizar los ensayos realizando un batido uniforme para la correcta distribución de la emulsión dentro del suelo.





**Fotografía N° 65.** Compactación del espécimen dentro del molde en 5 capas para el ensayo CBR, en este caso con 56 golpes por capa, los restantes dos moldes se compactan con 25 y 10 golpes por capa con ayuda del pisón,

**Fotografía N° 66.** Sumersión de los moldes en agua por un periodo de 96 horas para inicio del proceso de saturación del CBR realizado a las muestras de suelo natural combinadas con emulsión asfáltica.



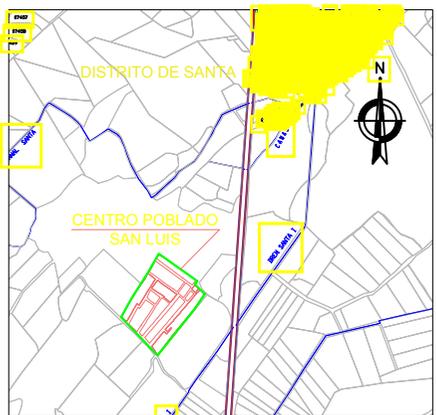
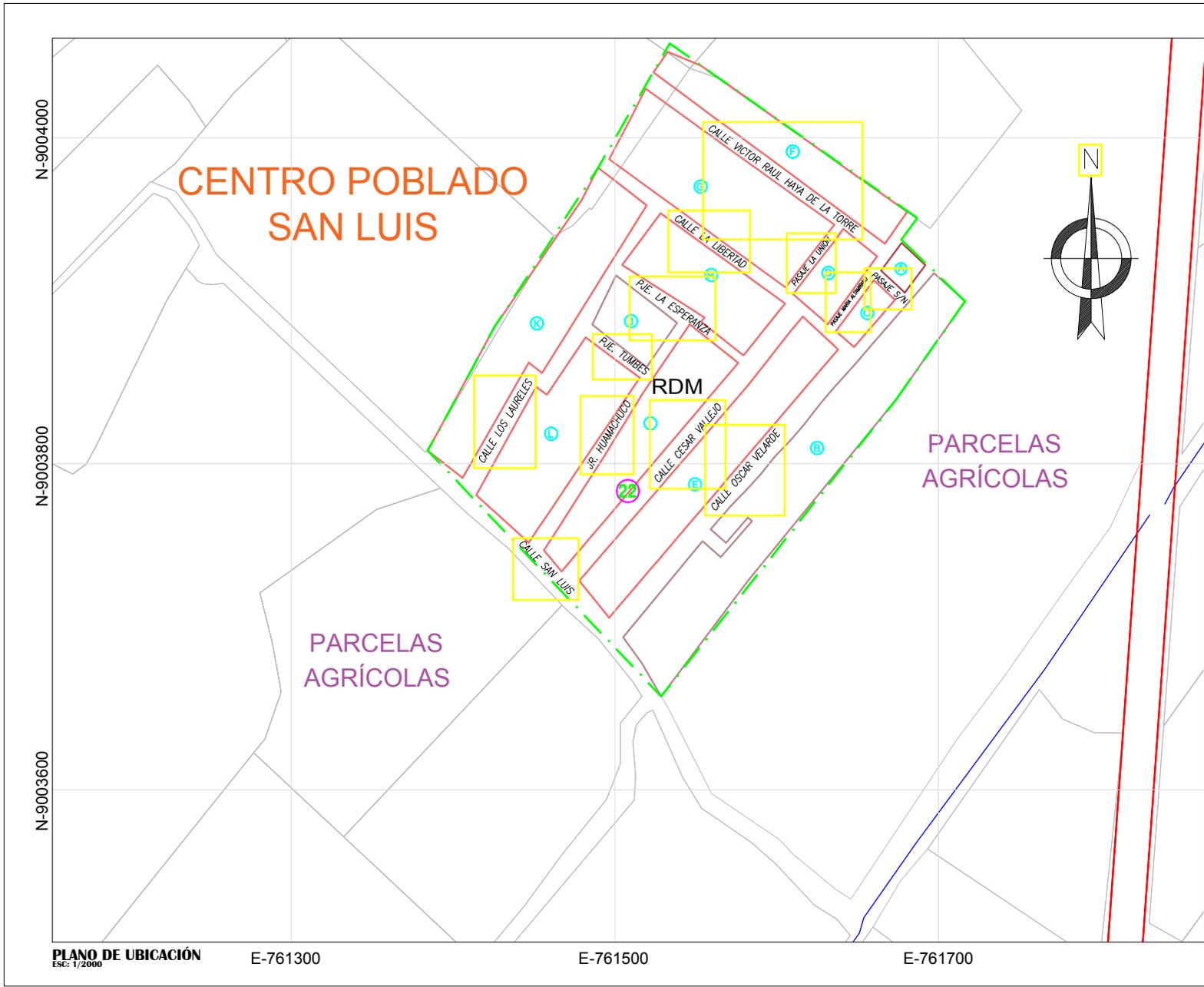


**Fotografía N° 67.** Toma de lectura de los valores obtenidos mediante la prensa para el ensayo CBR de las muestras adicionadas.

**Fotografía N° 68.** Muestra de suelo natural con adición de emulsión asfáltica en estado posterior a su ensayo en la maquina CBR



## 7.7 Planos



**PLANO DE LOCALIZACIÓN**  
ESC: 1/100000



**PROVINCIA DEL SANTA**

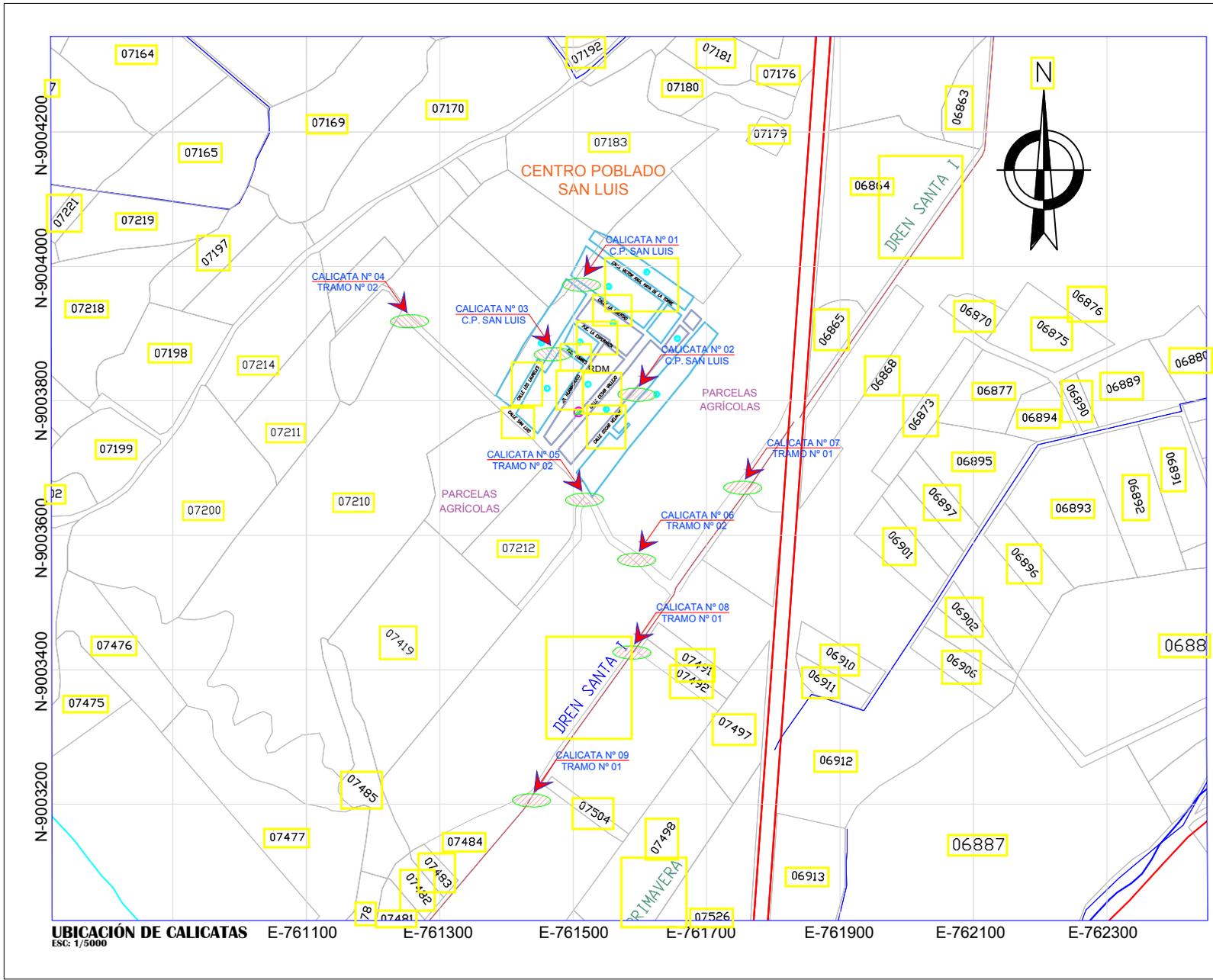
**PLANO DE UBICACIÓN**  
ESC: 1/2000

E-761300

E-761500

E-761700

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA E.P. INGENIERÍA CIVIL			
TESIS: <b>OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH - 2021</b>			LÁMINA N°: <b>UL-01</b>
<b>PLANO:</b> <b>UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN</b>			
DISTRITO: <b>SANTA</b>	PROVINCIA: <b>SANTA</b>	DEPARTAMENTO: <b>ANCASH</b>	FECHA: <b>ABRIL 2023</b>
TESISISTAS: BACH. CARBAJAL MILLA ROBERTH ROLANDO BACH. LORENZO CHÁVEZ PABLO ABBÓN		ASESOR: ING. RIVAS PLATA DÍAZ JULIO CESAR	ESCALA: <b>INDICADA</b>



CUADRO DE CALICATAS		
CALICATA	CORDENADAS	
	NORTE	ESTE
Calicata N° 01	761548.51	9004022.75
Calicata N° 02	761620.63	9003862.61
Calicata N° 03	761529.22	9003863.76
Calicata N° 04	761376.15	9003924.73
Calicata N° 05	761554.02	9003787.84
Calicata N° 06	761617.68	9003662.68
Calicata N° 07	761753.90	9003718.01
Calicata N° 08	761671.45	9003591.84
Calicata N° 09	761505.40	9003365.09

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA E.P. INGENIERÍA CIVIL			
TESIS: OPTIMIZACIÓN DEL ESPESOR DE PAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ESTABILIZAR LA SUBRASANTE, CENTRO POBLADO SAN LUIS, SANTA, SANTA, ANCASH - 2021			LÁMINA N°:
PLANO: UBICACIÓN DE CALICATAS			<b>UL-02</b>
DISTRITO: SANTA	PROVINCIA: SANTA	DEPARTAMENTO: ANCASH	FECHA: ABRIL 2023
TESISISTAS: BACH. CARBAJAL MILLA ROBERTH ROLANDO BACH. LORENZO CHÁVEZ PABLO AIDÓN		ASESOR: ING. RIVAS PLATA DÍAZ JULIO CESAR	ESCALA: INDICADA

# Optimización del espesor de pavimento utilizando emulsión asfáltica para estabilizar la subrasante, Centro Poblado San Luis, Santa, Santa - Áncash - 2021

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="https://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
7	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1%

9	<a href="http://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
11	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://alicia.concytec.gob.pe">alicia.concytec.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://dspace.ucacue.edu.ec">dspace.ucacue.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
18	<a href="http://www.tac-atc.ca">www.tac-atc.ca</a> Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	<1 %

20	<a href="http://ciencia.lasalle.edu.co">ciencia.lasalle.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1 %
24	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://www.fceia.unr.edu.ar">www.fceia.unr.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota Trabajo del estudiante	<1 %
28	<a href="http://repositorio.unj.edu.pe">repositorio.unj.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	<1 %
30	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

31	Submitted to Universidad Jose Carlos Mariategui Trabajo del estudiante	<1 %
32	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
33	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
38	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
39	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.ucsp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
41	www.dspace.uce.edu.ec	

Fuente de Internet

<1 %

42

[upc.aws.openrepository.com](http://upc.aws.openrepository.com)

Fuente de Internet

<1 %

43

[www.proteccioncivil.org](http://www.proteccioncivil.org)

Fuente de Internet

<1 %

44

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1 %

45

Submitted to Universidad Internacional SEK

Trabajo del estudiante

<1 %

46

[repositorio.uandina.edu.pe](http://repositorio.uandina.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

47

[repositorio.ujcm.edu.pe](http://repositorio.ujcm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

48

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Fuente de Internet

<1 %

49

[pirhua.udep.edu.pe](http://pirhua.udep.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

50

[renati.sunedu.gob.pe](http://renati.sunedu.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

51

[repositorio.upse.edu.ec](http://repositorio.upse.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

52

[ruidera.uclm.es](http://ruidera.uclm.es)

Fuente de Internet

<1 %

53

[repositorio.upt.edu.pe](https://repositorio.upt.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

54

[www.coursehero.com](https://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

<1 %

55

[es.slideshare.net](https://es.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

56

[repositorio.upecen.edu.pe](https://repositorio.upecen.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

57

[repositorio.uprit.edu.pe](https://repositorio.uprit.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

58

Berriel Buenfil Saúl Alberto. "Estudio geotécnico de terracerías y pavimentos Cortijo Nuevo - Nuevo Progreso, del km. 0+000 al km. 8+000, ubicado en el Estado de Tabasco", TESIUNAM, 2022

Publicación

<1 %

59

Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana

Trabajo del estudiante

<1 %

60

[kocaeli2007.kocaeli.edu.tr](https://kocaeli2007.kocaeli.edu.tr)

Fuente de Internet

<1 %

61

[www.slideshare.net](https://www.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía Activo