

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**PROGRAMA DE TITULACION POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS BÁSICOS  
PARA LA CONSERVACIÓN VIAL DEL TRAMO V DE LA CARRETERA  
ACOBAMBA – PUENTE ALCOMACHAY EN EL DEPARTAMENTO DE  
HUANCAVELICA**

**TESIS**  
**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. PEREZ ROSALES GERMAN RODRIGO**  
**BACH. ANDAGUA MENDOZA KENGY EDINSON**

**ASESOR: M.Sc. ING. GUILLERMO LAZO LAZARO**

**LIMA-PERÚ**  
**AÑO 2015**

## **DEDICATORIA**

*Esta Tesis está dedicada a los que fueron mi gran motivación y soporte para desarrollar esta etapa profesional, mis Padres: Germán y Victoria.*

*Germán Pérez Rosales*

## **DEDICATORIA**

*La presente tesis está dedicada a mis padres, familiares, maestros y amigos que siempre fueron y serán los pilares de mi avance profesional y sé que sin ellos no hubiese podido alcanzar una de mis más grandes metas.*

*Para todos ellos hago esta dedicatoria.*

*Kengy Andagua Mendoza*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A nuestro asesor de Tesis, M.Sc. Ing. Guillermo Lazo Lázaro, sus conocimientos, orientaciones y aplicación a la investigación fueron de vital importancia para finalizar este proyecto.*

*A los técnicos del Área de Calidad de la empresa Cosapi S.A, Carmen Ccoyo y Josué Mamani, aportaron en la verificación y procesos de estudio de campo.*

*A nuestros compañeros del grupo TITES que fueron parte de este proceso.*

*A las personas que brindaron el apoyo moral para poder seguir adelante y motivarnos a llegar a esta etapa profesional.*

## ÍNDICE

RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	3
1.1 Descripción de la realidad problemática	3
1.2 Formulación de Problema	3
1.2.1. Problema principal	3
1.2.2. Problemas secundarios	3
1.3 Objetivos de la investigación	4
1.3.1 Objetivo principal	4
1.3.2 Objetivos secundarios	4
1.4 Justificación de la investigación	4
1.5 Limitaciones de la investigación	5
1.6 Viabilidad de la investigación	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.1.1 En el ámbito internacional	6
2.1.2 En el ámbito nacional	6
2.1.3 Descripción del proyecto	11
2.1.4 Localización del proyecto	12
2.1.5 Ubicación	14
2.1.6 Clima y Altitud	15
2.1.7 Geografía	16
2.1.8 Geología	16
2.1.9 Geomorfología	18
2.1.10 Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra	18
2.1.10.1 Descripción de los tipos de Cobertura	18
2.1.10.2 Descripción de los Tipos de Uso de tierra	20

2.1.11 Flora	20
2.1.12 Fauna Silvestre	21
2.2 Bases Teóricas	24
2.2.1 Definiciones conceptuales Fundamentales	24
2.2.1.1 Ingeniería Geotécnica	24
2.2.1.2 Transporte	24
2.2.1.3 Vías de comunicación	24
2.2.1.4 Situación y evaluación de la red vial nacional	25
2.2.1.5 Componentes de la infraestructura del camino o vía.	29
2.2.1.6 Pavimentos Básicos	34
2.2.1.7 Estudio de Suelos	46
2.2.1.8 Estudio de Tráfico	56
2.2.2 Definiciones conceptuales Específicos	70
2.2.2.1 Marco conceptual de la conservación vial	70
2.2.2.2 Reciclado de pavimentos	79
2.2.2.3 Métodos de diseño de pavimentos	85
2.2.2.4 Método de las diferencias acumuladas	102
2.2.2.5 Proceso de reciclado en frio	104
2.2.3 Formulación de Hipótesis	107
2.2.3.1 Hipótesis general	107
2.2.3.2 Hipótesis específicas	107
2.2.3.3 Variables	107
2.2.3.4 Definición Conceptual de las variables	107
2.2.3.5 Operacionalización de variables	109
<b>CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>111</b>
3.1 Diseño de la investigación	111
3.2 Población y muestra	111
3.3 Técnicas de Recolección de Datos	112
3.3.1 Descripción de los instrumentos	112
3.3.2 Validez y confiabilidad de los instrumentos	112
3.4 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	112

3.5 Aspectos éticos	113
<b>CAPITULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>114</b>
4.1 Análisis e interpretación de los datos	114
4.1.1 Evaluación y diagnóstico en la situación actual	114
4.1.2 Metodología empleada para los trabajos de medición en campo de la situación inicial	117
4.1.3 Evaluación superficial, tramo V Acobamba – puente Alcomachay	117
4.1.4 Evaluación estructural, tramo V, Acobamba – puente Alcomachay	122
4.1.5 Evaluación funcional tramo V, Acobamba – puente Alcomachay	125
4.1.6 Estudio de Tráfico	130
4.1.6.1 Índice Medio Diario según Clase Vehicular	135
4.1.6.2 Encuestas origen destino	138
4.1.6.3 Proyección de tráfico total	142
4.1.6.4 Ejes Estándar de Cargas Equivalentes	144
4.1.7 Estudio de Suelos	145
4.1.7.1 Calicatas	145
4.1.7.2 Canteras	161
4.1.7.3 Fuentes de agua	175
4.1.7.4 Diseño de la base reciclada suelo cemento	178
4.1.7.5 Ejecución de ensayos de laboratorio	182
4.2 Resultados de la investigación	226
4.2.1 Mezcla de Agregados: Cantera Municipio (33%) y Material existente de plataforma (67%)	226
4.2.2 Mezcla de Agregados: Cantera Chilcapite (33%) y Material existente de plataforma (67%)	234
4.2.3 Mezcla de Agregados: Cantera Mantaro (33%) y Material existente de plataforma (67%)	242
4.2.4 Diseño de la estructura del pavimento	249
4.2.5 Método de las diferencias acumuladas	250
4.2.6 Método NAASRA	254
4.2.7 Método AASHTO 93	258

4.3 Contrastación de hipótesis	261
4.4 Discusiones	264
CONCLUSIONES	267
RECOMENDACIONES	271
FUENTES DE INFORMACIÓN	272
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	272
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	274
ANEXOS	275
ANEXO 1. Matriz de Consistencia	275
ANEXO 2. Plano de ubicación	277
ANEXO 3. Cuadro resumen de calicatas	279
ANEXO 4. Inventario de fallas superficiales	293
ANEXO 5. Fuentes de agua	326
ANEXO 6. Deflectometría	348
ANEXO 7. Certificados de calibración	366
ANEXO 8. Perfiles estratigráficos	383
ANEXO 9. Términos de referencia	389

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Perú-Huancavelica	12
Figura 2. Mapa de Huancavelica	13
Figura 3. Tramo V, Acobamba – Puente Alcomachay	14
Figura 4. Mapa Geológico de Huancavelica	17
Figura 5. Flora en zona de estudio	21
Figura 6. Sección Típica de un pavimento flexible	32
Figura 7. Sección Típica de un pavimento rígido	33
Figura 8. Sección Típica de un pavimento rígido	33
Figura 9. Sección típica de un pavimento básico, suelo – cemento	35
Figura 10. Estabilización con cloruro de magnesio.	39
Figura 11. Escala del Índice de Rugosidad Internacional IRI	53
Figura 12. Coeficiente estructural de capa “a <sub>1</sub> ” en función del módulo elástico del concreto asfáltico.	94
Figura 13. Variación de los coeficientes de capa “a <sub>2</sub> ”, en bases granulares.	95
Figura 14. Variación de los coeficientes de capa “a <sub>3</sub> ”, en subbases granulares	96
Figura 15. Variación de los coeficientes de capa “a <sub>2</sub> ”, en Bases tratados con cemento	97
Figura 16. Variación de los coeficientes de capa “a <sub>2</sub> ”, en Bases tratados con material bituminoso	98
Figura 17. Proceso de reciclado	105
Figura 18. Categorías de reciclado	106
Figura 19. Evaluación Superficial tramo Acobamba - Puente Alcomachay	118
Figura 20. Evaluación Superficial Acobamba - Puente Alcomachay	119
Figura 21. Porcentaje de afectación según tipo de falla	120
Figura 22. Erosión y Huecos, Acobamba – Emp. PE 3S (Puente ALCOMACHAY)	120
Figura 23. Erosión y Huecos, Acobamba – Puente Alcomachay	121
Figura 24. Ejemplo de delimitación de secciones homogéneas	122

Figura 25. Distribución de diferencias acumuladas tramo V, Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay)	123
Figura 26. Superficie del tramo Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay)	125
Figura 27. Distribución del IRI	126
Figura 28. Situación de intransitabilidad del tramo V	128
Figura 29. Ubicación de estación de control	132
Figura 30. Estación Caja Espíritu	133
Figura 31. C-01 Profundidad 0.5 m / km 92+300 (L.I.)	147
Figura 32. C-01, Calicata Superficial (0.50 m) sólo para caracterización geotécnica del afirmado existente	147
Figura 33. C-02 Profundidad 1.5 m / km 92+600 (L.D.)	148
Figura 34. C-02, Calicata Profunda (1.50 m) para caracterización geotécnica del paquete estructural del pavimento	148
Figura 35. Cantera Municipio	163
Figura 36. Cantera Municipio	163
Figura 37. Cantera Chilcapite	167
Figura 38. Cantera Chilcapite	167
Figura 39. Cantera Chilcapite	167
Figura 40. Ficha Técnica CANTERA CHILCAPITE km 102+660	168
Figura 41. Cantera Río Mantaro	171
Figura 42. Cantera Río Mantaro	171
Figura 43. Cantera Río Mantaro	172
Figura 44. Cantera Río Mantaro	172
Figura 45. Diagrama de Canteras y Fuentes de Agua	177
Figura 46. Material de Plataforma existente km 92+600	182
Figura 47. Material de Cantera de Municipio km 88+950, para recarga	182
Figura 48. Granulometría	183
Figura 49. Granulometría	183
Figura 50. Granulometría	184
Figura 51. Granulometría	184
Figura 52. Granulometría	185

Figura 53. Granulometría	185
Figura 54. Granulometría	186
Figura 55. Granulometría	186
Figura 56. Granulometría	187
Figura 57. Granulometría	187
Figura 58. Granulometría	188
Figura 59. Granulometría	188
Figura 60. Granulometría	189
Figura 61. Granulometría	189
Figura 62. Granulometría	190
Figura 63. Granulometría	190
Figura 64. Humedad Natural	191
Figura 65. Humedad Natural	191
Figura 66. Humedad Natural	192
Figura 67. Humedad Natural	192
Figura 68. Límites de Consistencia	193
Figura 69. Límites de Consistencia	193
Figura 70. Límites de Consistencia	194
Figura 71. Límites de Consistencia	194
Figura 72. Límites de Consistencia	195
Figura 73. Límites de Consistencia	195
Figura 74. Límites de Consistencia	196
Figura 75. Límites de Consistencia	196
Figura 76. Límites de Consistencia	197
Figura 77. Límites de Consistencia	197
Figura 78. Límites de Consistencia	198
Figura 79. Límites de Consistencia	198
Figura 80. Límites de Consistencia	199
Figura 81. Límites de Consistencia	200
Figura 82. Proctor Modificado	201
Figura 83. Proctor Modificado	201
Figura 84. Proctor Modificado.	202

Figura 85. Proctor Modificado	202
Figura 86. Proctor Modificado	203
Figura 87. Proctor Modificado	203
Figura 88. Proctor Modificado	204
Figura 89. Proctor Modificado	204
Figura 90. Proctor Modificado	205
Figura 91. Proctor Modificado	205
Figura 92. Proctor Modificado	206
Figura 93. Proctor Modificado	206
Figura 94. Proctor Modificado	207
Figura 95. Proctor Modificado	207
Figura 96. Proctor Modificado	208
Figura 97. Proctor Modificado	208
Figura 98. Proctor Modificado	209
Figura 99. Proctor Modificado	209
Figura 100. C.B.R.	211
Figura 101. C.B.R.	211
Figura 102. C.B.R.	212
Figura 103. C.B.R.	212
Figura 104. Suelo - Cemento	213
Figura 105. Suelo - Cemento	214
Figura 106. Suelo - Cemento	214
Figura 107. Suelo – Cemento	215
Figura 108. Suelo - Cemento	215
Figura 109. Suelo - Cemento	216
Figura 110. Suelo - Cemento	216
Figura 111. Suelo - Cemento	217
Figura 112. Suelo - Cemento	217
Figura 113. Suelo - Cemento	218
Figura 114. Suelo - Cemento	218
Figura 115. Suelo - Cemento	219
Figura 116. Suelo - Cemento	220

Figura 117. Suelo - Cemento	221
Figura 118. Suelo - Cemento	221
Figura 119. Suelo - Cemento	222
Figura 120. Suelo - Cemento	222
Figura 121. Suelo – Cemento	223
Figura 122. Suelo - Cemento	223
Figura 123. Suelo - Cemento	224
Figura 124. Suelo - Cemento	224
Figura 125. Suelo - Cemento	225
Figura 126. Gráfica de Zx vs Progresivas del Tramo V	253
Figura 127. Variación de los coeficientes de capa “a2”, en Bases tratados con cemento	257
Figura 128. Método AASHTO con CBR de diseño 14.9	258
Figura 129. Método AASHTO con CBR de diseño 20.9	259

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sector vial objeto de los servicios	13
Tabla 2. Parámetros mínimos y máximos del Cloruro de Sodio	37
Tabla 3. Gradación según el porcentaje que pasa.	38
Tabla 4. Dosificación de cemento por tipo de suelo	42
Tabla 5. Pérdida máxima por tipo de suelo	44
Tabla 6. Clasificación AASHTO	48
Tabla 7. Clasificación SUCS	48
Tabla 8. Categorías de Subrasante	50
Tabla 9. Valores de Rugosidad Admisible IRI (m/km) según tipo de carretera	52
Tabla 10. Factores de Distribución y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño	58
Tabla 11. Factores de Crecimiento Acumulado (Fca.) para el cálculo de número de repeticiones de EE	60
Tabla 12. Configuración de ejes	62
Tabla 13. Relación de cargas por eje para determinar para determinar ejes equivalentes para Afirados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos.	63
Tabla 14. Cuadros de Factores de Equivalencia por Eje y Factor vehículo	64
Tabla 15. Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para ejes equivalentes (EE)	67
Tabla 16. Periodo de Diseño	86
Tabla 17. Factor de distribución por carril	88
Tabla 18. Confiabilidad	89
Tabla 19. Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (ZR)	89
Tabla 20. Desviación Estándar Combinada (So)	90
Tabla 21. Índice de Serviciabilidad	91
Tabla 22. Coeficientes de Drenaje	93
Tabla 23. Aplicación del Método NAASRA	100
Tabla 24. Espesor de material granular	101
Tabla 25. Niveles de Servicio antes de la Conservación Periódica	115

Tabla 26. Niveles de Servicio después de la Conservación Periódica	116
Tabla 27. Tramos homogéneos	124
Tabla 28. Clasificación de la serviciabilidad	127
Tabla 29. IRI promedio por tramo Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay) (Km 092+135 – Km 156+343).	127
Tabla 30. Estación de Conteo	132
Tabla 31. Factores de Corrección para el IMD de los Conteos de Tráfico	135
Tabla 32. IMDa Resumen de Tramo	136
Tabla 33. IMDa Est. Caja Espiritu	136
Tabla 34. Volumen Vehicular por día, dirección y tipo de vehículo, en valores absolutos y relativos – Índice Medio Diario Anual, por dirección y tipo de vehículo en valores absolutos y relativos. Estación Caja Espiritu	137
Tabla 35. Origen-Destino de Autos y Station Wagon (Según Departamento – Estación Caja Espiritu)	138
Tabla 36. Origen-Destino de Autos y Station Wagon (Según Distrito – Estación Caja Espiritu)	138
Tabla 37. Origen-Destino de Camionetas (Según Departamento – Estación Caja Espiritu)	139
Tabla 38. Origen-Destino de Camionetas (Según Distrito – Estación Caja Espiritu)	139
Tabla 39. Origen-Destino de Camioneta Rural (Según Departamento – Estación Caja Espiritu)	139
Tabla 40. Origen-Destino de Camioneta Rural (Según Distrito – Estación Caja Espiritu)	140
Tabla 41. Tipo de Combustible (Estación Caja Espiritu)	140
Tabla 42. Marca de Vehículos (Estación Caja Espiritu)	140
Tabla 43. Pasajeros Transportados (Estación Caja Espiritu)	141
Tabla 44. Aplicación del Método NAASRA	255
Tabla 45. Espesor de material granular	255

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Altitud- Clima de Huancavelica	15
Cuadro 2. Tipos de cobertura vegetal	19
Cuadro 3. Fauna registrada en las zonas de proyecto y valle en general	22
Cuadro 4. Fauna doméstica registrada en las zonas de proyecto y alrededores	23
Cuadro 5. Evolución de la Red Vial Nacional por Tipo de Superficie de Rodadura.	26
Cuadro 6. Evolución de la Red Vial Nacional por Tipo de Administración	27
Cuadro 7. Intervenciones en la RVN 2006 -2018P	28
Cuadro 8. Evolución del Estado Funcional de la Red Vial Nacional	28
Cuadro 9. Red Vial Nacional Pavimentada - No Pavimentada	29
Cuadro 10. Parametros del numeros de repeticiones de Ejes Equivalentes	68
Cuadro 11. Numero de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t en el carril de diseño para caminos No Pavimentados.	69
Cuadro 12. Niveles de Servicio para: Calzado de Afirmado	78
Cuadro 13. Principales ventajas de las técnicas de reciclado	80
Cuadro 14. Solución tabulada de la aproximación sucesiva de las diferencias acumuladas	103
Cuadro 15. Proyección de tráfico total	142
Cuadro 16. Ejes Estándar de Carga Equivalente	144
Cuadro 17. Cuadro de ubicación de Calicatas	149
Cuadro 18. Distribución de los suelos característicos de afirmado (lastre)	158
Cuadro 19. Distribución de los suelos característicos de Subrasante	158
Cuadro 20. Cuadro resumen de CBR	159
Cuadro 21. Ficha Técnica CANTERA MUNICIPIO km 88+950	164
Cuadro 22. Cuadro resumen de ensayos de laboratorio CANTERA MUNICIPIO km 88+950	165
Cuadro 23. Cuadro resumen de ensayos de laboratorio CANTERA CHILCAPITE km 120+660	169
Cuadro 24. Ficha Técnica CANTERA RÍO MANTARO km 156+000	173

Cuadro 25. Cuadro resumen de ensayos de laboratorio CANTERA RÍO MANTARO km 156+000	174
Cuadro 26. Fuentes de Agua	175
Cuadro 27. Requisitos mínimos de calidad de Agua	176
Cuadro 28. Tramificación y dosificación de la combinación de materiales para diseño estructural del pavimento.	180
Cuadro 29. Método de las diferencias acumuladas	250
Cuadro 30. Método NAASRA	256
Cuadro 31. Método AASHTO 93	260

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución de la Red Vial Nacional	27
Gráfico 2. Ensayos de Laboratorio de suelo cemento	45

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene un diseño de investigación (cuantitativo-cualitativo) que enfoca el problema de utilizar diferentes técnicas de diseño de pavimentos para un efecto económico e innovador para la conservación vial del tramo V de la carretera Acobamba – Puente Alcomachay en el Departamento de Huancavelica, que nos llevó a formular el objetivo de determinar la técnica de diseño de pavimento más económica: AASHTO 93 y NAASRA (antes AUSTROADS), desarrollando parámetros geotécnicos y de transitabilidad, obteniendo como resultado que: la técnica NAASRA, para las condiciones existentes del tramo, nos proporciona un pavimento económico con un espesor menor que la obtenida por el método AASHTO 93.

**Palabras Clave:** *Conservación vial, diseño de pavimento, espesor, método AASHTO 93, método NAASRA.*

## ABSTRACT

This investigation study, has an investigation design (quantitative, qualitative) that focus the problem of using different pavement design techniques for an economical and innovative result for the Road Conservation Project of the highway Segment V, located between Acobamba until Alcomachay bridge, in the State of Huancavelica - Peru), that lead us to formulate the objective of finding the most economical pavement design technology AASHTO 93 and NAASRA (before AUSTROADS), developing geotechnical and passability parameters, obtaining as a result that: NAASRA technique, for the current road conditions gives us an economical pavement, with a lower width than the one obtained with the AASHTO 93 method.

**Key words:** *Road Conservation Project, pavement design, width, AASHTO 93 method, NAASRA method.*

## INTRODUCCIÓN

El diseño de pavimentos es una disciplina de la ingeniería civil que se encarga de la determinación de los espesores y de las características físico mecánicas que deben tener los materiales que componen la estructura de una vía para que sea capaz de soportar las cargas de tráfico y ambientales a los que será sometido durante un determinado periodo de tiempo. Esta disciplina se inició con la construcción de los primeros caminos; sin embargo, es a partir de la aparición de los vehículos que cobra un impulso mayor, siendo cada vez más sofisticada en términos de los elementos de análisis, predicción del comportamiento.

Los primeros métodos de diseño de pavimentos fueron principalmente empíricos y se basaban en relaciones similares a las desarrolladas en la mecánica de suelos, estableciendo cargas límites para mantener los esfuerzos cortantes bajo ciertos niveles para evitar fallas. Estos métodos, por lo general, consideraban en el diseño una carga máxima a la que sería sometida la estructura y el diseño consistía en dimensionar los espesores para soportar esa carga de diseño.

Actualmente la ingeniería de pavimentos es una disciplina por sí misma, combina el conocimiento de la mecánica de los materiales, el análisis estructural de los componentes, las tecnologías constructivas y la gestión de la conservación.

Esta interacción entre diferentes áreas de conocimiento representa un reto para el ingeniero de pavimentos quien debe buscar la solución más adecuada al costo más efectivo.

En el diseño de pavimentos se tienen en términos generales dos escuelas o tendencias: la primera aplicada a varios países, en especial EE.UU. donde los procedimientos de diseño tienden a ser mecanístico-empíricos (analítico-

empíricos) orientados a un uso más intensivo de programas de cómputo que simulan la respuesta del pavimento a diferentes aplicaciones de carga y clima, por ende se requiere una caracterización más avanzada de las propiedades de los materiales.

La segunda tendencia, en su mayoría, aplicada en Europa donde las secciones de diseño están predeterminadas en catálogos y el diseñador debe obtener los datos de ingreso requeridos en el método, en este caso los catálogos suelen ser elaborados aplicando diferentes metodologías.

La ingeniería de pavimentos representa retos importantes para el ingeniero ya que ahora está disponible una mayor variedad de materiales producidos industrialmente como los modificadores y estabilizadores, cada vez existe una menor cantidad de materiales de cantera disponibles, el tráfico se ha incrementado sustancialmente en los últimos años, y hay una mayor presión por obtener diseños económicos y efectivos. Pero por otra parte, los ensayos de laboratorio han evolucionado posibilitando simulaciones más realistas, las herramientas de simulación son más potentes y los modelos de comportamiento más elaborados.

Finalmente cabe destacar que hasta hace algunos años casi la totalidad de los trabajos de diseño eran demandados por alguna instancia del estado tales como ministerios, municipalidades y gobiernos regionales, sin embargo, a partir de las concesiones viales y los contratos de rehabilitación y mantenimiento, empresas privadas requieren el diseño de pavimentos. Estos diseños más allá de cumplir con los requisitos exigidos de los métodos de diseño deben ser evaluados en el contexto del cumplimiento de los contratos de concesión o mantenimiento.

## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

La infraestructura vial es un bien de capital muy importante y de alto costo de construcción para el país. La existencia de las actuales carreteras ha significado un esfuerzo permanente no sólo económico en recursos monetarios invertidos, sino también en esfuerzos personales de millones de pobladores desde épocas remotas, que necesitaban integrarse entre ellos.

Por ello lo logrado hasta los tiempos actuales constituye un recurso operativo y estratégico que es imprescindible para integrar y promover el desarrollo social económico de los pueblos del país garantizando un buen nivel de accesibilidad.

Motivo por el cual, el Consorcio Vial Acobamba tiene como finalidad mejorar y asegurar una adecuada transitabilidad de la carretera Tramo V Acobamba – Puente Alcomachay en Huancavelica, mediante la conservación vial por niveles de servicio. Este Tramo presenta una vía de base afirmada con anchos de calzadas variables y topografía accidentada, requiriendo de una propuesta técnica económica e innovadora que garantice resultados óptimos en su diseño y conservación.

### **1.2 Formulación de Problema**

#### **1.2.1. Problema principal**

¿Cuáles son las diferentes técnicas de diseño de pavimentos básicos para un efecto económico e innovador para la conservación vial del Tramo V de la carretera Acobamba - Puente Alcomachay?

#### **1.2.2. Problemas secundarios**

- ¿Qué criterios geotécnicos determinan las características del suelo y los espesores para diseñar pavimentos básicos del tramo a evaluar?

- ¿Qué cantidad de cemento a adicionar al suelo reciclado mejora la resistencia en el pavimento básico del tramo a evaluar?
- ¿De qué manera se desarrolla el número estructural propuesto para efectuar el diseño de pavimento básico en la conservación vial?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo principal**

Analizar las diferentes técnicas de diseño de pavimentos básicos para un efecto económico innovador para la conservación vial del tramo V de la carretera Acobamba - Puente Alcomachay.

#### **1.3.2 Objetivos secundarios**

- Establecer los criterios geotécnicos para determinar las características del suelo y los espesores para diseñar el pavimento básico del tramo a evaluar.
- Determinar la cantidad de cemento a adicionar en el suelo reciclado para mejorar la resistencia en el pavimento básico del tramo a evaluar.
- Determinar el número estructural propuesto para efectuar el diseño de pavimento básico en la conservación vial.

### **1.4 Justificación de la investigación**

En el tramo V de la carretera Acobamba - Puente Alcomachay, se realizara un pavimento básico mediante los estándares de conservación vial por niveles de servicio y presentara como grandes beneficios los siguientes aspectos:

- Disminución de contaminación de los niveles de polvo en suspensión.
- Eliminación de factores problemáticos de transitabilidad, como un mal drenaje.
- Reducción de accidentes tanto de personas como animales en la carretera.
- Mejoramiento del tráfico vehicular.
- Mejorar las condiciones de vivencia.

- Mejorar la servicialidad a la población.
- Disminuir debilidades de la Red Vial Nacional

### **1.5 Limitaciones de la investigación**

Las conservaciones viales por niveles de servicio presentan términos de referencia emitidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones que tienen por finalidad, describir el objeto y alcances del proyecto.

El Contratista que se seleccione con base a los presentes Términos queda limitado a cumplir con las prestaciones previstas así como el presupuesto de oferta aprobado y desarrollar las actividades de Gestión Vial, necesarias con la finalidad de alcanzar y mantener los resultados, estándares o niveles de servicio establecidos durante su vigencia, los que se integrarán al Contrato correspondiente en forma automática.

Esto atribuye a que las limitaciones o parámetros a regirnos para realizar nuestro diseño de pavimento tienen que ir de acorde con dichos estándares implementando innovaciones tecnológicas como valor agregado sin alterar el presupuesto.

### **1.6 Viabilidad de la investigación**

Se determinará el diseño óptimo del pavimento con la finalidad de obtener un buen producto lo cual minimizará costos en la ejecución, operación y mantenimiento de la carretera.

Se cuenta con los diferentes recursos para el desarrollo de la presente investigación:

- Recolección de información
- Viajes a la zona para la extracción de muestras y toma de datos.
- Trabajos en laboratorio e interpretación de datos.
- Evaluación y comparación de técnicas de diseño del pavimento.
- Conclusiones y recomendaciones.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes de la investigación**

#### **2.1.1 En el ámbito internacional**

**Cea Carranza (2009). “Guía de diseño estructural, construcción y mantenimiento en caminos de baja intensidad de tránsito usando tratamientos superficiales asfálticos”- El Salvador.**

En el presente trabajo de investigación se presentan dos alternativas de diseño para la determinación de espesores de las diferentes vías de baja intensidad.

Se hace referencia a los métodos de AASHTO 93 y NAASRA (antes AUSTROADS), métodos que para la presente guía son utilizados en caminos no pavimentados y dichos espesores del paquete estructural pueden ser mejorados con adición de cal o cemento, recomendando que durante las épocas de lluvia el paquete estructural sea impermeabilizado con tratamientos superficiales consiguiendo así una alternativa funcional y económica.

Además se indica los diferentes tipos de tratamientos superficiales a emplazar y un análisis de costos para las partidas que se desarrollan en la construcción y mantenimiento de los caminos de baja intensidad para este País.

#### **2.1.2 En el ámbito nacional**

**PROVÍAS NACIONAL (2011). “Costos y presupuestos en carreteras de bajo volumen de tránsito con contratos de conservación vial por niveles de servicio”, Emp. 3N – Chiquian – Aquia – Emp. 3N (42 Km) – Huaraz.**

En la presente se describen los contratos de conservación vial por niveles de servicio, procedimientos y técnicas que se da a las vías de bajo volumen de tránsito. Las soluciones básicas que se dan a estas vías son factibles ya que se utilizan materiales y personal de la zona logrando un pavimento de buena serviciabilidad y comportamiento antes las sollicitaciones de carga y ambientales. Económicamente disminuye los gastos de operación y costos de conservación, estos resultan menores, respecto a una carretera afirmada o pavimentada, lo cual justifica la inversión en este tipo de intervención.

## **Antecedentes del estado del conocimiento y experiencia internacional en el diseño de pavimentos**

Desde los primeros diseños de estructuras de pavimentos para carreteras los ingenieros han empleado métodos analíticos y mecanísticos para el diseño y la evaluación de los pavimentos. Desde entonces se han producido numerosas contribuciones realizados por investigadores y académicos en diversos países.

Tal es el caso del profesor de la Universidad de Columbia Donald Burmister, quién en 1943 desarrolló una solución para calcular esfuerzos y deformaciones en una estructura de dos capas y luego en 1945 desarrolló la solución para resolver sistemas estructurales de tres capas, que anteriormente se resolvían por las ecuaciones de Valentín Boussinesq. Los ensayos demostraron que para muchas estructuras de pavimento las ecuaciones de Boussinesq producían resultados de esfuerzos y deformaciones mayores que los medidos en el laboratorio.

Los métodos mecanísticos de diseño de estructuras de pavimentos se basan en el supuesto que un pavimento puede ser modelado como una estructura multicapa elástica o viscoelástica sobre una cimentación elástica o viscoelástica. Con esta premisa es posible calcular las tensiones y deformaciones producidas por las cargas de tráfico y por los efectos del clima.

Sin embargo, los investigadores y académicos concuerdan que el comportamiento de los pavimentos está influenciado por varios factores que no permiten una modelación por métodos mecanísticos puros que produzca resultados suficientemente exactos y precisos para la predicción de su desempeño a lo largo de su ciclo de vida.

La fabricación masiva de automóviles y camiones que se inicia en Francia, Alemania y los Estados Unidos de Norteamérica a principio del siglo XX, y el crecimiento acelerado de la demanda de transporte en este tipo de vehículos tanto para fines civiles como militares hizo evidente la necesidad de mejorar continuamente la técnica del diseño de carreteras.

Como consecuencia de la Ley de Ayuda Federal para Carreteras de Junio de 1956, en los Estados Unidos de Norteamérica se produjo un gran plan de desarrollo del sistema de carreteras de esa nación, parte de este plan fue un ambicioso programa de investigación científica con ensayos a escala real, orientado a desarrollar una metodología empírica que permita diseñar estructuras de pavimentos que tengan un comportamiento previsible y confiable durante todo su ciclo de vida.

El programa fue exitoso: en 1961 la Asociación Americana de Carreteras publicó la Guía Preliminar para el Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles (“AASHO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavements”) y en 1972 la Asociación publica una Segunda versión de ésta Guía Preliminar. En 1986 con la publicación de una nueva versión la Guía deja de tener el carácter provisional; luego en 1993 después de la realización de investigaciones y ensayos adicionales AASHTO publica la última versión de ésta Guía.

En los Estados Unidos actualmente la mayor parte de los Estados utilizan oficialmente las guías de Diseño de Pavimentos de AASHTO, publicadas en 1972, 1986 o 1993; con estas metodologías se han diseñado con éxito, las estructuras de pavimentos para varios millones de kilómetros de carreteras en el mundo. La metodología de diseño implantada en 1972 con la publicación por AASHTO de la Guía de Diseño para Pavimentos Flexibles, es de carácter empírico y no incorpora procedimientos mecanísticos.

La Guía de Diseño de 1993 indirectamente usa procedimientos mecanísticos para evaluar el deterioro debido al clima y establecer coeficientes para drenaje y transferencia de cargas. Asimismo, el empleo del Módulo de Resiliencia para caracterizar las propiedades de los materiales introduce el concepto de caracterización por un módulo cuasi-elástico.

Entre los años 1976 y 1981 con el patrocinio del Gobierno de Brasil, del Banco Mundial y el de las Naciones Unidas, la Oficina de Planificación del Transporte de Brasil (GEIPOT) con un equipo de expertos internacionales de la Fundación

de Investigación y Desarrollo de Texas (TRDF) realizó un amplio programa de investigación de las interrelaciones de los costos de construcción, conservación y operación de carreteras que proporcionó una valiosa Base de Datos para el posterior desarrollo por el Banco Mundial de los Modelos de Deterioro de Pavimento y de los otros Modelos del HDM-III (Highway Design and Maintenance Standard Model).

El enfoque adoptado en el estudio para desarrollar los Modelos de Deterioro del HDM-III es un ejemplo de método empírico mejorado con principios mecanísticos. El estudio aprovecha cuantiosa información de campo proveniente de carreteras en servicio, y emplea avanzadas técnicas estadísticas para diseñar modelos estructurados en principios mecanísticos. Este enfoque difiere al propuesto por Rauhut, Lytton y Darter (1984) que se centra en un modelo mecanístico calibrado empíricamente con datos de campo para evaluar el deterioro producido por las cargas de tráfico en las principales carreteras de los Estados Unidos.

El HDM III como herramienta de diseño predice el desempeño durante todo el ciclo de vida de una estructura de pavimento, sometida a las cargas de tráfico y a los efectos del clima, considerando el efecto de las intervenciones de conservación programadas. El HDM proporciona resultados numéricos cuantitativos de la regularidad de la superficie del pavimento (IRI), del fisuramiento y de los ahuellamientos. El éxito del HDM-III como herramienta de diseño y gestión de pavimentos es innegable, tiene alcance mundial y se usa regularmente al menos en 98 países muchos de los cuales están en etapa de desarrollo.

Entre los años 1993 y 1996 con el patrocinio del Banco de Desarrollo de Asia, el de la Oficina de Desarrollo en Ultramar del Reino Unido, el de la Oficina Nacional de Administración de Carreteras de Suecia y el del Banco Mundial se desarrolló el Estudio Internacional de Herramientas para el Desarrollo y Gestión de Carreteras.

Este estudio tuvo el propósito de producir herramientas mejoradas para el desarrollo de estrategias técnicas y económicas en el sector Caminero. El estudio culminó en 1996 con la versión preliminar del HDM-4 el mismo que incluía la actualización y extensión de las relaciones de los modelos de deterioro y efectos de la conservación de los pavimentos de acuerdo con el estado del conocimiento y la experiencia internacional.

En la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO de 1986 se reconoce abiertamente la conveniencia de avanzar hacia la adopción de procedimientos de diseño mecanísticos, que permitan predecir el desempeño de las estructuras de pavimento para periodos de diseño desde 1 año hasta 50 años o más, teniendo en consideración las variaciones en las cargas, los materiales, los dispositivos de diseño así como los efectos directos del clima. Una década después, en marzo de 1996 el comité de Pavimentos de AASHTO, en cooperación con NCHRP y FHWA, patrocinó un Taller de Diseño de Pavimentos en Irvine, California.

Entre los participantes se incluían a los más destacados Ingenieros de Pavimentos de los Estados Unidos a quienes se les encargó identificar los medios necesarios para disponer de Procedimientos de Diseño de Pavimentos Empírico mecanísticos y se puso en marcha el Proyecto NCHRP1-37A con la meta clave de desarrollar la Guía de Diseños de Estructuras de Pavimentos Nuevos y Rehabilitados 2002. La Guía de Diseño de Pavimentos Empírico-Macanístico (MEPDG) fue terminada en el año 2004 y distribuida al público para su revisión y evaluación.

Posteriormente se efectuó una revisión formal y AASHTO en julio del 2008 publicó la versión preliminar de la Guía de Diseño de Pavimentos Empírico Mecanístico. El método Empírico Mecanístico desarrollado en la Guía AASHTO 2008 representa un cambio substancial respecto a la metodología presentada en la Guía de 1993 actualmente vigente.

El método utiliza los principios teóricos de la mecánica racional para predecir el comportamiento (esfuerzos y deformaciones) de los elementos de la estructura de pavimentos, en respuesta a las acciones internas de las cargas del tráfico y del clima.

### **2.1.3 Descripción del proyecto**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional – PROVÍAS NACIONAL, tiene como función entre otras, la administración y mantenimiento de la carreteras de la Red Vial Nacional, función en razón de la cual ha convocado en Concurso Público CP N° 037-2012-MTC/20 para tercerizar los trabajos de mantenimiento, a través de un contrato de Conservación Vial por Niveles de Servicio.

PROVIAS NACIONAL, con la finalidad de mejorar y asegurar una adecuada transitabilidad de la Carretera de acuerdo a estándares base que permitan el tráfico continuo y seguro de vehículos de pasajeros y carga teniendo en cuenta el amparo de las normas, otorga al CONSORCIO VIAL ACOBAMBA (conformado por MOTA-ENGIL y COSAPI S.A.), el Contrato de Servicios N° 037-2012-MTC/20 denominado “PROYECTO DE GESTIÓN Y CONSERVACION VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR HUANCVELICA – LIRCAY – EMP. PE-3S (HUALLAPAMPA) Y EMP. PE-3S (LA MEJORADA) – ACOBAMBA – EMP. PE-3S (PUENTE ALCOMACHAY)”. Ver Figura 1.

Figura 1. Mapa del Perú-Huancavelica



Fuente: Imagen de Wikipedia

#### 2.1.4 Localización del proyecto

La carretera en estudio categorizada como vía de 3er orden, se localiza en los departamentos de Ayacucho y Huancavelica, integrando la Red Vial Nacional que interconecta centros poblados como: Huamanga, Julcamarca, Secclla, Lircay, Huancavelica, La Mejorada, Acobamba y Huanta. Se observa en la Figura 2.

Estos tramos hacen parte de la ruta PE-26B y PE-3SM, distribuidos de la siguiente manera: la ruta PE-26B que comprende los tramos desde el Empalme PE3S (Huallapampa) hasta la ciudad de Huancavelica y la ruta PE-3SM empieza del Empalme 3S (La Mejorada) hasta el Empalme 3S (Puente Alcomachay).

Figura 2. Mapa de Huancavelica



Fuente: Google Maps.

Condiciones generales

Los tramos del proyecto vial transcurren sobre vía en afirmado con anchos de calzadas variables. En la Tabla 1, se presentan todos los tramos del proyecto, con las progresivas de inicio y fin y sus longitudes. En el presente informe se presenta el inventario vial calificado de la Situación Inicial de las rutas PE26B y PE3SM.

Tabla 1. Sector vial objeto de los servicios

TRAMOS	PR INICIO (Km)	PR FIN (Km)	LONGIT UD (km)
<b>TRAMO I:</b> EMP. PE-3S (HUALLAPAMPA) – JULCAMARCA – SECCLLA (PE - 26 B)	00+000	55+163	55.16
<b>TRAMO II:</b> SECCLLA – LIRCAY (PE - 26 B)	55+163	114+309	59.14
<b>TRAMO III:</b> LIRCAY – HUANCVELICA (PE - 26 B)	114+309	189+489	75.18
<b>TRAMO IV:</b> EMP. PE 3S (LA MEJORADA) – ACOBAMBA (PE – 3SM)	00+000	92+135	92.13
<b>TRAMO V:</b> ACOBAMBA – EMP. PE 3S (PUENTE ALCOMACHAY) (PE- 3SM)	92+135	156+343	64.20

Fuente : Programa de Gestion Vial- CVA

### 2.1.5 Ubicación

El Tramo V: ACOBAMBA – PTE. ALCOMACHAY, cuya longitud es de 64.20 km., se encuentra en la provincia de Acobamba, departamento de Huancavelica. Se observa en la Figura 3.

Esta carretera es una vía importante de unión para la región con el departamento de Ayacucho, Provincia de Huanta.

El departamento de Huancavelica se encuentra situado en la parte central del País, en plena región andina, entre los paralelos  $11^{\circ} 59'10''$  y  $14^{\circ} 07'43''$  de latitud sur y los meridianos  $74^{\circ} 16'15''$  y  $75^{\circ} 48' 55''$  de longitud Oeste limita, por el norte con el departamento de Junín, por el sur con el departamento de Ica, por el este con el departamento de Ayacucho y por el oeste, con los departamentos de Lima, Ica y Junín.

Figura 3. Tramo V, Acobamba – Puente Alcomachay  
km 92+135 al km 156+343



Fuente: Google Earth

### 2.1.6 Clima y Altitud

El clima de Huancavelica fluctúa entre ambientes templados y fríos, variando a extremo frío en la puna. Sus cuatro regiones naturales (quechua, suni, puna y janca), sin embargo, permiten el desarrollo de variadas especies botánicas y la existencia de asentamientos humanos, si bien de poca o mediana densidad, habilitados para ciertas faenas agrícolas. Las diferencias de altitud, además, determinan variedad micro climática: en la vertiente occidental el clima varía de árido a subhúmedo a medida que la altura y las precipitaciones pluviales alcanzan 70mm cerca de la costa, en tanto pueden llegar a los 800mm en pisos ecológicos mayores a 4800 metros sobre el nivel del mar.

La ciudad capital Huancavelica, tiene una altitud de 3,676 msnm con una temperatura promedio anual máxima de 16°C, y la mínima de 2°C. La temporada seca comprende los meses de (Mayo - octubre), y la temporada húmeda lluviosa los meses de (Noviembre - Abril). El resumen de climas y altitudes se puede observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Altitud- Clima de Huancavelica

Ciudad	Provincia	Altitud / Clima
Huancavelica	Huancavelica	3676 msnm, clima frio seco
Lircay	Angaraes	3200 msnm, Clima Templado
Churcampa	Churcampa	3240 msnm con un clima templado
Pampas	Tayacaja	3250 msnm clima templado seco
<b>Acobamba</b>	<b>Acobamba</b>	<b>3423 msnm clima templado, moderado lluvioso.</b>
Castrovirreyna	Castrovirreyna	3968 msnm, clima frio seco
Huaytará	Huaytará	2726 msnm, clima templado

Fuente: Clima/Altitudes Wikipedia

### **2.1.7 Geografía**

- Ríos más importantes: Mantaro, Pampas, Huarpa, Huancavelica y Churcampa.
- Nevados: Huamanrazo (5.298 msnm), Jahuina (5.288 msnm) y Altar (5.268 msnm).
- Abras: Huayraccasa (a 5.000 msnm) en Huancavelica; Chonta (a 4.850 msnm) en Castrovirreyna; y, Pampamali (a 4.250 msnm) en Angaraes.
- Lagunas: Choclococha, Orcococha y Huarmicocha.

### **2.1.8 Geología**

Llamada también Abrupta Serranía Central, En la figura 4, indica que se encuentra conformada por los depósitos sedimentarios, Ígneos y volcánicos; donde el primer grupo de materiales sedimentarios, formados en épocas del Paleozoico Superior, se halla dispuesto en una franja en dirección noroeste - sureste y se caracteriza por ser muy fosilífero, actualmente muy erosionado y desgastado por el curso del tiempo.

La secuencia geológica nos confirma que los anteriores materiales continuaron con una trasgresión de ríos que a lo largo de los siguientes periodos (Triásico Superior al Jurásico Inferior y Medio), empezaron a formar depósitos calcáreos (calizas y calizas dolomíticas con intercalaciones de lutitas fosilíferas).

Actualmente, estos depósitos se encuentran en las inmediaciones de la capital de la provincia de Huamanga, del distrito de San Padre de Cachis, y Marcas, donde ocurrieron fuertes fallas y plegamientos; acompañados por depósitos sedimentarás formados en los periodos siguientes (Cretácico Medio Superior y el Terciaria Superior), cuyos materiales se hallan representados por depósitos lacustres y acompañados de material volcánico.

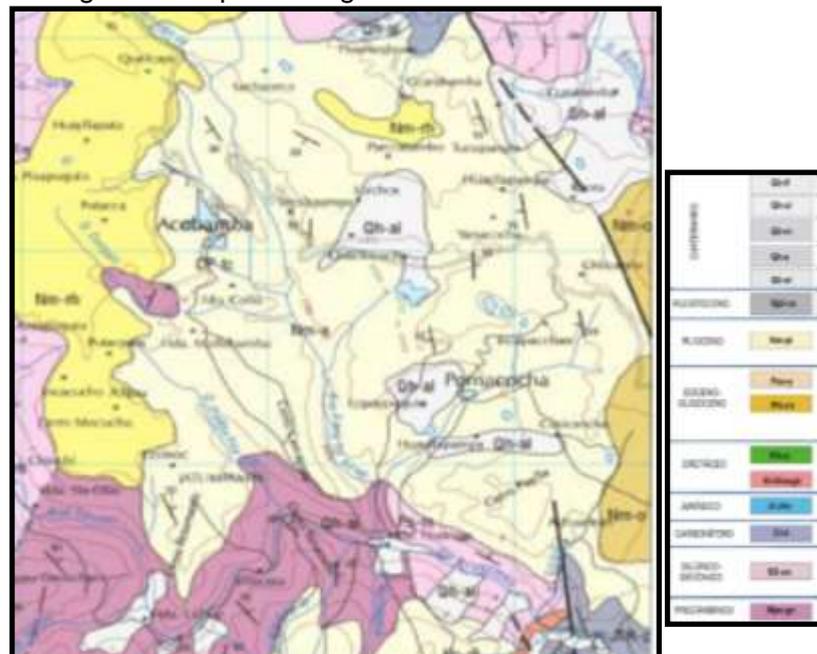
Los materiales ígneos, se encuentran representados por dos cuerpos filonianos de granito, que afloraron en el lapso que va del Cretácico Superior al Terciario

Inferior, donde sucedieron fuertes compresiones y fracturamientos del material sedimentario.

Los depósitos volcánicos acumulados a lo largo de los períodos Terciario y Cuaternario, son los más extendidos y cubren gran parte de la abrupta serranía central, cuyo origen se remonta a la irrupción y subsecuente formación de conos volcánicos del extremo sur de la Cordillera Occidental de los Andes, con profundidades variables, encontrándose en los cerros que enmarcan a las localidades de Marcas, Iáramate, Atacocha y al resto de valles que estructuran la cuenca del Cachi y Mantaro así como en las partes altas del mismo.

En consecuencia, estas diferencias geológicas han permitido el establecimiento de asentamientos humanos en los valles interandinos y pequeñas áreas de terreno cultivable en los márgenes de los ríos, así como terrazas o planicies alto andinas cubiertas de paso natural, en otros casos, han constituido terrenos muy escarpados con fuertes pendientes, cubiertas de vegetación xerofítica, que actualmente constituyen los terrenos de protección.

Figura 4. Mapa Geológico de Huancavelica



Fuente: Calameo -Mapas Geológicos

### **2.1.9 Geomorfología**

El departamento de Ayacucho y Huancavelica, localizado en el centro y sur de los andes peruanos, es atravesado hacia el norte por las estribaciones caprichosas de la cordillera de razuilca y hacia el centro sur, por la cordillera de los andes del Perú.

La geomorfología del sub espacio sur que se extiende desde las cadenas montañosas del centro sur de Ayacucho hacia los límites de este con Huancavelica, Ica; es por estas zonas geomorfológicas que atraviesa la carretera correspondiente al Tramo I, Tramo II, Tramo III, Tramo IV, Tramo V, Huancavelica es una ciudad de la parte central del Perú, situada en la vertiente oriental de la cordillera de los andes, a orillas del río Ichu, afluente del Mantaro, donde se aprecia una compleja geografía conformada por altas punas, vertientes muy pronunciadas y valles interandinos irrigados por ríos que alimentan tanto al cachi como el Mantaro.

### **2.1.10 Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra**

Las cuencas en estudio por su ubicación geográfica, en ambos sectores Lircay, Acobamba, presentan una cobertura vegetal característica, así en los valles presentan una cobertura combinada entre los terrenos áridos y tierras agrícolas sostenidas por el riego artificial en algunos casos. En la parte media de la cuenca, donde la lluvia comienza a ser importante, se mantiene una agricultura de secano con cultivos propios de la zona como: maíz, papa, habas, etc.; en la parte alta de las cuencas la cobertura se caracteriza por la presencia de bofedales, pastos y lagunas.

#### **2.1.10.1 Descripción de los tipos de Cobertura**

En el presente cuadro 2. Se desarrolla detalladamente los tipos de cobertura encontrado en nuestra influencia de trabajo.

Cuadro 2. Tipos de cobertura vegetal

N	TIPOS DE COBERTURA	TRAMOS DE INFLUENCIA	LOCALIDADES	KM
1	Áreas con vegetación escasa y afloramiento rocoso	Tramo V	Laramate , Pte Alcomachay	Km 10+000 al
				Km 27+000 y
				Km 130+000 al fin del tramo
2	Matorral seco	Tramo V	Localidades adyacentes al rio Sicra, Huayllay chico, áreas colindantes con el Pte. Alcomachay bajada de la localidad de marcas.	Km 109+000 al
				Km 111+500 y
				Km 140+000 al
				Km 150+000
3	Matorrales/cultivos agropecuarios	Tramo V	Lagunillas, compañía, el paraíso, Santiago de pischa, laramate, cahua, julcamarca, seclla, buena vista, atuna, pongos, pampa, chacra y paucara, puca cruz, santa rosa, acobamba, choclococha, paloma, cjas, marcas.	A lo largo de los 343 Km del proyecto
4	Bosques naturales	Tramo V	Laramate, Julcamarca, La mejorada, choclococha	Km 26+100 al km 36+000, km 45+000 al km 49+000 y km 111+000 al km 115+000
5	Cultivos agrícolas tierras/tierras con agricultura	Tramo V	Lagunillas, compañía, el paraíso, Santiago de pischa, laramate, cahua, julcamarca, seclla, buena vista, atuna, pongos, pampa chacra y paucara, puca cruz, santa rosa, acobamba, choclococha, paloma, cjas, marcas.	A lo largo de los 343 km del proyecto

Fuente: Programa de Gestión Vial- CVA

### **2.1.10.2 Descripción de los Tipos de Uso de tierra**

Son Tierras que reúnen condiciones ecológicas que permiten la remoción periódica y continuada del suelo para el sembrío de plantas herbáceas y semi-arbustivas de corto periodo vegetativo, bajo técnicas económicamente accesible a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva del suelo, ni alteración del régimen hidrológico de la cuenca.

Estas tierras, por su alta calidad agrológica, podrán dedicarse a otros fines (cultivos permanentes, pastoreo, producción, forestal y protección), cuando en esta forma se obtenga un rendimiento económico superior al que se obtendría de su utilización con fines de cultivo en limpio.

### **2.1.11 Flora**

Este tipo de formación vegetal especies de plantas xerofitas. La mayoría de ellas pertenecientes a la familia Cactaceae (incluyendo a *Browningia hertlingiana* y *Opuntia* spp.) y algunas especies a la familia Asteraceae.

El cactus es la única especie exclusiva para este tipo de formación vegetal. Esta es una formación vegetal típicamente xerófita, compuesta por plantas adaptadas a las condiciones de aridez.

La vegetación se presenta dispersa, presentando una cobertura vegetal de aproximadamente 20%.

Las formas de crecimiento dominantes son los "cactus columnares" que alcanzan hasta 8 m de altura y los arbustos xerófitos de hasta 0.8 m de altura. Esta comunidad está claramente dominada por los grandes cactus columnares del género *Browningia*.

Esta es una formación vegetal compuesta por plantas adaptadas a condiciones de aridez, donde destaca la presencia de arbustos espinosos, principalmente la "ojechkaquichcá" (*Colletiaspinosissima*) de la familia Rhamnaceae, con vanos individuos afectados por el arbusto semiparásito *Ligaría cuneifolia*.

(Loranthaceae) y especies del género Berberís; el estrato herbáceo está conformado por plantas estacionales. Presentamos en la Figura 5 una imagen de este recurso del tramo a estudiar.

Figura 5. Flora en zona de estudio



Fuente: Elaboración Propia

### **2.1.12 Fauna Silvestre**

En el área de influencia del proyecto Tramo I al Tramo V, en cuanto a la fauna se debe reconocer que muchas especies tienen importancia económica, directamente: como alimento e indirectamente por el valor de uso e inclusive por su valor ecológico y científico.

El estudio de la fauna en la zona del Proyecto comprende la evaluación de las comunidades biológicas así como el Inventario de la fauna de vertebrados en la zona, basada principalmente en la observación directa en campo, encuesta a los pobladores locales, revisión bibliográfica y la descripción de la abundancia relativa y del estado de conservación de vertebrados.

En el área de emplazamiento del proyecto y su entorno próximo, durante la evaluación de campo, no se observó algunas especies mayores de fauna silvestre, dado que el hábitat ya está intervenido y es adverso para su ocupación; estas áreas son alteradas con presencia de áreas de cultivos,

trochas, caminos, y sobre todo la carencia de importante cobertura vegetal dadas las características climáticas y edáficas del área.

El grupo que reporto mayor número de especies fueron las aves, las especies registradas directa e indirectamente en los puntos de observación se detallan en el cuadro 3 la siguiente lista:

Cuadro 3. Fauna registrada en las zonas de proyecto y valle en general

<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
<b>Reptiles Y Anfibios</b>	
Microlophosaurus	Lagartija
Bufo limensis	Sapo
<b>Aves</b>	
Sporophila simplex	Semillero simple
Diveswarszewiczi	Chivillo
Anairetes reguloides	Torito
Psilopsiagonaurifrons	Perico cordillerano
Falco sparverius	Cernícalo
Anascyanoptera	Pato colorado
Chloroceryle americana	Martin pescador
Rhodopisvesper	Colibrí del oasis
Mimus longicaudatus	Chaucato
Xenospingus concolor	Fringilo apizarrado
Glaucidium peruanum	Paca paca
Colaptes auratus	Pájaro carpintero peruano
Myiophobus fasciatus	Mosquerito de pecho rayado
Thaumasturacora	Picaflor
Bubo virginianus	Búho-tuco
Parabuteo unicinctus	Gavilán acaneado
Chordeiles acutipennis	Chotacabras trinador
Petrochelidon rufocollaris	Golondrina cuellistaño
Asthenes sp.	Ganastero de los cactus
Hirundo rustica	Golondrina tijereta
Tyrannus melancholicus	Pepite
<b>MAMIFEROS</b>	
Pseudalopex culpaeus	Zorro andino

<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
Leopardus pajeros	Gato de las pampas
Vicugnavicugna	Vicuñas
Odocoileusvirginianus	Venado

Fuente: Elaboración del consorcio vial Acombaba

### **Animales Domésticos**

En Cuadro 4. Se registran también otras especies que estuvieron presentes en las estaciones de evaluación o que ese observación durante el recorrido de la zona de trabajo.

Estas corresponden a fauna doméstica: vacunos, y ovejas, se encuentran pastando en los pastizales aledaños a los cuerpos de agua del área de influencia del estudio. Así también en tos poblados cercanos se observan aves de corral y animales para transporte de carga como el caballo.

Cuadro 4. Fauna doméstica registrada en las zonas de proyecto y alrededores

<b>NOMBRECIENTIFICO</b>	<b>NOMBRECOMUN</b>
Sus scrofa	Cerdo
Ovisaries	Oveja
Bos Taurus	Toro/vaca
Equuscaballus	Caballo
Equusasinus	Asno
Capraaegagrus	Cabras
Lama guanicoe	Camélidos
Gallusgallusdomesticus	Gallinas

Fuente: Elaboración del consorcio vial Acobamba

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Definiciones conceptuales Fundamentales**

#### **2.2.1.1 Ingeniería Geotécnica**

La Ingeniería geotécnica es la rama de la Ingeniería civil que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra, aplicadas a las obras de Ingeniería Civil. Los ingenieros geotécnicos investigan el suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como edificios, puentes, centrales hidroeléctricas, estabilizar taludes, construir túneles y carreteras.

#### **2.2.1.2 Transporte**

El transporte es una actividad del sector terciario, entendida como el desplazamiento de objetos o personas de un lugar (punto de origen) a otro (punto de destino) en un vehículo (medio o sistema de transporte) que utiliza una determinada infraestructura (red de transporte). Esta ha sido una de las actividades terciarias que mayor expansión ha experimentado a lo largo de los últimos dos siglos, debido a la industrialización; al aumento del comercio y de los desplazamientos humanos tanto a escala nacional como internacional; y los avances técnicos que se han producido y que han repercutido en una mayor rapidez, capacidad, seguridad y menor coste de los transportes.

#### **2.2.1.3 Vías de comunicación**

Una vía es una infraestructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. En el Perú para el desarrollo de una vía de comunicación, la primera condición que presenta es su difícil, variada y accidentada geografía.

## **Clasificación de las Vías de comunicación**

Las vías de comunicación se clasifican en:

### **Vía de comunicación terrestre**

Las vías de comunicación terrestre corresponden a caminos, carreteras, autopistas, vías del tren e incluso las calles y los puentes. Sobre ellas pueden circular bicicletas, motocicletas, moto taxis, automóviles, camionetas, autobuses, camiones de carga y trenes.

### **Vía de comunicación aérea**

Las vías de comunicación aéreas son las rutas donde los aviones, helicópteros y avionetas son los responsables de que una persona o mercancía lleguen rápido a su destino. Estas son usadas para transportar mercancías o personas que necesitan llegar con mayor rapidez a su destino, aunque tienen el inconveniente de tener un mayor costo que las otras vías.

### **Vía de comunicación acuática**

Las vías acuáticas o marítimas son mares, ríos, lagos lagunas así como los puertos. El transporte acuático como barcos y buques es una importante vía de comercio, ya que es más barato transportar mercancía por medio de mar o ríos que por un avión o camión.

#### **2.2.1.4 Situación y evaluación de la red vial nacional**

La Red Vial Nacional (RVN) está conformada por tres ejes longitudinales y 20 ejes transversales, además de variantes y ramales, cumpliendo un rol de articulación de las carreteras Departamentales y Vecinales. Interconecta al país de norte a sur y de este a oeste (longitudinal y transversalmente), permitiendo la vinculación con países vecinos; también interconecta las capitales de departamentos, así como los principales centros de producción con los centros de consumo; sostiene regularmente el tránsito de larga distancia de personas y/o mercancías, facilitando el intercambio comercial interno y del comercio

exterior; articula los puertos y/o aeropuertos de nivel nacional o internacional, y las vías férreas, sirviendo de soporte del transporte multimodal. Según el Clasificador Vial vigente, a Diciembre del 2014, la RVN comprende 136 Rutas en 25,789 Km de carreteras existentes. De este total, el 68% (17,411 Km) esta pavimentado: 13,763 Km con carpeta asfáltica y 3,648 Km con pavimento económico). La RVN se ha incrementado en 10,097 Km, si se le compara con el año 1990, y en 8,932 km, con respecto al año 2005. Ver Cuadro 5 y Grafico N° 1.

El mayor incremento de la longitud pavimentada se registra a partir del 2008, lo cual es resultado del incremento de los presupuestos en inversión (construcción, mejoramiento y rehabilitación) y conservación de las carreteras nacionales. Ver Gráfico 1.

Cuadro 5. Evolución de la Red Vial Nacional por Tipo de Superficie de Rodadura.

AÑOS	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
PAVIMENTADO	5,740	6,477	8,523	8,731	8,911	11,178	11,370	11,500	12,445	13,640	14,748	15,906	17,411
NO PAVIMENTADO	9,952	10,042	8,530	8,126	8,946	12,660	12,532	13,000	11,151	9,680	9,846	9,100	8,377
TOTAL	15,692	16,519	17,053	16,857	17,857	23,838	23,903	24,500	23,596	23,319	24,593	25,005	25,789

Fuente: INEI- Compendios Estadísticos 2003, 2007, 2008,2009. IVB de la RVN, DGCF, 2010. Revista En Vía – Julio 2015

Gráfico 1. Evolución de la Red Vial Nacional



Fuente: MTC /DGCF, PVN, Revista *En Vía* – Julio 2015

En cuanto a la administración de la RVN, la modalidad de concesiones empieza el año 2003, con el tramo de Ancón a Pativilca (183 km). Luego, desde el 2005 el porcentaje de carreteras concesionadas crece gradualmente hasta un total de 2,369 km, de acuerdo a las políticas gubernamentales de promoción de la inversión privada y de las asociaciones públicos - privadas en la infraestructura vial. De esta manera, a diciembre del 2014, el 26 % de la RVN se encuentra Concesionada (6,695 Km). Ver Cuadro 6.

Cuadro 6. Evolución de la Red Vial Nacional por Tipo de Administración

CLASIFICADOR	DS-009-1995		034-2007		DS-044-2008		DS-036-2011			DS-012-2013					
AÑOS	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015P	2016P
NO CONCESIONADA	15.692	16.414	16.948	14.488	15.488	19.807	19.871	19.514	18.205	17.928	19.203	19.186	19.094	19.201	17.846
CONCESIONADA <sup>U</sup>		105	105	2.369	2.369	4.031	4.031	4.986	5.391	5.391	5.391	5.819	6.695	6.695	8.082
TOTAL	15.692	16.519	17.053	16.857	17.857	23.838	23.903	24.500	23.596	23.319	24.593	25.005	25.789	25.895	25.927

Fuente: PVN/OPEI, Revista *En Vía* – Julio 2015

Así, las intervenciones en la RVN muestran avances significativos en los últimos 10 años, orientadas a satisfacer las demandas de los usuarios, con calidad, eficiencia y oportunidad. Ver Cuadro 7.

Cuadro 7. Intervenciones en la RVN 2006 -2018P

INTERVENCIONES KILOMETROS	EJECUTADO													PLAN		PROGRAMADO	
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015P	2016P	2017P	2018P	2015P	2016P	2017P	2018P
RVN NO CONCESIONADA	10.399	10.695	11.124	12.352	13.584	14.282	16.407	16.704	19.174	18.838	19.235	19.292	19.363				
Rehabilitación, mejoramiento y construcción	290	310	349	455	354	422	350	496	419	376	593	688	772				
Mantenimiento vial <sup>U</sup>	10.109	10.466	10.875	11.897	13.230	13.860	16.057	16.208	18.755	18.557	18.640	18.604	18.591				
RVN CONCESIONADA	2.369	2.369	4.021	6.031	4.511	4.539	5.013	5.013	5.013	5.266	6.895	6.895	6.895				
Rehabilitación, mejoramiento y construcción	97	296	534	1.046	1.595	81	176	77	82	82	53	71	0				
Mantenimiento vial	2.272	2.073	3.487	2.985	2.916	4.457	4.838	4.937	4.931	6.213	6.824	6.824	6.895				
TOTAL INTERVENCIÓN EN LA RVN	12.767	13.064	15.145	18.384	18.095	18.820	21.420	21.717	24.187	24.104	26.130	26.187	26.258				
RVN Existente (Kilómetros)	17.857	21.838	23.503	24.500	23.584	23.319	24.593	25.005	25.789	25.895	25.927	25.986	26.058				
Cobertura %	71	55	63	67	77	81	87	87	96	97	100	100	100				
INTERVENCIONES ( MILLONES \$/ *)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015P	2016P	2017P	2018P				
RVN NO CONCESIONADA	765	1.159	1.039	1.470	2.626	3.487	3.367	4.152	4.415	4.073	5.455	6.439	7.280				
RVN CONCESIONADA	109	199	484	1.590	2.386	2.096	1.590	1.973	1.810	2.044	1.506	1.366	1.366				
TOTAL GASTO	874	1.358	1.523	3.060	5.012	5.583	4.956	6.124	6.224	6.068	6.961	8.006	8.646				
Dotación PIM (%)				82,8	98,7	99,8	98,8	99,5	99,8								

Fuente: SIAF. Compromiso del gasto al 2012 y PIM2014 (20140215), Revista En Vía – Julio 2015

Pero es necesario destacar que estos avances en las carreteras nacionales no sólo se expresan en el incremento de la RVN pavimentada, sino, principalmente, en la mejora de los Niveles de Servicio y de su Estado Funcional. Por ejemplo, en el año 2007, solo el 27% (6,320 Km) de la RVN se consideraba en la categoría de BUEN Estado Funcional, pero para el 2010, dicha categoría se logró aumentar al 34% (8,082 Km). Posteriormente, como resultado de las intervenciones hasta diciembre del 2014, la RVN en Estado Funcional BUENO ha logrado cubrir el 68% (11,319 Km) de una longitud total existente de 25,789 Km. Ver cuadro 8.

Cuadro 8. Evolución del Estado Funcional de la Red Vial Nacional

AÑOS	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
BUENO	1,883	5,224	7,535	5,856	6,008	6,320	6,521	8,281	8,082	11,072	13,948	14,858	17,639	19,547
REGULAR	6,905	7,549	4,328	4,198	4,612	4,240	5,243	6,911	8,490	6,433	5,584	5,358	3,655	2,461
MALO	6,904	3,746	5,190	6,803	7,237	13,279	12,139	9,308	7,023	5,814	5,061	4,790	4,495	3,887
TOTAL	15,692	16,519	17,053	16,857	17,857	23,838	23,903	24,500	23,596	23,319	24,593	25,005	25,789	25,895

Fuente: Revista En Vía – Julio 2015

La calidad en el servicio de transporte de personas y carga es el objetivo principal de las intervenciones que se hace con los recursos públicos en la red vial nacional, con el propósito de mejorar la integración y accesibilidad de la población a servicios básicos, mercados y oportunidades. Sus efectos benefician a los usuarios mediante la reducción de los tiempos de viaje, la

disminución de los precios de pasajes y fletes, y la mejora de la seguridad vial en las Carreteras nacionales. Ver cuadro 9.

Cuadro 9. Red Vial Nacional Pavimentada - No Pavimentada

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	2007	2014	2008-2014
Pavimentada	11.178	17.411	6.234
Asfaltado	11.178	13.763	2.585
Solución básica		3.648	3.648
No Pavimentada	12.660	8.377	
<b>RVN EXISTENTE</b>	<b>23.838</b>	<b>25.789</b>	<b>1.951</b>
<b>RVN TOTAL</b>		<b>27.550</b>	

Fuente: PVN/OPEI, Revista En Vía – Julio 2015

### 2.2.1.5 Componentes de la infraestructura del camino o vía.

#### a.-Explanación

Se denomina explanación, al movimiento de tierras, conformado por cortes y rellenos (terraplén), para obtener la plataforma de la carretera hasta el nivel de la subrasante del camino.

**Terraplén:** El terraplén es la parte de la explanación situada sobre el terreno preparado. También se conoce como relleno. La base y cuerpo del terraplén o relleno será conformado en capas de hasta 0.30m y compactadas al 90% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.

La corona es la parte superior del terraplén tendrá un espesor mínimo de 0.30m y será conformada en capas de 0.15m, compactadas al 95% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.

**Corte:** El corte es la parte de la explanación constituida por la excavación del terreno natural hasta alcanzar el nivel de la Subrasante del Camino.

El fondo de las zonas excavadas se prepararán mediante escarificación en una profundidad de 0.15m, conformando y nivelando de acuerdo con las pendientes

transversales especificadas en el diseño geométrico vial; y se compactará al 95% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.

En zonas de corte en roca, se deberá excavar como mínimo 0.15m por debajo del nivel superior de la subrasante, la superficie final del corte en roca deberá quedar allanada, limpia y encontrarse libre de cavidades, de puntas de roca, de excesos y libre de todo material deletéreo. Las zonas profundizadas deberán ser rellenadas, hasta el nivel superior de subrasante, con material de relleno seleccionado o de subbase granular, que tenga un CBR  $\geq$  40%.

### **b.-Subrasante del camino**

La Subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La sub rasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanado y la estructura del pavimento.

La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito.

Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima. En la etapa constructiva, los últimos 0.30m de suelo debajo del nivel superior de la subrasante, deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo proctor modificado (MTC EM 115).

Los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con  $\text{CBR} \geq 6\%$ .

En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un  $\text{CBR} < 6\%$  (subrasante pobre o subrasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual el Ingeniero Responsable analizará según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica.

### **c.- Afirmado**

El Afirmado consiste en una capa compactada de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas.

### **d.- Pavimento**

El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas:

Base, subbase y capa de rodadura.

- **Capa de Rodadura:** Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.
- **Base:** Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ( $\text{CBR} \geq 80\%$ ) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

- **Subbase:** Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta.

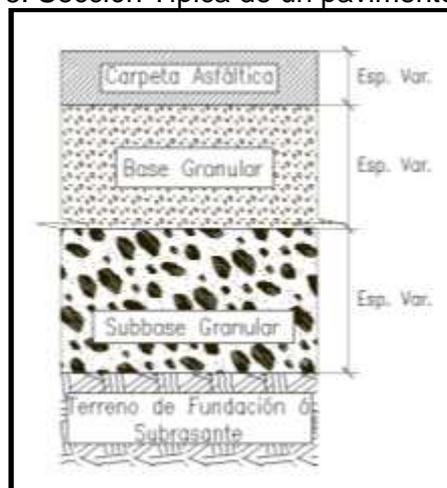
Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse.

Esta capa puede ser de material granular ( $\text{CBR} \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cal o cemento. Los tipos de pavimento incluidos en el Manual son los siguientes:

- Pavimentos Flexibles
- Pavimentos Semirrígidos
- Pavimentos Rígidos
- Pavimentos básicos

El pavimento flexible como se muestra en la figura 6. Es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

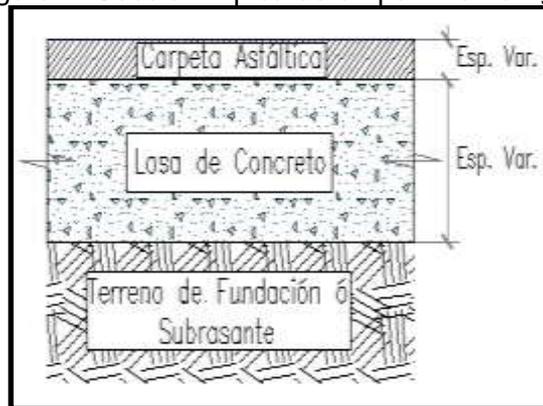
Figura 6. Sección Típica de un pavimento flexible



Fuente : ElaboracionPropia

El pavimento semirrígido que se presenta en la figura 7. Es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.

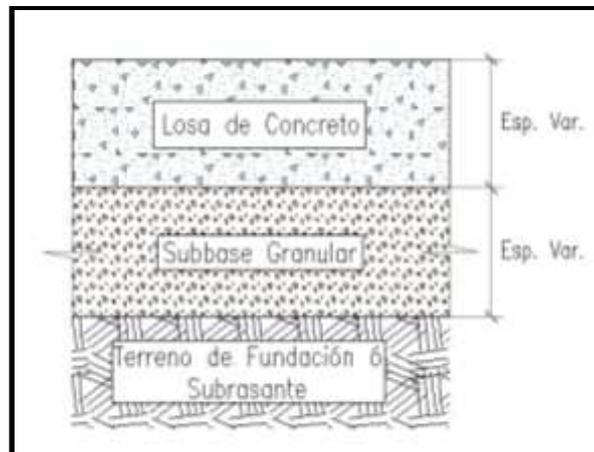
Figura 7. Sección Típica de un pavimento rígido



Fuente : Elaboracion Propia

El pavimento rígido que se presenta en la figura 8. Es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso con aditivos.

Figura 8. Sección Típica de un pavimento rígido



Fuente : Elaboracion Propia

Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

- Pavimento de concreto simple con juntas
- Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo.

#### **2.2.1.6 Pavimentos Básicos**

Los pavimentos básicos son utilizados en mayor porcentaje en los contratos de conservación vial debido a que son económicos y empleados en el bajo tránsito que solicita.

Estos pavimentos consisten en el mejoramiento del suelo mediante estabilizadores químicos u otros supresores de polvo con la finalidad de conservar la vía en toda su longitud.

Los estabilizadores a utilizar pueden ser: cloruro de sodio, calcio y magnesio, productos químicos, emulsión asfáltica o cemento, entre otros. De las cuales se seleccionará la más adecuada en función a parámetros técnicos, ambientales y sociales.

Algunos diseñadores colocan un recubrimiento mínimo al suelo estabilizado denominado por otros "micropavimento", con la finalidad de impermeabilizar y mejorar la rugosidad de la base estabilizada. Ver el perfil en la Figura 9.

Los pavimentos básicos típicamente están conformados por:

#### **Terreno de fundación**

El terreno de fundación es la parte del terreno natural que sirve de apoyo para el pavimento básico, puede ser natural o de material de préstamo, su función es soportar al pavimento en condiciones razonables de resistencia y deformación.

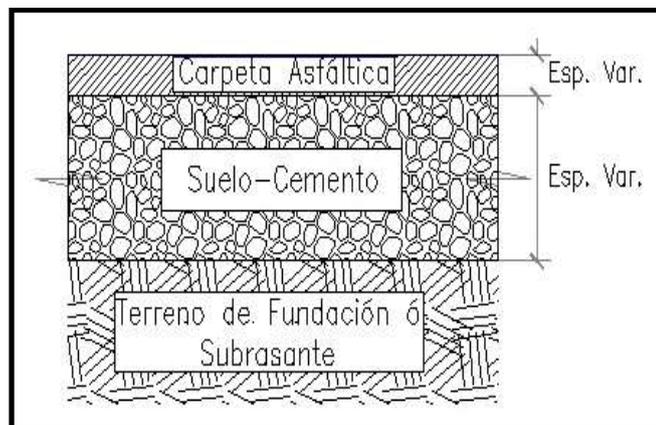
### Base estabilizada

Es la capa que conforma la estructura del pavimento por debajo de la capa de rodadura y que está constituida de una mezcla de material granular seleccionado de cantera o proveniente de la misma vía, que es estabilizada mediante la adición de sustancias o compuestos como la cal, sales, cemento, emulsiones asfálticas, entre otros, con el objetivo de mejorar las características físicas y químicas de los materiales granulares que garanticen resistencias suficientes para no sufrir deformaciones o desgastes inadmisibles por principales efectos de cargas y ambientales.

### Recubrimiento Superficial

Es la capa externa que conforma la estructura del pavimento que se coloca sobre la base estabilizada cuya función principal es la de proteger e impermeabilizar la estructura del pavimento evitando su deterioro y la filtración de agua.

Figura 9. Sección típica de un pavimento básico, suelo – cemento



Fuente : Elaboracion Propia

## **Pavimentos Básicos -Estabilizadores de suelos**

### **Suelos Estabilizados**

Estabilizar un suelo natural consiste en el mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas, tales como deformaciones por vehículos pesados o cambios en su volumen por la presencia de agua superficial o subsuperficial, entre otros, todo esto para obtener un buen comportamiento del nuevo paquete estructural durante su vida útil.

### **Suelos estabilizados con Cloruro de Sodio**

El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para bajo volumen de tránsito. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación.

La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo.

Los suelos que sean estabilizados con cloruro de sodio deben estar limpios y no tener más de tres por ciento de su peso, como materia orgánica.

El cloruro de sodio se produce mediante 3 métodos, el más antiguo consiste en el empleo del calor solar para producir la evaporación del agua salada, con lo que se obtienen los residuos de sal. Otro método consiste en la extracción directa de las minas de sal y tercer método consiste en la evaporación del agua de mar mediante el empleo de hornos.

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor del suelo estabilizado con cloruro de sodio. El espesor total del suelo estabilizado será como mínimo de 150 mm. Habitualmente la cantidad de este estabilizador está comprendida entre 50 y 80 kg/m<sup>3</sup> de suelo a estabilizar. El agua que se use para la construcción del suelo

estabilizado debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de aceites, ácidos y álcalis perjudiciales. En la tabla 2 presentamos los parámetros mínimos y máximos.

Tabla 2. Parámetros mínimos y máximos del Cloruro de Sodio

Características	Límites
Cloruro de sodio, %	98.00 – 99.70
Humedad, %	2.00 – 3.60
Materia insoluble, %	0.007 – 0.175
Ion calcio, %	0.035 – 0.910
Ion magnesio, %	0.002 – 0.074
Ion sulfato, %	0.125 – 0.355
Tamiz 4.75 mm ( N° 4 )	20 – 55%
Tamiz 1.18 mm (N° 16)	50 – 70%
% Pasa Tamiz 1.18 mm (N° 16)	13% max

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)

### Suelos estabilizados con Cloruro de Calcio

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, pero es preferible debido al efecto oxidante que tiene el cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación y contribuye con la resistencia del suelo, previene el desprendimiento de material que conforma una superficie y es un agente mitigante del polvo.

Las características del cloruro de calcio ayudan a mantener la humedad en la superficie del camino. Los suelos que se usen para la estabilización con cloruro de calcio deben estar limpios y no deben tener más del 3% de su peso de materia orgánica.

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-cloruro de calcio. El espesor del suelo estabilizado con cloruro de calcio será como mín. de 15 cm. Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión (Máquina de Los Ángeles) no mayor al 50%. En la siguiente Tabla 3. Los suelos a estabilizar deben tener la siguiente gradación.

Tabla 3. Gradación según el porcentaje que pasa.

Tamiz	Porcentaje que pasa
25.400 mm (1")	100
19.050 mm (3-/4")	70-100
9.525 mm (3/8")	50-100
4.750 mm (N.º 4)	40-55
2.000 mm (N.º 10)	35-70
0,425 mm (N.º 40)	20-45
75 µm (N.º 200)	10-30

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)

### Suelos estabilizados con cloruro de magnesio

El cloruro de magnesio (MgCl) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodadura más rígida.

Para el uso vial presenta las siguientes propiedades útiles:

- Posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.
- Ligante: Cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodadura.
- Resistente a la evaporación: Posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.

- El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de  $\frac{1}{3}$  del espesor del suelo estabilizado con cloruro de magnesio.
- El espesor del suelo estabilizado será como mínimo 15 cm.
- El contenido de cloruro de magnesio en la construcción del suelo estabilizado, generalmente varía entre 50 y 80 kg/m<sup>3</sup> de suelo seco a estabilizar. Ver figura 10.
- Los trabajos de compactación deberán ser terminados en un lapso no mayor de 2 horas desde el inicio de la mezcla.
- Concluido el proceso de compactación, se inicia un proceso natural de curado que por lo general dura de 7 a 15 días.

Figura 10. Estabilización con cloruro de magnesio.



Fuente: *Página web horcalsa.com*

## **Suelos estabilizados con productos químicos**

La estabilización de suelos con productos químicos se basa netamente en la aplicación de un producto químico, denominado estabilizador químico, el cual se aplica en los suelos realizando una mezcla homogénea y un adecuado curado de acuerdo a las especificaciones técnicas del producto.

La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, durante su vida útil.

El suelo por estabilizar con productos químicos, podrán ser de material de afirmado o provenir de la escarificación de la capa superficial existente.

Cualquiera que sea el material a emplear, deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración y fraguado del concreto.

Por ningún motivo se realizará el empleo de un producto químico cuya fecha de vencimiento se haya superado o cuya calidad no esté de acuerdo con los requisitos de utilización establecidos por su fabricante.

Se deberá verificar y garantizar que el producto por utilizar, no implica riesgos de contaminación, ni peligro para la salud de los seres vivos.

## **Suelos estabilizados con emulsión asfáltica**

El material asfáltico usualmente empleado son las emulsiones asfálticas.

La mezcla se hace con frecuencia in situ, y la elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas.

La estabilización con emulsión asfáltica tiene la finalidad de:

- En suelos no plásticos o arenosos, se trata de producir una acción ligante que unida a la fricción propia del suelo, evite deformaciones de la capa mejorada a consecuencia del flujo vehicular.
- En suelos cohesivos, se busca que el estabilizante junte las partículas que conforman el suelo y llene los vacíos, con el objetivo de impermeabilizar el

suelo y protegerlo contra la acción de agua. En el país, la estabilización de suelos arenosos es en la que existe mayor experiencia. Aunque prácticamente todos los suelos responden a la estabilización con asfalto, los mejores resultados se obtienen con las arenas y las gravas arenosas, materiales a los que el asfalto da cohesión e impermeabilidad.

### **Suelos estabilizados con cemento**

La estabilización de suelos con cemento se inicia desde 1917, cuando Joseph Hay Amies patentó un primer procedimiento de mejoramiento de suelos a base de mezclar las proporciones variables de cemento tipo Portland; desde entonces se ha popularizado la utilización del suelo-cemento, que es el nombre que se ha popularizado para referirse a la mezcla en mención.

La acción estabilizadora del cemento consta de varias etapas, la primera de las cuales es la acción de la naturaleza fibrosa del silicato de calcio que se forma cuando los granos del cemento entran en contacto con el agua. Debido a esta reacción se forman masas de fibras minúsculas que se traban fuertemente unas con otras y con otros cuerpos.

La solución formada por la mezcla cemento y agua reacciona con las partículas del suelo, reacción en la que los iones de calcio tienden a agrupar las partículas de suelo cargadas negativamente produciéndose su floculación por acción de la gravedad.

Por último, si se compacta la mezcla, se produce una reacción del calcio con la sílice y alúmina de tamaños coloidales produciéndose complejos compuestos de silicatos y aluminatos que aumentan lentamente la resistencia de la mezcla con el tiempo. A esta acción se la llama puzolánica.

La reacción favorable suelo-cemento se ve muy impedida o nulificada cuando el primero contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos poseen gran afección por los iones de calcio que liberan la reacción original del cemento y los

captan, dificultando la acción aglutinante del propio cemento en los suelos gruesos o la estabilización de las partículas laminares en las arcillas (Guthrie et al., 2002).

Por esta razón, las especificaciones de casi todos los países exigen que el contenido de materia orgánica en un suelo no sobrepase 1 a 2%, en peso, si ha de ser considerado apropiado para ser estabilizado con cemento.

Es también nociva la presencia de sulfates u otras materias ávidas de agua por cuanto privan al cemento de la humedad necesaria para el cumplimiento de sus funciones. Pero salvo estos dos inconvenientes, los demás suelos pueden tratarse con cemento para mejorar su comportamiento mecánico, siendo la principal limitación la dificultad que puede presentarse para obtener un buen mezclado con las arcillas, motivo por el cual, en este caso, algunos recomiendan añadir previamente al suelo una pequeña cantidad de cal que facilite su manejo y pulverización y permita la posterior incorporación del cemento sin dificultad.

La dosificación de cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según la siguiente Tabla 4.

Tabla 4. Dosificación de cemento por tipo de suelo

<b>Clasificación de Suelos AASHTO</b>	<b>Rango Usual de cemento requerido en % del peso del suelo</b>
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Fuente: MTC 2013 b

## **Características de los componentes**

De acuerdo a las especificaciones generales del MTC (MTC 2013a) los materiales deben cumplir con los siguientes requisitos generales:

### **a. Agregados**

Granulometría (Agregados): La granulometría del material a estabilizar puede corresponder a los siguientes tipos de suelos A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7. Además el tamaño máximo no podrá ser mayor de 5 cm (2") o 1/3 del espesor de la capa compactada.

Plasticidad: La fracción inferior del tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (N° 40 deberá presentar un Límite Líquido inferior a 40 y un índice Plástico menor de 18%, determinados según normas de ensayo MTC E 110 y MTC E 111.

Composición Química: La proporción de sulfates del suelo expresada como  $\text{SO}_4$  no podrá exceder de 0,2% en peso.

Abrasión: Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión (Máquina de Los Ángeles) MTC E 207 no mayor a 50%.

Solidez: Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales y el material se encuentra a una altitud > 3.000 m.s.n.m, los agregados gruesos no deben presentar pérdidas en sulfato de magnesio superiores al 18% y en materiales finos superiores al 15%.

### **b. Cemento**

El uso del cemento según la proporción mencionada en la Tabla 4.

### **c. Agua**

El agua deberá ser limpia y estará libre de materia álcalis > otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma NTP 339.073, deberá estar comprendido entre 5,5 y 8,0 y el contenido de sulfates, expresado como  $\text{SO}_4$  y

determinado según norma NTP 339.074, no podrá ser superior a 3.000 ppm, determinado según la norma NTP 339.072. En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación antes indicados.

### **Diseño de la mezcla**

La mezcla se debe diseñar mediante el método de la Portland Cement Association (PCA, 1992). Como parámetros de diseño se tomarán los ensayos de resistencia a compresión simple, y humedecimiento-secado (normas MTC E1103 y MTC E 1104).

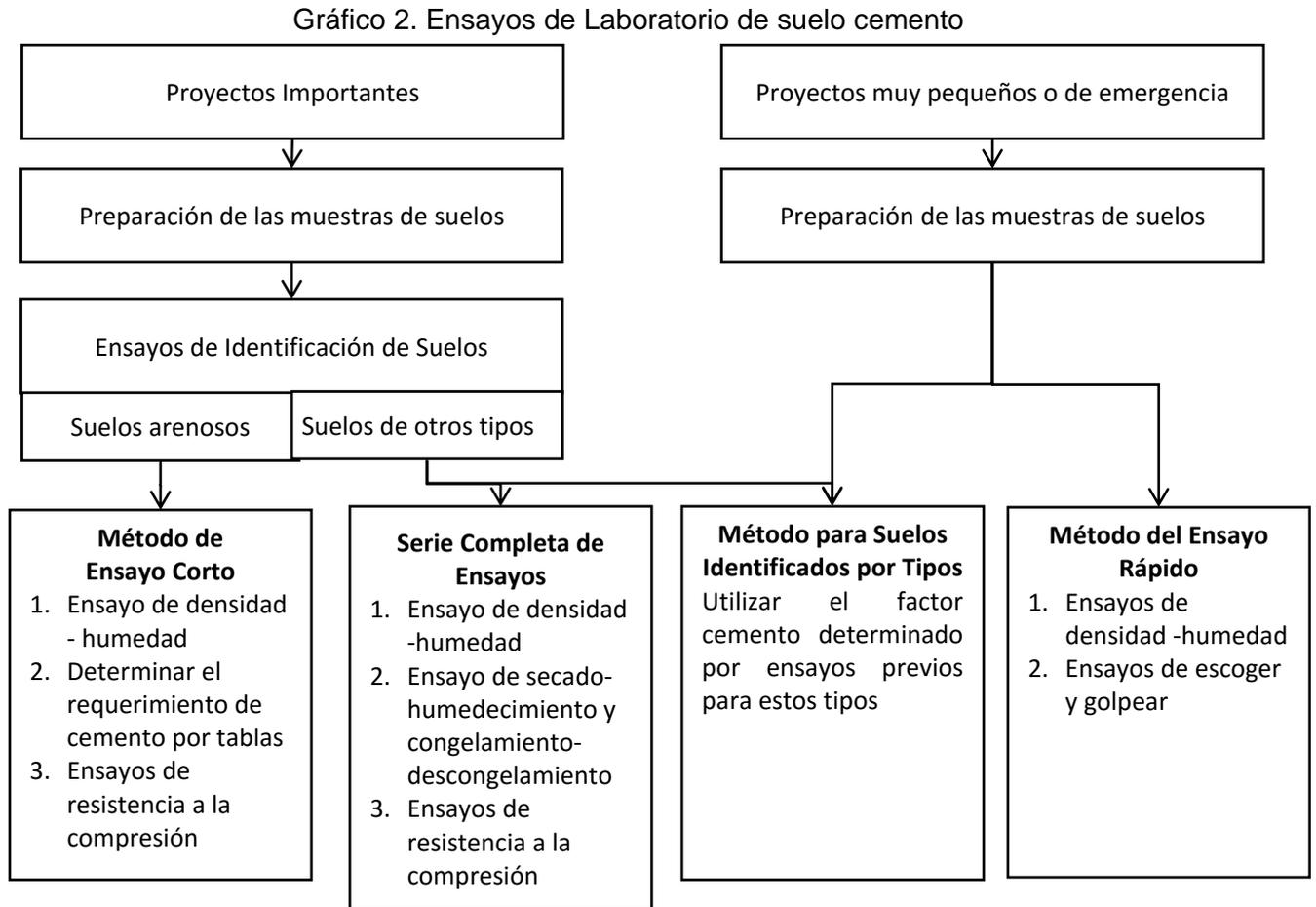
En el primero de ellos, se deberá garantizar una resistencia mínima de 1,8 MPa, luego de 7 días de curado húmedo, mientras que en el segundo, el contenido de cemento deberá ser tal, que la pérdida de peso de la mezcla compactada, al ser sometida al ensayo de durabilidad (humedecimiento-secado), no supere los siguientes límites de acuerdo con la clasificación que presente el suelo por estabilizar, mostramos en la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Pérdida máxima por tipo de suelo

Suelo por estabilizar	Pérdida Máxima (%)
A-1;A-2-4;A-2-5;A3	14
A-2-6; A-2-7; A-4; A5	10
A-6;A-7	7

Fuente: MTC 2013 a

En el siguiente Gráfico 2 se resume los métodos de ensayos de laboratorio de suelo cemento presentados por PCA.



Fuente: Ensayos de laboratorio para el diseño de mezclas suelo cemento (PCA, 1992)

### **2.2.1.7 Estudio de Suelos**

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aún con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

#### **Exploración de suelos y rocas**

Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse.

El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, asimismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía. Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares, como en los casos de:

- Cambio en la topografía de la zona en estudio.
- Por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular.

- Delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren pobres o inadecuados.
- Zonas que soportarán terraplenes o rellenos de altura mayor a 5.0m; - zonas donde la rasante se ubica muy próxima al terreno natural ( $h < 0.6$  m).
- En zonas de corte, se ubicarán los puntos de cambio de corte a terraplén o de terraplén a corte, para conocer el material a nivel de subrasante.

De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de subrasante del diseño geométrico vial y debajo de ella, espesores y tipos de suelos del terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos.

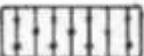
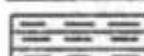
Para obtener el perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitan determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca subyacente (según Norma MTC E101).

### **Descripción de los suelos**

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará

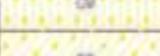
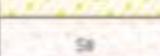
obligatoriamente por AASHTO (ver tabla 6.) y SUCS (ver tabla 7.), se utilizarán los signos convencionales de los cuadros

Tabla 6. Clasificación AASHTO

Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación AASHTO			
Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Fuente : Ensayo de Materiales Norma MTC E101

Tabla 7. Clasificación SUCS

Signos Convencionales para Perfil de Calicatas – Clasificación SUCS			
	GH		Material fino en general o con partículas muy finas.
	GP		Material grueso en general o con partículas muy finas.
	GV		Material grueso en general o con partículas muy finas.
	GG		Material grueso en general o con partículas muy finas.
	SH		Material grueso en general o con partículas muy finas.
	SP		Material grueso en general o con partículas muy finas.
	GS		Material grueso en general o con partículas muy finas.
	GH		Material grueso en general o con partículas muy finas.
	GP		Material grueso en general o con partículas muy finas.

Fuente : Ensayo de Materiales Norma MTC E101

## Ensayos CBR

Una vez que se haya clasificado los suelos por el sistema AASHTO y SUCS, para caminos contemplados en este manual, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo o tramo en estudio, a partir del cual se determinará el programa de ensayos para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm. (Ensayo MTC EM 132)

Para la obtención del valor CBR de diseño de la subrasante, se debe considerar lo siguiente:

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.
2. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante en función a los siguientes criterios:
  - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
  - Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100 m.

Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de subrasante.

3. Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según la siguiente tabla 8.

Tabla 8. Categorías de Subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: MTC 2007 Manual de Carreteras

Para obtener el Módulo Resiliente a partir del CBR, se empleará la siguiente ecuación que correlaciona el  $M_R$  – CBR, obtenida del Appendix CC-1 “Correlation of CBR values with soil and exp properties” preparado el 2001 por NCHRP Project 1- 37A (National Cooperative Highway Research Program), documento que forma parte de MEPDG Mechanistic - Empirical Pavement Design Guide – AASHTO interim 2008):

$$M_r (\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

### **Índice de Rugosidad Internacional**

Cualquiera que sea la metodología y los equipos empleados, los resultados de las medidas deben servir para establecer un índice de la regularidad superficial del pavimento en estudio (por ejemplo, obtener un valor índice por cada 100 m).

En la actualidad, a fin de poder comparar las medidas realizadas con equipos diferentes, se ha desarrollado el índice de Rugosidad Internacional (IRI), como resultado del Experimento Internacional de Rugosidad de Carreteras, realizado en Brasil en 1982, bajo los auspicios de la cantera Mundial.

Posteriormente a la publicación de la guía para conducir y calibrar las mediciones de rugosidad<sup>10</sup>, el IRI fue adoptado por el Sistema de Monitoreo de Comportamiento de Carreteras, de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) de los Estados Unidos, en 1987 y prácticamente por organismos gubernamentales de varios países, investigadores, fabricantes de equipos, etcétera.

El IRI es un resumen estadístico matemáticamente definido del perfil longitudinal a lo largo de la trayectoria de una rueda en la superficie de una carretera. El índice es un promedio de la pendiente rectificadora, calculado estadísticamente a partir de las elevaciones del perfil absoluto, y es representativo de los desplazamientos verticales inducidos en un vehículo en movimiento por la banda de frecuencias que afecta tanto a la respuesta del vehículo como a la comodidad percibida por sus ocupantes. Está definido por la simulación matemática de un cuarto de carro, es decir, una rueda con las características dinámicas asociadas de la suspensión y masa móvil de un vehículo convencional de pasajeros circulando a una velocidad de 80 km/h. Por tanto en la siguiente tabla 9, presentamos los valores del IRI según el tipo de carretera.

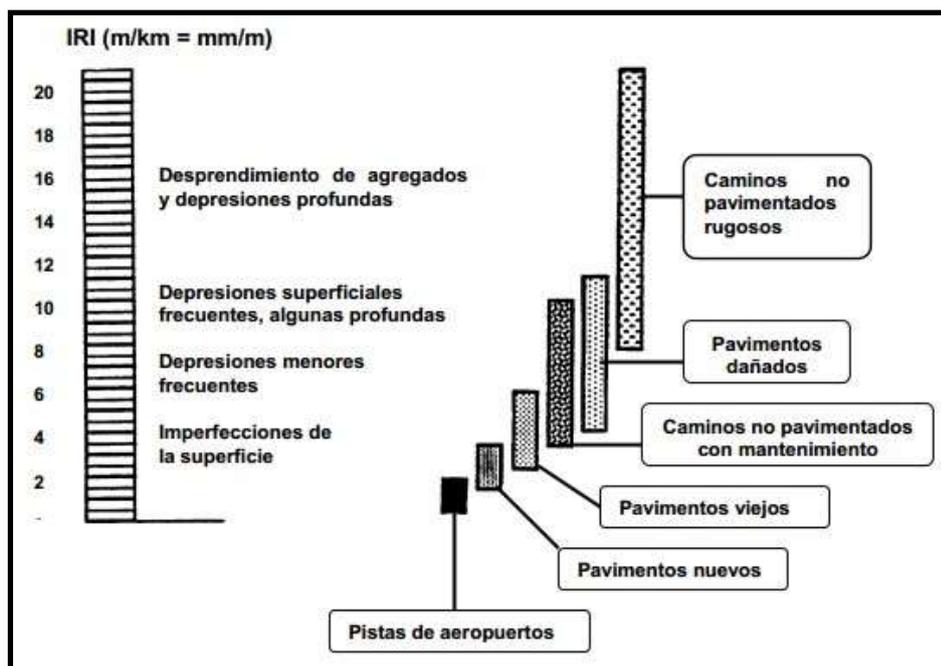
Tabla 9. Valores de Rugosidad Admisible IRI (m/km) según tipo de carretera

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	2	2.5	3.5	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 98%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras del MDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	2	2.5	3.5	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: Carreteras con un IMDA entre 4000 -2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.5	3	4	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.5	3	4	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: Carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3	3.5	4.5	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA < 200 veh/día, de una calzada.	3	3.5	4.5	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 85%

Fuente: MTC 2007- Manual de carreteras

El IRI define una escala de rugosidad que parte de cero, para una superficie totalmente plana, incrementándose a 6, para carreteras pavimentadas moderadamente rugosas y hasta 20, para carreteras no pavimentadas extremadamente rugosas 10 y se representa en m/km o en mm/m, reportándose al décimo de unidad. Como se presenta en la siguiente figura 11.

Figura 11. Escala del Índice de Rugosidad Internacional IRI



Fuente: MTC 2007- Manual de Carreteras

### **Ensayos de laboratorio**

Con las muestras extraídas de las calicatas efectuadas, se realizarán los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E107 · Límite Líquido ASTM D-4318, MTC E110
- Límite Plástico ASTM D-4318, MTC E111
- Contenido de humedad ASTM D-2216, MTC E108
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Contenido Sulfatos ASTM D-516
- Contenido Cloruros ASTM D-512
- Contenido Sales Solubles Totales MTC - E219

- Clasificación AASHTO M-145

### **Ensayos Especiales**

- California Bearing Ratio ASTM D-1883, MTC – E132, o Módulo resiliente de suelos de subrasante AASHTO T 274, MTC – E128
- Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC – E115 · Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC-E114
- Ensayo de Expansión Libre ASTM D-4546
- Colapsabilidad Potencial ASTM D-5333
- Consolidación Uniaxial ASTM D-2435

Los ensayos deben ser ejecutados en laboratorios competentes que cuenten con:

- Personal calificado.
- Instalaciones que faciliten la correcta ejecución de los ensayos.
- Métodos y procedimientos apropiados para la realización de los ensayos, siguiendo las Normas de Ensayos del MTC o normas internacionales como ASTM o AASHTO, incluyendo técnicas estadísticas para el análisis de los datos de ensayo.
- Equipos debidamente calibrados, que garanticen la exactitud o validez de los resultados de los ensayos. Antes del inicio de los ensayos o de la puesta en servicio el proveedor debe presentar los respectivos certificados de calibración de sus equipos, emitidos por Laboratorios de Calibración acreditados.
- Aseguramiento de calidad de los resultados de los ensayos. · Informe de resultados de cada ensayo, presentado en forma de informe de ensayo o certificado de ensayo, que exprese el resultado de manera exacta, clara, sin ambigüedades y objetivamente, de acuerdo con las instrucciones específicas de los métodos de ensayo.

## **Fuentes de Materiales y fuentes de agua.**

Los materiales naturales, tales como las rocas, gravas, arenas y suelos seleccionados, denominados frecuentemente bajo los términos genéricos de "áridos", "inertes" ó "agregados", según sus usos y aplicaciones, cumplen un rol significativo e importante en la calidad, durabilidad y economía de las obras viales.

La naturaleza y propiedades físicas de dichos materiales, así como las formas en que se presentan y su disponibilidad, serán los factores principales que determinarán los usos de estos, así como el grado de procesamiento que requerirán antes de su empleo.

Las técnicas de diseño y construcción han establecido especificaciones bastante precisas para el uso de estos materiales, tanto en la ejecución de los terraplenes y obras básicas de la carretera, como en las distintas capas del pavimento o en las obras de concreto, por lo tanto una de las tareas más importantes de los proyectistas será asegurar la existencia de "áridos o agregados" con calidad y en cantidad suficiente para cubrir las necesidades de la obra o identificar fuentes de las cuales puedan ser extraídos materiales que una vez procesados satisfagan las especificaciones fijadas.

La mayor o menor disponibilidad de estos en las proximidades de la obra, así como la intensidad del procesamiento afectan con frecuencia los costos de construcción, por lo cual se justifica una exploración sistemática del área del proyecto, siempre que se puedan lograr reducciones razonables de las distancias de transporte y de los procesos de transformación de los materiales.

### **2.2.1.8 Estudio de Tráfico**

#### **Conocimiento de la demanda para estudios**

La demanda del tráfico es un aspecto esencial que el Ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de la vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino.

En lo que corresponde a la Sección de Suelos y Pavimentos de este manual, la necesidad de información del tráfico se define desde dos puntos de vista: el diseño estructural del pavimento y el de la capacidad de los tramos viales para conocer hasta que límites de volúmenes de tráfico puede estimarse crecerá la demanda que afectará a la estructura vial durante el periodo del análisis vial adoptado para un estudio.

El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. Es conveniente para ello que los Términos de Referencia de cada estudio ya proporcionen la identificación de los tramos homogéneos.

Para cada uno de los tramos además de la demanda volumétrica actual deberá conocerse la clasificación por tipo de vehículos. El cálculo del IMDA requiere de los índices de variación mensual, información que el MTC dispone y puede proporcionar de los registros continuos que obtiene actualmente en las estaciones existentes de peaje y de pesaje del propio MTC y de las correspondientes a los contratos de concesiones viales.

La existencia de esta información es importante para construir una base de datos muy útil, como referencia regional que permitirá reducir los requerimientos de estudios y los costos que actualmente se tienen cuando se realizan estos estudios. Adicionalmente el usos de esta información oficial

garantizará una mejor consistencia entre la información obtenida y utilizada para los diversos estudios.

La información directa requerida para los estudios del tráfico en principio y salvo necesidades con objetivos más precisos o distintos, se conformará con muestreos orientados a calcular el IMDA del tramo, empezando por la demanda volumétrica actual de los flujos clasificados por tipo de vehículos en cada sentido de tráfico.

La demanda de Carga por Eje, y la presión de los neumáticos en el caso de vehículos pesados (camiones y ómnibus) guardan relación directa con el deterioro del pavimento.

Contando con la referencia regional previamente descrita, en términos generales será suficiente realizar las nuevas investigaciones puntuales por tramo en sólo dos días, teniendo en cuenta que el tráfico esté bajo condición normal. Uno de los días corresponde a un día laborable típico y el otro un día sábado. Los términos de referencia del estudio deberán precisar si el caso amerita estudiar durante más días o en periodos climáticos distintos, dependiendo del conocimiento previo de la demanda que tenga la Autoridad Competente.

Simultáneamente se realizará un control mediante una muestra representativa aleatoria de pesos por eje de vehículos pesados, utilizando equipo portátil calibrado oficialmente que alcance un número superior al 30% de los vehículos pesados del día, cuidando de la calidad de la muestra para evitar cualquier sesgo particular que la invalide. En los casos en que hubiera una fuente de información continua, precisa o que los flujos fueran muy pequeños, deberá justificarse adecuadamente la elección del tamaño de la muestra.

### **Demanda Proyectada**

La información levantada servirá de un lado como base para el estudio de la proyección de la demanda para el periodo de análisis; y en este contexto, para establecer el número de Ejes Equivalentes (EE) de diseño para el pavimento. El Ingeniero Responsable deberá sustentar si hay razones para establecer que el crecimiento de la demanda seguirá una tendencia histórica identificable con

información previa existente o si ésta será modificada por factores socio-económicos, acompañando el análisis justificatorio.

### **Factor direccional y factor carril**

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo de tráfico.

El factor de distribución carril expresado como una relación, que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril.

El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera, según el porcentaje o factor ponderado aplicado al IMD. Ver Tabla 10.

Tabla 10. Factores de Distribución 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

Fuente: MTC 2007- Manual de Carreteras

## Cálculo de tasas de crecimiento y proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula de progresión geométrica por separado para el componente del tránsito de vehículos de pasajeros y para el componente del tránsito de vehículos de carga.

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1}$$

En la que:

$T_n$  = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día

$T_o$  = Tránsito actual (año base 0) en veh/día

n = Número de años del período de diseño

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito.

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI).

Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%. Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos, por implementarse con certeza a corto plazo en la zona del camino.

La proyección de la demanda puede también dividirse en dos componentes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa anual de crecimiento de la población y una proyección de la demanda de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos índices de crecimiento correspondientes a

la Región, que normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias.

En la siguiente tabla 11. Proporciona el criterio para seleccionar el Factor de crecimiento Acumulado (Fca.) para el periodo de diseño, considerando la tasa anual de crecimiento (r) y el periodo de análisis en años.

Tabla 11. Factores de Crecimiento Acumulado (Fca.) para el cálculo de número de repeticiones de EE

Periodo de Análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Fuente: MTC 2007- Manual de Carreteras

Formula de Factor de crecimiento anual (Fca.)

$$Fca = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Dónde:

r= tasa anual de crecimiento

n= Periodo de diseño

### **Número de repeticiones de ejes equivalentes**

Para el diseño de pavimento la demanda que corresponde al del tráfico pesado de ómnibus y de camiones es la que preponderantemente tiene importancia.

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg<sup>2</sup>.

Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.

En la Tabla 12. Se presenta la configuración de ejes siguiente:

Tabla 12. Configuración de ejes

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Grafico
<b>EJE SIMPLE</b> (Con Rueda Simple)	1RS	02	
<b>EJE SIMPLE</b> (Con Rueda Doble)	1RD	04	
<b>EJE TANDEM</b> (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
<b>EJE TANDEM</b> (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
<b>EJE TRIDEM</b> (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
<b>EJE TRIDEM</b> (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

**Nota :**  
RS : Rueda Simple  
RD: Rueda Doble

Fuente: MTC 2013 –Tráfico

Para el cálculo de los EE, se utilizarán las siguientes relaciones simplificadas, que resultaron de correlacionar los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93. Mostramos en la Tabla 13.

Tabla 13. Relación de cargas por eje para determinar para determinar ejes equivalentes para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8.2tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	EE <sub>S1</sub> = [ P / 6.6 ] <sup>4.0</sup>
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	EE <sub>S2</sub> = [ P / 8.2 ] <sup>4.0</sup>
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	EE <sub>TA1</sub> = [ P / 14.8 ] <sup>4.0</sup>
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	EE <sub>TA2</sub> = [ P / 15.1 ] <sup>4.0</sup>
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	EE <sub>TR1</sub> = [ P / 20.7 ] <sup>3.9</sup>
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	EE <sub>TR2</sub> = [ P / 21.8 ] <sup>3.9</sup>
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: MTC 2013 –Tráfico

Para el diseño de un pavimento se adopta el número proyectado de EE que circularán por el “carril de diseño”, durante el periodo de análisis. El carril de diseño corresponderá al carril identificado como el más cargado de la carretera y el resultado de este cálculo será adoptado para todos los carriles de la sección vial típica de esa carretera, por tramos de demanda homogénea.

Para definir la demanda sobre el carril de diseño se analizará el tipo de sección transversal operativa de la carretera, el número de calzadas vehiculares y la distribución de la carga sobre cada carril que conforma la calzada.

La medición de la demanda, estará basada en muestreos significativos del tránsito cuando no se cuenta con estaciones de pesaje que pueden generar censos de cargas por tipo de ejes. La investigación más extendida en la práctica del Perú, se orienta a la estratificación muestral de la carga por tipo de vehículo.

Para ello la muestra del tráfico usuario se concentra en el tráfico pesado con la finalidad de obtener una información detallada promedio, pesando la carga real por tipo de vehículo muestreado, por tipo de ejes que lo conforman y por carga efectiva que lleva el eje.

De esta manera con las mediciones obtenidas por tipo de vehículos pesados se calculará el factor vehículo pesado de cada uno de los tipos de vehículos del camino, este factor resulta del promedio de EE que caracteriza cada tipo de vehículo pesado identificado para el camino.

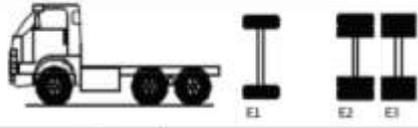
El Factor Vehículo Pesado (Fvp), se define como el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo la sumatoria de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado. El cálculo de factores de EE se efectuará utilizando las cargas reales por eje de los vehículos pesados encuestados en el censo de cargas.

A continuación en la Tabla 14 se presentan ejemplos para determinar el Factor de Vehículo Pesado para diversas clases de vehículos pesados.

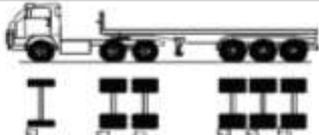
Tabla 14. Cuadros de Factores de Equivalencia por Eje y Factor vehículo

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)
C2								12.30
	$EE_{E1} = [P/65]^4$	$EE_{E2} = [P/62]^4$						
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	10						
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple						
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble						Total Factor Camión C2
Peso	7	10						3.477
Factor E.E.	1.265	2.212						

En este ejemplo, el peso total del Camión C3 es de 23tn, pesando el eje delantero (E1) 7tn y el eje posterior tandem (E2+E3) 16tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 6.3 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el factor vehículo **camión C3 es igual a 2.526**

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)
C3								13.20
	$EE_{E1} = (P/6.8)^4$	$EE_{E2} = (P/15.1)^4$						
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	8					
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	16						
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem						
Tipos de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble						Total Factor Camión C3
Peso	7	16						2.526
Factor E.E.	1.265	1.261						

En este ejemplo, el peso total del Camión T3S3 es de 46tn, pesando el eje delantero (E1) 7tn, el eje posterior tandem (E2+E3) 16tn y el tridem (E4+E5+E6) 23tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 6.3 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el factor vehículo **camión T3S3 es igual a 3.758**

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)
T3S3								20.50
	$EE_{E1} = (P/6.8)^4$	$EE_{E2} = (P/15.1)^4$		$EE_{E4} = (P/21.0)^4$				
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	8	7	8	8		
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	16		23				
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem		Eje Tridem				
Tipos de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble		Rueda Doble				Total Factor Camión T3S3
Peso	7	16		23				3.758
Factor E.E.	1.265	1.261		1.232				

En este ejemplo, el peso total del Bus B3-1 es de 22tn, pesando el eje delantero (E1) 7tn y el eje posterior tandem (E2+E3) 15tn. Aplicando las ecuaciones del cuadro 6.3 para pavimento flexible o para pavimento semirrígido, el factor vehículo Bus B3-1 es igual a 2.321

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)
B3-1								14.00
	$EE_{E1} = [P / 6.6]^2$		$EE_{E2} = [P / 14.3]^2$					
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	8	7					
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	15						
Tipos de Eje	Eje Simple	Eje Tandem						
Tipos de Rueda	Rueda Simple	1 Eje Rueda Doble+1 Eje Rueda Simple						Total Factor Camión B3-1
Peso	7	15						2.321
Factor E.E.	1.265	1.095						

Fuente: MTC 2013 –Tráfico

El Ingeniero Responsable para los pavimentos flexibles y semirrígidos tomará en cuenta, para el cálculo de EE, un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro que producen las presiones de los neumáticos sobre el pavimento flexible o semirrígido. Para el caso de afirmados y pavimentos rígidos el factor de ajuste por presión de neumáticos será igual 1.0.

Para la determinación de los factores de presión de neumáticos se utilizarán los valores de la Tabla 15, valores intermedios podrán interpolarse. Los valores de la Tabla 15 han sido obtenidos de correlacionar los valores de la EAL Adjustment Factor for Tire Pressures del Manual MS-1 del Instituto del Asfalto, modificando la presión inicial de 70 psi que indica la mencionada figura por la presión inicial de 80 psi.

Tabla 15. Factor de ajuste por presión de neumático (Fp) para ejes equivalentes (EE)

Espesor de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contacto del Neumático (PCN) en psi PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumático] (psi)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.36	1.80	2.31	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Fuente: MTC 2013 –Tráfico

Para el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados, Ver cuadro 10:

$$N \text{ rep de EE}_{.8.2t} = \sum [EE \text{ dia} - \text{carril} \times Fca \times 365]$$

Cuadro 10. Parametros del numeros de repeticiones de Ejes Equivalentes

Parámetros	Descripción
Nrep de EE 8.2t	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn
EE <sub>día-carril</sub>	<p>EE<sub>día-carril</sub> = Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Resulta del IMD por cada tipo de vehículo pesado, por el Factor Direccional, por el Factor Carril de diseño, por el Factor Vehículo Pesado del tipo seleccionado y por el Factor de Presión de neumáticos. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:</p> $EE_{día-carril} = IMD_{p_i} \times F_d \times F_c \times F_{vp_i} \times F_{p_i}$ <p>donde:</p> <p>IMD<sub>p<sub>i</sub></sub>: corresponde al Índice Medio Diario según tipo de vehículo pesado seleccionado (i)</p> <p>F<sub>d</sub>: Factor Direccional, según Cuadro N°6.1.</p> <p>F<sub>c</sub>: Factor Carril de diseño, según Cuadro N°6.1.</p> <p>F<sub>vp</sub>: Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.</p> <p>F<sub>p</sub>: Factor de Presión de neumáticos, según Cuadro N° 6.13.</p>
Fca	Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado (según cuadro 6.2)
365	Número de días del año
Σ	Sumatoria de Ejes Equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por Factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

Fuente: MTC 2013 –Tráfico

### Clasificación de número de repeticiones de ejes equivalentes en el periodo de diseño

El tránsito para diseño de pavimentos, en el presente Manual, ha sido clasificado en rangos de Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes, tal como se indica en los siguientes cuadros. Para este método se determina los siguientes rangos en número de repeticiones de ejes equivalentes, para el carril y periodo de diseño.

### **Caminos No Pavimentados**

Los Caminos No Pavimentados con Afirmado (revestimiento granular) tendrán un rango de aplicación de Número de Repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño de hasta 300,000 EE, de acuerdo al cuadro. Ver Cuadro 11.

Cuadro 11. Numero de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 t en el carril de diseño para caminos No Pavimentados.

<b>Tipos Tráfico Pesado expresado en EE</b>	<b>Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE</b>
$T_{NP1}$	$\leq 25,000$ EE
$T_{NP2}$	$> 25,000$ EE $\leq 75,000$ EE
$T_{NP3}$	$> 75,000$ EE $\leq 150,000$ EE
$T_{NP4}$	$> 150,000$ EE $\leq 300,000$ EE

Fuente: MTC 2013 –Tráfico

## **2.2.2 Definiciones conceptuales Específicos**

### **2.2.2.1 Marco conceptual de la conservación vial**

La conservación vial es un proceso que involucra actividades de obras e instalaciones, que se realizan con carácter permanente o continuo en los tramos conformantes de una red vial.

Para la ejecución de la conservación vial, se requiere tener una asignación presupuestal anual de recursos económicos, personal capacitado y utilizar máquinas y herramientas; cuyo costo se asigna en el presupuesto anual de la entidad competente de la gestión vial. El presupuesto y la programación de actividades deberán hacerse previsoramente para ser realizadas en el año siguiente a su aprobación; y así sucesivamente cada año o cuando la norma presupuestal considere aplicables presupuestos multianuales éste se desarrollará conforme a la norma presupuestal aplicable.

La ejecución del gasto se realizará por administración directa de la entidad competente o mediante contratos con terceros; y teniendo siempre como objetivo de la conservación vial mantener el nivel de servicio operativo de la carretera y de sus componentes en un rango programado por la entidad competente para cumplir las metas.

En el sector público el gasto en conservación vial corresponde en la clasificación presupuestal al concepto de gasto corriente y debe cubrir una previsión de cantidades de necesidades estimada por la experiencia de la unidad y del personal directamente encargado de realizar las tareas o partidas del gasto.

Las obras que conforman la conservación vial no requieren de estudios de pre-inversión, porque se trata de obras de prevención o de corrección menor de deterioros y en la medida que se identifique su inicio de estos se deberá proceder a su corrección para evitar su progresión. Pero si requieren de una programación técnica sistemática que permita sustentar el gasto necesario.

La conservación rutinaria, es el conjunto de actividades que se ejecutan dentro del presupuesto anual, está constituida por todas las actividades necesarias para cuidar la seguridad del camino y para prevenir el desarrollo de deterioros en todos los componentes de la infraestructura vial como son: pistas, puentes y túneles, señales y dispositivos de seguridad, obras de drenaje, contención de taludes, limpieza de la carretera, también del derecho de vía, etc. La conservación rutinaria trata en todos esos componentes, de evitar y llegado el caso, corregir cualquier deterioro que origine incomodidad o distorba la circulación del tránsito originando riesgos de accidentes y mayores deterioros en la infraestructura vial.

En otras palabras, un camino no debe operar en condiciones que causen riesgos al usuario; y en cualquier caso la conservación vial deberá advertir a los usuarios de las condiciones requeridas para circular sin riesgos creados por las condiciones del camino. En la mayoría de los casos será suficiente señalar las limitaciones en la circulación para evitar los riesgos. En otros casos podrá requerirse la colocación de barreras de protección, etc.

En carreteras pavimentadas por ejemplo, es importante eliminar baches, deterioros o pérdidas de guardavías y de señales, rajaduras en muros, en disipadores de la energía de los canales de drenaje, la limpieza de la colmatación de cursos de agua y alcantarillas, limpieza de la calzada de polvo, de piedras o de derrumbes sobre las calzadas, etc. Este tipo de problemas deben ser identificados en los reconocimientos rutinarios, posiblemente diarios, en los diferentes tramos y reportados sistemáticamente para su atención en lo posible inmediata.

En el caso de carreteras no pavimentadas, se requerirá del perfilado de la capa granular de rodadura rellenar baches causados después de lluvias, limpieza de las obras de drenaje, reparación y remplazo de señales camineras, remoción de derrumbes, etc.

El alto índice de accidentalidad en las carreteras, posiblemente tiene un componente causado por la falta de señalización de las condiciones de peligro por el uso de velocidades inadecuadas o por la falta de guardavías en trazados en terrenos accidentados; y los derrumbes o caídas de piedras, podrían deberse al deterioro de algún muro o la falta de estabilidad de algún talud. La mayoría de estos casos pueden evitarse con acciones de carácter rutinario. Con este tipo de actividades, la carretera aunque sea de las más simples deberá mantenerse dentro de niveles de operación cómodos y seguros. No está de más mencionar que las carreteras o caminos de menor tráfico, son los que pese o quizás en razón de su bajo volumen de demanda, son los de mayor riesgo para la circulación.

De otro lado, la conservación periódica es de naturaleza distinta, mayormente está referida a las condiciones que se requiere recuperar en los elementos que conforman lo que en el Perú se denomina las calzadas y las bermas de la carretera, así como correcciones puntuales generadas por alguna inestabilidad en los terraplenes, que producirán posiblemente pequeños hundimientos y que requieren recuperación localizada de la plataforma, de la superficie de rodadura y de las obras complementarias.

La conservación periódica en las carreteras pavimentadas se realiza en periodos de más de un (01) año; la intervención de recuperación se centra fundamentalmente sobre la calzada y las bermas. En las tareas previas de programación de esta intervención puede detectarse un proceso de incremento previsible en la demanda. Motivo éste que significará tomar en cuenta este factor y en caso necesario, además de aplicar la conservación periódica consistente en la colocación alternativa de un sello o de un micropavimento, podría optarse por la colocación de un refuerzo que prolongaría la vida útil del pavimento por otros cinco o más años. Esta actividad sin embargo, para ser considerada presupuestalmente como conservación vial, debe ejecutarse manteniendo el mismo trazado de la carretera actual; y adicionalmente la

programación deberá haber considerado para el mismo tramo intervenido, la realización de las actividades rutinarias del año.

### **Funciones, organización y programación de la conservación vial**

En la actualidad las necesidades estratégicas e importancia de los servicios viales, imponen la necesidad de conservar en buenas condiciones las vías en forma permanente y sostenida, con el objetivo de ofrecer un buen servicio al usuario, así como evitar la pérdida del patrimonio vial.

### **Funciones y entidades competentes**

La conservación vial comprende las actividades de obras civiles, instalaciones y equipamientos destinados a preservar las carreteras y caminos rurales en general conformantes de las redes viales de carreteras, que el estado requiere mantener en buenas condiciones operativas, ellas son: a) La Red Vial Nacional a cargo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, b) la Red Vial Regional o Departamental, a cargo de los Gobiernos Regionales en su respectiva jurisdicción y c) la Red Vial Vecinal o Rural, a cargo de los Gobiernos Locales, provinciales y distritales.

### **Modalidades de ejecución de la conservación vial**

Para su ejecución cada una de las entidades competentes, pueden realizar la conservación vial bajo las siguientes modalidades, según se justifique adecuadamente, cómo lograr mayor eficiencia con los recursos que dispone, en el cumplimiento de su responsabilidad de conservar en un buen nivel de operatividad los caminos bajo su competencia:

- a) por administración directa.
- b) por convenios con organismos públicos o privados.
- c) por contratos con empresas o entidades privadas.

En el caso de los contratos con empresas o entidades privadas, puede optarse por aplicar modalidades permitidas por las leyes, como por ejemplo:

- Concesiones viales;

- Contratos convencionales por programas y ejecución de cantidades de obras o actividades similares; Contratos por "niveles de servicio" referidos a la condición operativa del camino en sus diversos componentes, que debe mantener el contratista;
- Contratos por "Asociación Público- Privada", y otros como los denominados "Contratos CREMA".
- Otros similares que pueden diseñarse o crearse posiblemente como producto de las experiencias exitosas y que finalmente se plasman en las respectivas especificaciones técnicas en los contratos.

### **Organización de la conservación vial**

Para realizar las tareas de conservación vial, las entidades responsables deben mantener organizaciones de acuerdo a las políticas institucionales, la modalidad de ejecución de las actividades de conservación vial, y la magnitud de la red vial de su responsabilidad; es decir, lo importante es contar con organizaciones que garanticen una adecuada administración de los recursos presupuestales, así como, de la programación, supervisión y/o ejecución de las actividades de conservación vial, según sea el caso.

### **Programación y presupuesto**

Las actividades de conservación vial tanto de carácter rutinario como periódico, se programan en función a la modalidad de su ejecución. Por ejemplo, cuando el sector público realiza la conservación vial aplicando la modalidad de la administración directa, la programación por lo general, se realiza en forma anual, así como los presupuestos también se aprueban para el mismo periodo; en cambio cuando dicha actividad se realiza mediante contratos o concesión, la programación de las actividades y los presupuestos están en función a las condiciones contractuales correspondientes.

## **Actividades de conservación de carreteras**

La conservación de carreteras constituye el principal modo que una entidad lleva a cabo su objetivo de proporcionar al usuario, una vía en adecuadas condiciones de transitabilidad.

La conservación vial tiene un propósito preventivo, que incluye diversas actividades como las referidas a:

- Evitar el ingreso de agua en la estructura del pavimento; por ejemplo, colocando capas de sello asfáltico, sellado de fisuras y grietas, capas asfálticas delgadas, etc.
- Eliminar el agua de la estructura del pavimento; por ejemplo, mediante subdrenes, o la restauración del sistema de drenaje.
- Restaurar la regularidad superficial del pavimento; por ejemplo, mediante el perfilado y el fresado.
- Evitar el deterioro de los puentes; por ejemplo, con la limpieza y pintura, medidas contra la socavación, la reparación del tablero, y la limpieza del drenaje del tablero.

El propósito preventivo de la conservación de carreteras se sintetiza en los siguientes aspectos:

- a. Mantener la continuidad del servicio ofrecido por la infraestructura vial, de tal manera que sea posible la transitabilidad en cualquier condición climática.
- b. Mantener la continuidad del servicio ofrecido durante el periodo de operación de la carretera, con un nivel de servicio adecuado, en cuanto a seguridad y confort para los usuarios.

En este caso el nivel de servicio está referido a una medida de calidad, que en relación al confort y seguridad se refiere a la adherencia de la superficie de rodadura y su regularidad superficial, así como la señalización y los elementos de seguridad.

No se incluyen modificaciones de la geometría de la carretera tanto horizontal como vertical; no obstante, existen sectores puntuales de la carretera que podrían afectar la seguridad de los usuarios, y donde se requiere ampliar el radio de una curva, dar más visibilidad en un cambio de rasante, en estos casos el acondicionamiento para salvar estos sectores puntuales sí se incluyen en la conservación vial.

En muchos casos el mal estado o comportamiento del pavimento no se debe a la calidad o espesor de la estructura del pavimento, sino a la inclinación superficial inadecuada de la calzada y bermas, o a las cunetas colmatadas o falta de limpieza del sistema de drenaje longitudinal y/o transversal; la conservación vial incluye la solución de estos casos.

Otro aspecto a tomar en cuenta es la conservación de puentes, que incluya la limpieza del sistema de drenaje, reparación de juntas, resolver los problemas de socavación y otras actividades con una intervención oportuna para evitar problemas de transitabilidad de la carretera.

- c. Adaptar las estructuras de los pavimentos en función al incremento de los vehículos pesados. En este aspecto se consideran los recapados o refuerzos asfálticos que no impliquen ensanches de la calzada o bermas.

La conservación de carreteras incluye las actividades de conservación de la plataforma, de los taludes, de la calzada, de las bermas, del drenaje superficial, del drenaje subterráneo, de los muros, de los túneles, de los puentes, de la señalización, de los elementos de seguridad vial, de las obras complementarias y del Derecho de Vía.

## **Niveles de Servicio**

### **Definición de niveles de servicio**

Los niveles de servicio son indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y vahan de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

En la conservación vial por niveles de servicio, las actividades se realizan para cumplir los estándares admisibles y no se miden por las cantidades ejecutadas. Es obligación del ejecutor de la conservación vial tener la carretera en las condiciones establecidas, en tal sentido el criterio de pago es el cumplimiento de los estándares de calidad previstos.

Para la medición o determinación de los niveles de servicio, en el cuadro 12 siguiente se presenta los niveles de servicio por tipo de vía, para los siguientes componentes:

1. Plataforma y taludes
2. Calzada de afirmado
3. Pavimentos flexibles - calzada y berma
4. Pavimentos rígidos - calzada y berma
5. Drenaje superficial, drenaje subterráneo y muros
6. Señalización y dispositivos de seguridad vial
7. Derecho de vía
8. Túneles y obras complementarias
9. Puentes

Para la conservación de la calzada de afirmado.

Cuadro 12. Niveles de Servicio para: Calzado de Afirmado

Parámetro	Medida	Nivel de Servicio
Deformación	Porcentaje máximo de área de deformaciones mayores a 50mm	5%
Erosión	Porcentaje máximo con Erosiones mayor a 50mm	10%
Baches (Huecos)	Porcentaje máximo de área con baches (huecos)	0%
Encalaminado	Porcentaje máximo de área con Calaminado	10%
Lodazal y cruce de agua	Porcentaje máximo de área con Lodazal y cruce de agua	5%
Rugosidad obras nuevas	Rugosidad característica del tramo obra nueva	5.0 IRI <sub>c</sub> (*)
Rugosidad con mantenimiento periódico	Rugosidad característica del tramo con mantenimiento periódico	6.0 IRI <sub>c</sub> (*)
Rugosidad durante el periodo de servicio	Rugosidad característica del tramo en periodo de servicio	8.0 IRI <sub>c</sub> (*)

(\*) IRI característico (IRIC), a la confiabilidad de 70%

$$IRI_c = IRI_p + 0.524 \times d_s$$

IRI<sub>p</sub> = IRI promedio

d<sub>s</sub> = desviación estándar

Fuente: En base a Contratos por Niveles de Servicio, Tabla de parámetros globales del HDM4, Manual de Suelos y Pavimentos del MTC.

## **2.2.2.2 Reciclado de pavimentos**

### **Tipos de reciclados**

Existen tres tipos de reciclaje que se describen a continuación:

#### **a. Reciclado superficial**

Consiste en el retratamiento de la superficie del pavimento en bajos espesores, generalmente no superiores a los 2.5 centímetros, en casos de que los deterioros del pavimento no sean atribúteles a deficiencias estructurales. Se incluye todo procedimiento en que la superficie es fresada, cepillada o escarificada, triturada y adicionada o no de un agente de reciclaje, con o sin la incorporación de pequeños porcentajes de materiales vírgenes, reacondicionada y re compactada El proceso puede adelantarse en caliente o en frío y en este último caso el agente de reciclaje, si se requiere, se aplica en forma de emulsión.

#### **b. Reciclado en el lugar (in situ)**

Conocido también como reciclaje en frío, consiste en rehabilitar el pavimento asfáltico hasta una profundidad mayor de 2.5 cm, involucrando o no el material de la capa de base. Para ello, el espesor es escarificado y el material trozado resultante es triturado hasta un tamaño adecuado y luego, mezclado con un agente de reciclaje y eventualmente con cierto porcentaje de agregado nuevo, todo como para cumplir con las exigencias de la nueva mezcla. Como su nombre lo indica, el proceso se realiza generalmente en frío y los aditivos más utilizados son emulsiones asfálticas, cementos Portland, cal y mezclas de cal y cenizas volantes. También es posible el reciclaje in situ con cementos asfálticos de alto grado de penetración.

**c. Reciclado en planta**

Denominado también reciclaje en caliente, consiste en escarificar el espesor deseado del pavimento existente y transportar el material trozado a una planta en la que es triturado y clasificado por su granulometría. El material también puede obtenerse del pavimento por medio de fresado en frío. Posteriormente, en base al análisis de composición del material viejo, se reconstruye en caliente la nueva mezcla a reciclar, la cual debe responder al diseño adoptado. Para ello, se agregan materiales nuevos que comúnmente incluyen un agente de reciclaje y agregado pétreo virgen, así como asfalto nuevo. La nueva mezcla en caliente se lleva al sitio de origen o al que se haya elegido para su colocación, donde se distribuye y compacta mediante métodos y equipos convencionales.

En todos los casos, la estructura resultante del trabajo de reciclaje, respondiendo al proyecto correspondiente, podrá emplearse como capa de rodadura o base, caso este último en el cual se deberá superponer una nueva capa superficial.

**Ventajas del reciclado**

En la siguiente tabla se muestra las principales ventajas de las distintas técnicas de reciclado más utilizadas. En el siguiente Cuadro 13.

Cuadro 13. Principales ventajas de las técnicas de reciclado

<b>Técnica de Reciclado</b>	<b>Ventajas</b>
Reciclado superficial	- Mejora la resistencia al deslizamiento
	- Corrige las deficiencias de origen superficial
	- Mejora el perfil geométrico de la calzada
	- Permite eliminar la capa de restitución de gálbo en refuerzos del pavimento
Reciclado "IN SITU"	
	- Mejora la resistencia al deslizamiento
	- Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural

Técnica de Reciclado	Ventajas
	- Permite incrementar en forma limitada la resistencia estructural del pavimento
	- Elimina temporalmente las fisuras reflejas
	- Permite corregir las características de las mezclas asfálticas superficiales (6 a 7cm) con deformaciones plásticas.
	- Mejora el perfil geométrico de la calzada
Reciclado en planta	- Refuerza estructuralmente al pavimento de acuerdo con las necesidades del proyecto
	- Corrige la deficiencias de origen superficial y estructural
	- Produce mezclas asfálticas de mejor calidad
	- Permite eliminar o corregir la capas intermedias de deficiente comportamiento
	- Elimina las fisuras reflejas
	- Mejora la resistencia al deslizamiento
	- Corrige el perfil geométrico de la calzada

Fuente: Wirtgen- Manual de Reciclado

### **Reciclado Superficial**

Este sistema es aplicable a espesores muy delgados de pavimento, puede realizarse en caliente o en frío y constituye una solución en aquellos casos en los que existen problemas de deslizamiento, ya que mediante la eliminación de un espesor superficial débil, se pueden regenerar las características antideslizantes del pavimento. Así mismo, puede resultar aplicable cuando se presenten otros tipos de fallas superficiales, tales como degradación de la carpeta por pérdidas de ligante o agregados pétreos o abultamientos producidos por el empleo de mezclas asfálticas de baja estabilidad. El retiro de esta delgada capa puede ser de carácter provisional hasta que se decida extender una nueva capa asfáltica o bien puede ser una solución a largo plazo, válida en todos los casos en que no existan defectos de tipo estructural.

#### **a. Fresado en frío**

Consiste en el molido en frío, controlado automáticamente de la superficie del pavimento para restaurar las rasantes especificadas y

remover ondulaciones y otras imperfecciones, dejando una superficie texturizada resistente al deslizamiento y al hidroneo, que sin« como buena superficie en pavimentos en los que el ruido de rodadura no sea el condicionante básico. Las máquinas que ejecutan esta labor se denominan fresadoras y ejerce su acción mediante una especie de uñas acopladas a eje de giro horizontal.

**b. Cepillado o fresado**

Lo realizan máquinas llamadas cepilladoras o más comúnmente rascadoras, las cuales únicamente pueden trabajar previo calentamiento del pavimento y desarrolla-su labor por medio de unas cuchillas o útiles similares y sólo son utilizables para levantamientos de muy poco espesor

**c. Termo-reperfilado**

Comprende un conjunto de operaciones que son realizadas por una sola máquina de forma secuencial a excepción de la compactación final. Estas operaciones son las siguientes:

- Calentamiento previo del pavimento antiguo, generalmente mediante rayos infrarrojos.
- Escarificado o fresado del pavimento hasta la profundidad deseada, que generalmente no excede de 2.5 centímetros.
- Homogeneización del material escarificado y nivelación del mismo.
- Pre compactación del material mediante una maestra adosada a la parte trasera de la máquina.
- Compactación definitiva hasta la densidad deseada, por medio de equipos normales de compactación.

La característica fundamental que distingue este sistema es que no existe aporte de mezcla bituminosa nueva, lo cual impide que el material reciclado mejore sus características; esto limita su aplicación a la corrección de pequeñas irregularidades superficiales, a la corrección de

excesos de deslizabilidad o cuando se quiere incrementar la densidad de la carpeta.

Consecuentemente, este tratamiento no resulta apropiado para corregir defectos de tipo estructural, por lo que no es aplicable en los casos en que existan elevadas deformaciones superficiales. Tampoco es viable cuando la mezcla asfáltica presente deficiencias de tipo granulométrico o exceso de ligante (caso de deformaciones plásticas), ya que, al no existir aporte de mezcla nueva, tales deficiencias no pueden corregirse.

#### **d. Termo-regeneración**

Esta técnica presenta una serie de características comunes con la anterior, con la diferencia de que existe un aporte de mezcla nueva que se coloca sobre la antigua escarificada (adicionada o no de un agente rejuvenecedor), compactándolas sin mezclarlas. El conjunto de operaciones a realizar es el siguiente:

- Calentamiento del pavimento mediante rayos infrarrojos.
- Escarificado y descompactación del pavimento, en una determinada profundidad.
- Retiro de parte del material escarificado, aunque a veces esta operación no se presenta, aprovechándose la totalidad.
- Adición, en caso necesario, de un agente rejuvenecedor.
- Distribución transversal del material escarificado mediante una hoja niveladora.
- Aporte de mezcla nueva, la cual es conducida mediante una banda transportadora, desde una tolva de recepción situada en la parte delantera de la máquina hasta su extremo final, donde es puesta en obra sobre la capa de material escarificado.
- Precompactación de las dos capas, sin mezcla de las mismas, mediante una maestra vibrante colocada en la parte posterior de la máquina.
- Compactación hasta la densidad deseada de las dos capas anteriores con un tren de compactación convencional.

Aunque es un proceso menos económico, a veces, la mezcla de aporte puede colocarse en obra independientemente, mediante una terminadora convencional.

### **Reciclado in situ**

Consiste en la pulverización de la carpeta asfáltica existente y su mezcla con el material de base existente, añadiendo un aditivo que desarrolle en la capa reciclada una resistencia suficiente para soportar adecuadamente las cargas del tránsito futuro. La selección del aditivo apropiado depende de factores tales como el uso proyectado, la resistencia requerida y el costo del producto. Los aditivos más empleados para este tipo de reciclaje son el cemento asfáltico, los asfaltos líquidos y emulsionados, asfaltos espumados, el cemento Portland y la cal cuando el material a reciclar tenga un contenido considerable de arcilla. En la mayoría de los procesos de estabilización, se requiere la colocación de una capa de rodadura para proteger la capa reciclada del efecto abrasivo del tránsito y de la acción de los agentes climáticos.

### **Reciclado en Planta**

Es un proceso por el cual se combinan materiales recuperados de un pavimento asfáltico y eventualmente de la base granular, con asfalto y agregados nuevos y/o agentes de reciclaje, según las necesidades, en una planta central, para producir mezclas para pavimentación en caliente. El producto terminado deberá cumplir todas las especificaciones y requisitos constructivos para el tipo de mezcla producida.

### **2.2.2.3 Métodos de diseño de pavimentos**

#### **Método AASHTO 93**

El método de diseño de pavimentos flexibles de la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) de 1993, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en el AASHO Road Test (1958-1961) en un ensayo a escala real realizado durante los años establecidos en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitud de las distintas secciones ensayadas.

Los ensayos sobre pavimentos se hicieron sobre seis secciones separadas dobles, con pistas de doble vía en forma de dos tramos rectos paralelos con secciones curvas para retorno. La guía conserva los algoritmos originales del Ensayo Vial AASTHO correspondientes a un grupo reducido de materiales, un solo tipo de subrasante, tránsito homogéneo y el medio ambiente del sitio del ensayo.

Tanto en el clima como en el suelo son típicos de una gran parte de los Estados Unidos. Éste método de diseño es aplicable para vías con tránsito superior a  $0.05 \times 10^6$  ejes equivalentes de 8.2 toneladas y la ecuación utilizada para el diseño de pavimento, derivada de la información obtenida empíricamente en la AASHO Road Test.

Esta ecuación al ser iterado se obtiene un número estructural requerido ( $SN_r$ ), número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo ( $M_R$ ), del tránsito total ( $W_{18}$  o Ejes Equivalentes), confiabilidad y serviciabilidad terminal.

Una vez determinado el número estructural requerido se busca un conjunto de espesores que convenientemente combinados proporcionen la capacidad portante correspondiente a un número estructural propuesto ( $SN$ ) que debe ser

mayor o igual al número estructural requerido (SNr), satisfaciendo todos los parámetros establecido para la vía, durante su vida útil.

A partir de la versión del año 1986, y su correspondiente versión mejorada de 1993, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original.

Para utilizar la metodología AASHTO tenemos los siguientes componentes:

### **Periodo de Diseño**

El Periodo de Diseño está relacionado con los requerimientos de cada entidad, según contratos con el estado o privados, sin embargo de acuerdo a la importancia de la vía este puede estar comprendido entre 5 años hasta los 20 años, en el caso de vía de mayor importancia.

Lo recomendable para diseños de pavimentos flexibles será hasta 10 años para caminos de bajo volumen de tránsito, que pueden darse en dos etapas de 10 años cada una y periodo de diseño en una etapa de 20 años. Para conservaciones viales 5 años.

La guía AASHTO, tabla 16, recomienda:

Tabla 16. Periodo de Diseño

<b>Tipo de Carretera</b>	<b>Periodo de Diseño (años)</b>
Urbanos de alto volumen de tránsito	30-50
Interurbana de alto volumen de tránsito	20-50
Pavimentado de bajo volumen de tránsito	15-25
Afirmado de bajo volumen de tránsito	10-20

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993

## Variables Dependientes

### Tránsito (EE o $W_{18}$ )

La principal consideración a tener en mente en el diseño es la cantidad de solicitaciones para las que será diseñado el pavimento. Para unificar criterios de carga el método utiliza el concepto de ejes equivalentes y factores de equivalencia de carga.

La cantidad de ejes equivalentes solicitantes es la cantidad de solicitaciones de diferentes tipos de vehículos transformados a eje patrón, esto quiere decir, ejes correspondientes a una solicitación de 80 KN en el pavimento.

Para realizar la transformación existe una relación para los pavimentos rígidos y una para pavimentos flexibles. Esta transformación depende además del peso del eje solicitante, el tipo de eje (simple, tándem, tridem), la serviciabilidad final del pavimento y del espesor de la losa de hormigón.

Debido a que los EE se calculan de manera distinta para pavimentos flexibles que para rígidos, es posible tener una diferencia en la cantidad de EE solicitantes aun cuando el tránsito fuera el mismo.

$$W_{18} = D_D \cdot D_L \cdot w_{18}$$

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993

Dónde:

$w_{18}$ = Ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones

$D_D$ = Factor de distribución direccional

$D_L$ = Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido

### Factor de distribución por carril

En una calzada de dos carriles, uno en dirección opuesta al otro, el carril de diseño vendría ser uno de ellos, por lo tanto el factor de distribución por carril sería del 100%. Para vías multicarriles el factor de distribución estaría en

función del número de carriles en cada dirección de dicha vía, por lo cual la guía AASHTO recomienda la siguiente tabla 17.

Tabla 17. Factor de distribución por carril

Número de carriles en cada dirección	Porcentaje de ejes equivalentes 18kips en carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4 ó más	50-75

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993

### Módulo de Resiliencia ( $M_R$ ):

Para los pavimentos asfálticos el suelo de fundación es caracterizado por su módulo resiliente. El comportamiento de los suelos tiene generalmente una componente elástica y una inelástica. Conforme el suelo es sometido a ciclos de carga y descarga va acumulando deformaciones, las cuales van disminuyendo con cada ciclo. De esta manera el suelo llega a un estado tal en que toda la deformación es recuperable tras un determinado número de cargas; en este punto la razón entre la tensión y la deformación experimentada representa el módulo resiliente del suelo.

$$M_R(\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

Fuente: Appendix CC-1 "Correlation of CBR Values with Soil Index Properties".

NCHRP Project 1-37A, 2001

Dónde:

$M_R$  = Modulo de Resiliencia

CBR = California Bearing Ratio, valor de la subrasante)

### Confiabilidad

El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad (R%) que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto. Esta probabilidad

está en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento; sin embargo, solicitudes diferentes a las esperadas, como por ejemplo, calidad de la construcción, condiciones climáticas extraordinarias, crecimiento excepcional del tráfico pesado mayor a lo previsto y otros factores, pueden reducir la vida útil prevista de un pavimento. (Ver tabla 18).

La confiabilidad no es un parámetro de ingreso directo en la Ecuación de Diseño, para ello debe usarse el coeficiente estadístico conocido como Desviación Normal Estándar ( $Z_R$ ).

Tabla 18. Confiabilidad

Clasificación funcional	Porcentajes de confiabilidad	
	Urbana	Rural
Interestatal y vías expresas	85-99.9	80 -99.9
Arteriales – Vías Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

### **Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_R$ )**

El coeficiente estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_R$ ) representa el valor de la Confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal. Ver Tabla 19.

Tabla 19. Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_R$ )

Confiabilidad (R%)	Desviación Estándar Normal ( $Z_R$ )
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282

<b>Confiabilidad (R%)</b>	<b>Desviación Estándar Normal (ZR)</b>
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

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

La Desviación Estándar Combinada (So), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo. (Ver Tabla 20.)

La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de Son comprendidos entre 0.40 y 0.50.

Tabla 20. Desviación Estándar Combinada (So)

<b>Desviación Estándar So</b>	
<b>Pavimento</b>	<b>Rango</b>
Rígido	0.30-0.40
Flexible	0.40-0.50

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

### **Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)**

El Índice de Serviciabilidad Presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor.

Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece. Ver tabla 21.

Tabla 21. Índice de Serviciabilidad

<b>Índice de Serviciabilidad (PSI)</b>	<b>Condición</b>
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy Mala

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

### **Serviciabilidad Inicial (Pi)**

La Serviciabilidad Inicial (Pi) es la condición de una vía recientemente construida.

### **Serviciabilidad Final o Terminal (PT)**

La Serviciabilidad Terminal (Pt) es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción.

### **Variación de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)**

Es la diferencia entre la Serviciabilidad Inicial y Terminal asumida para el proyecto en desarrollo.

## Variables Dependientes

### Numero estructural requerido (SNr)

Numero estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido, en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa que conforman la estructura del pavimento, la cual es el resultado de iterar la ecuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN_r + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN_r + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

### Numero estructural propuesto (SNprop)

Los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño AASHTO y se obtiene el Número estructural requerido, que representa el espesor total del pavimento a colocar.

La metodología se basa en determinar un numero estructural propuesto (SNprop) que deberá ser mayor o igual al (SNr), para la estructura del pavimento de tal manera que pueda soportar las cargas de tráfico solicitadas en el período de vida útil con los suelos de fundación existentes, ofreciendo un determinado nivel de confort y serviciabilidad.

$$SN_{prop} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Además se debe cumplir que el número estructural propuesto sea mayor o igual al número estructural requerido

$$SN_{req} \leq SN_{prop}$$

Dónde:

$a_1, a_2, a_3$ =Coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente.

$D_1, D_2, D_3$ =Espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente.

$m_2, m_3$  =Coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente.

**Coeficientes de capas de bases y subbases en pavimentos flexibles en función a la calidad del drenaje prevista y el tiempo de exposición a humedades (Ver Tabla 22).**

Se presentan los valores recomendados para los coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase ambos granulares sin estabilizar, en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento pueda ser expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 22. Coeficientes de Drenaje

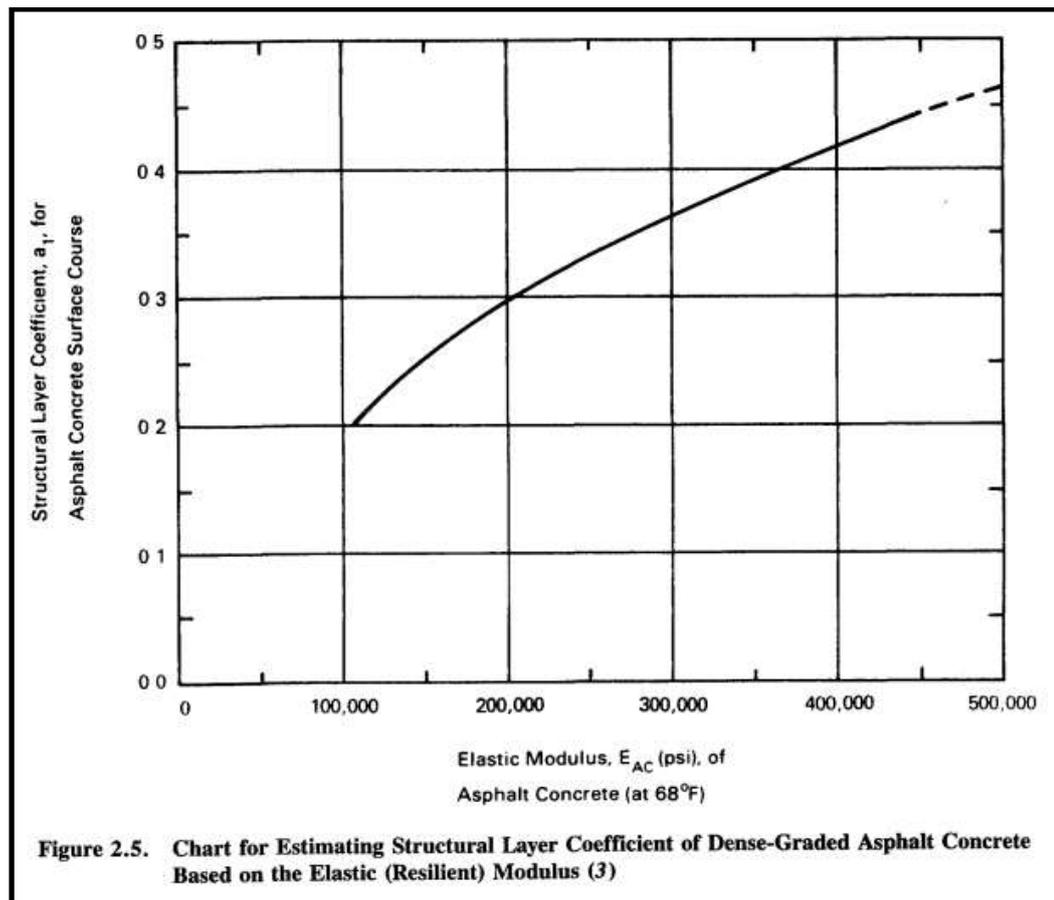
Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próxima a la Saturación			
	Menor que 1%	1%-5%	5%-25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	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

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

**Determinación de espesores de los coeficientes de cada capa estructural  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  mediante figuras y/o ábacos.**

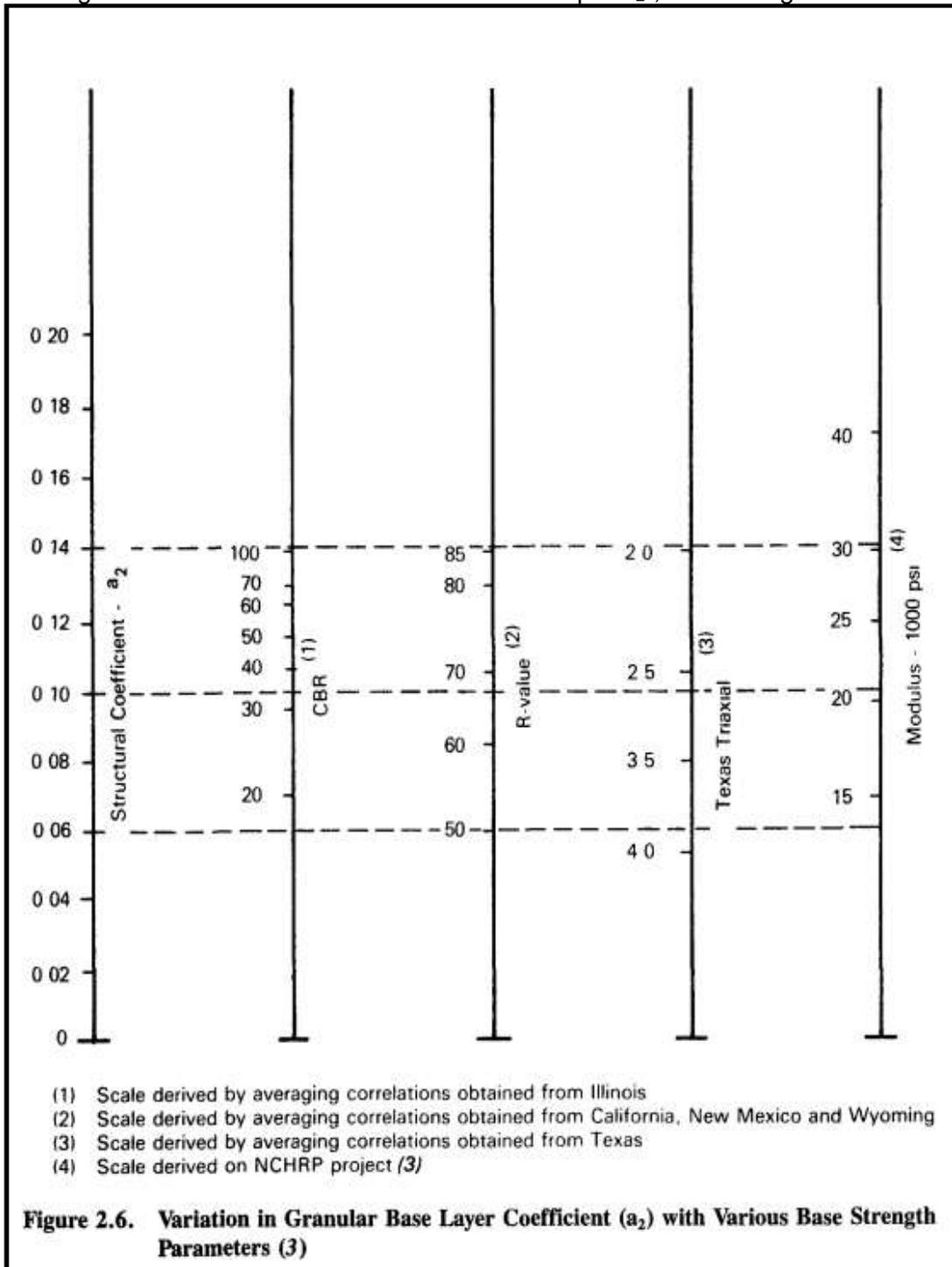
A continuación se presentan los diferentes ábacos para determinar los coeficientes de cada capa estructural. Ver figuras del 12 al 16.

Figura 12. Coeficiente estructural de capa “ $a_1$ ” en función del módulo elástico del concreto asfáltico.



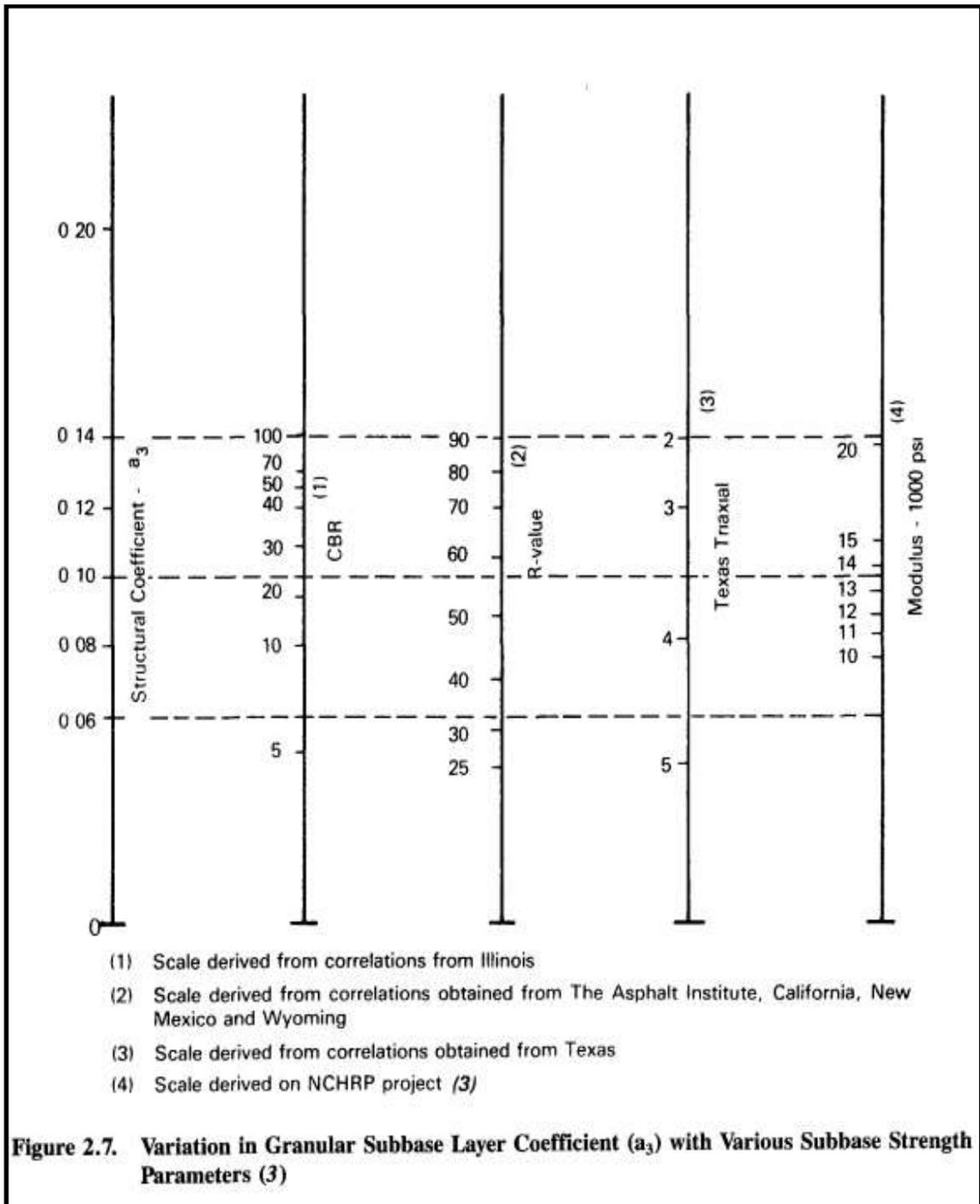
Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

Figura 13. Variación de los coeficientes de capa "a<sub>2</sub>", en bases granulares.



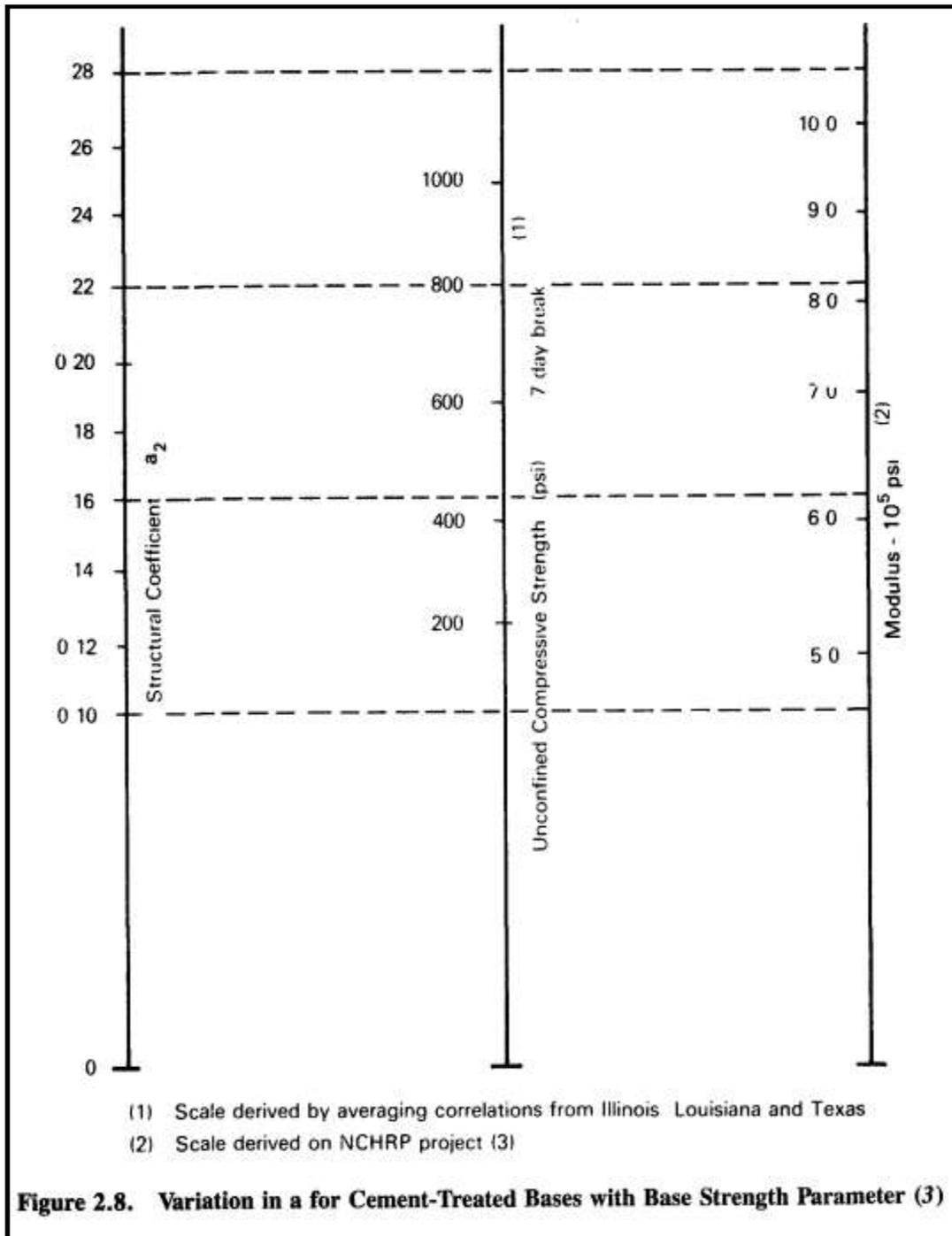
Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

Figura 14. Variación de los coeficientes de capa "a<sub>3</sub>", en subbases granulares



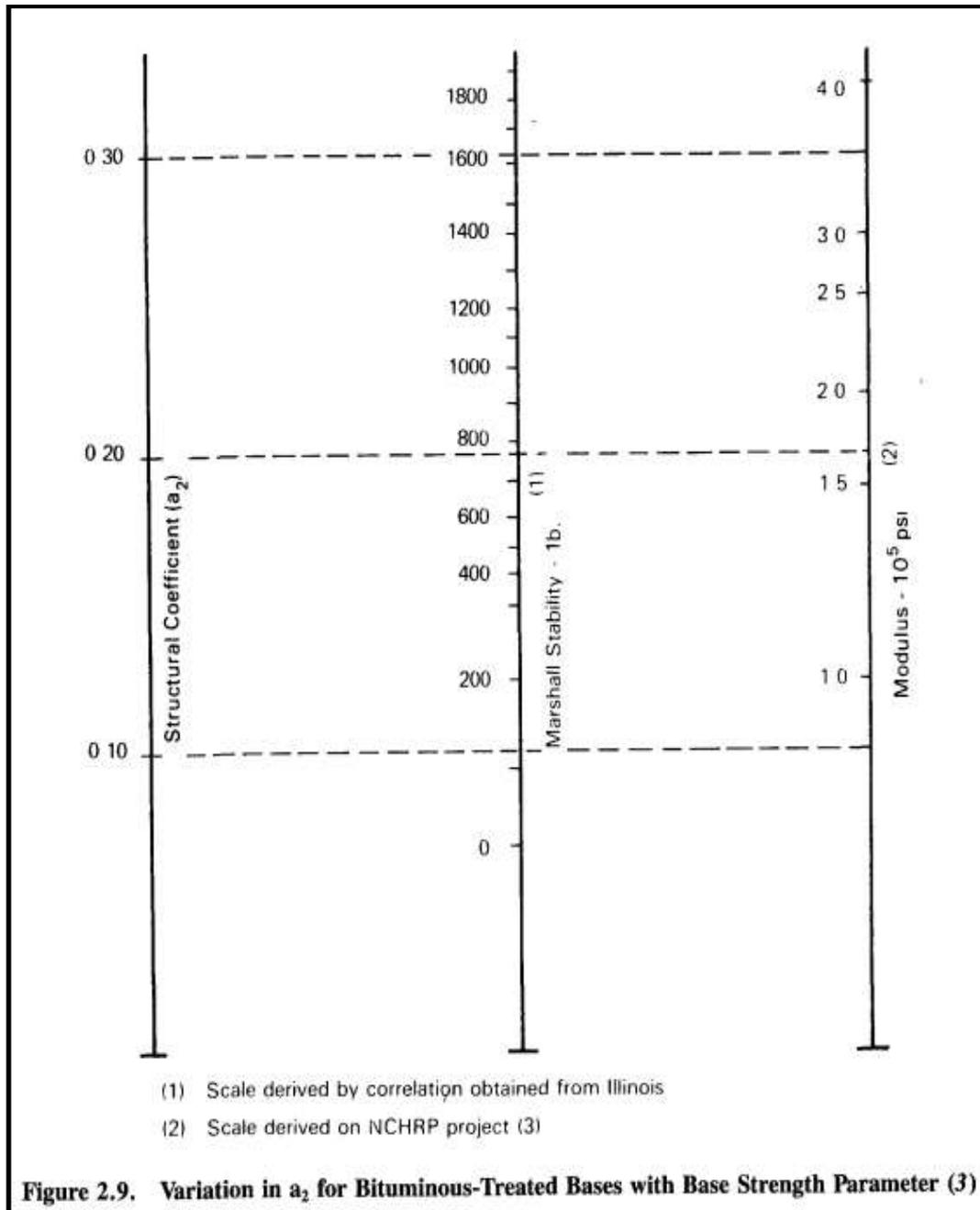
Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

Figura 15. Variación de los coeficientes de capa "a<sub>2</sub>", en Bases tratados con cemento



Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

Figura 16. Variación de los coeficientes de capa "a<sub>2</sub>", en Bases tratados con material bituminoso



Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

## Método NAASRA

El método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities) hoy AUSTROADS, indicado en el Manual de Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Transito aprobado con resolución directoral N° 303-2008-MTC/02 del 04.04.2008. Relaciona el valor de Soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de ejes equivalentes.

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

Dónde:

e = Espesor del material granular en mm

CBR = California Bearing Ratio, valor de la subrasante

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

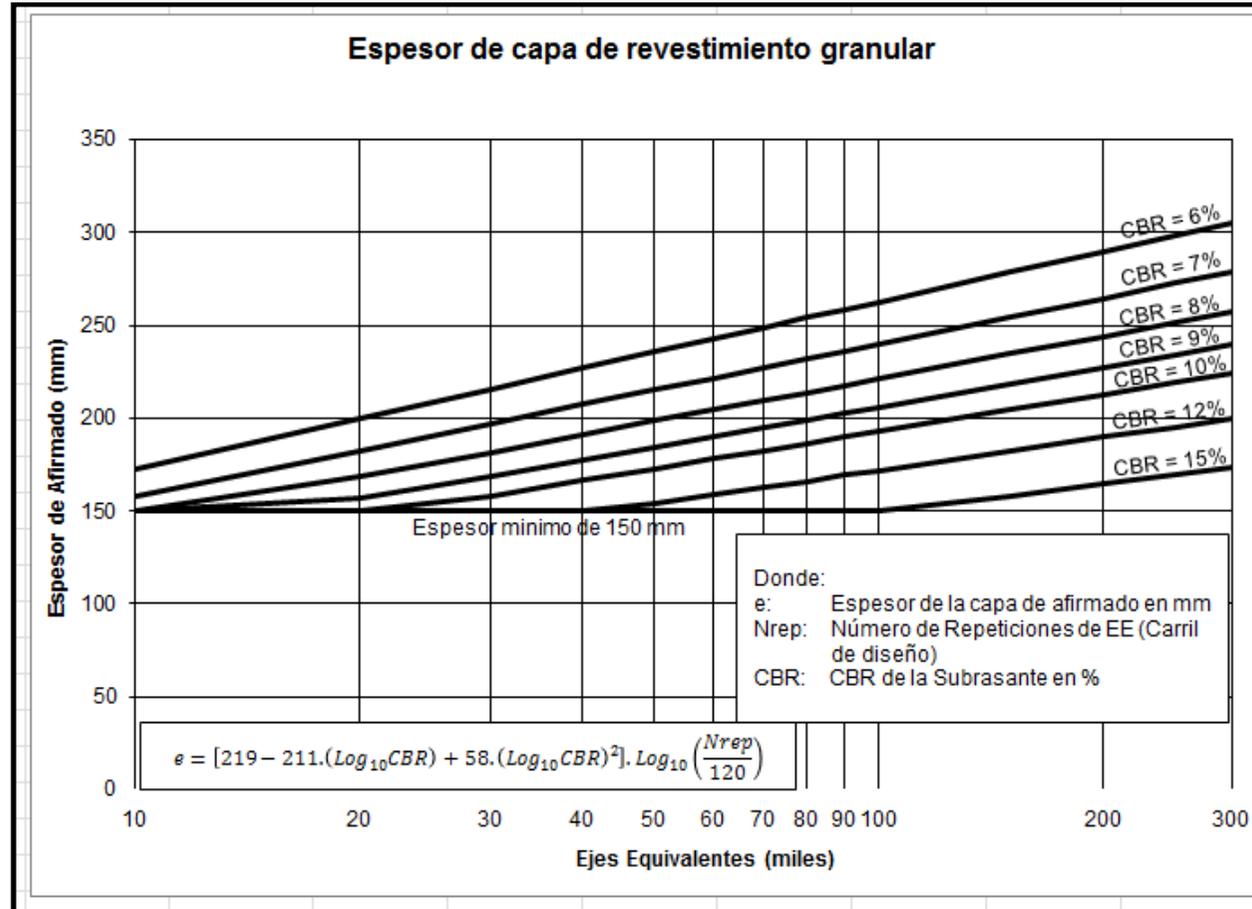
A continuación se presentan los espesores de afirmado propuesto considerando subrasantes con CBR > 6% hasta un CBR < 15 % y de tráfico con número de repeticiones de hasta 300 000 ejes equivalentes. Ver tablas 23 y 24.

Tabla 23. Aplicación del Método NAASRA

ESPESOR DE CAPA (mm):								
ESAL (E.E.) \ CBR (%)	6	7	8	9	10	12	15	
10,000	173	158	150	150	150	150	150	
20,000	200	182	168	157	150	150	150	
30,000	216	197	182	169	158	150	150	
40,000	227	207	191	178	167	150	150	
50,000	236	215	198	185	173	154	150	
60,000	243	222	204	190	178	159	150	
70,000	249	227	210	195	183	163	150	
80,000	254	232	214	199	186	166	150	
90,000	259	236	218	203	190	169	150	
100,000	263	240	221	206	193	172	150	
150,000	279	254	235	218	204	182	158	
200,000	290	265	244	227	213	190	165	
250,000	298	272	251	234	219	195	169	
300,000	306	279	257	239	224	200	174	

Fuente: Elaboración propia en base al método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy Austroads)

Tabla 24. Espesor de material granular



Fuente: Elaboración propia en base al método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy Austroads)

#### **2.2.2.4 Método de las diferencias acumuladas**

La elaboración de un buen diseño de pavimentos recae en la correcta definición de unidades de diseño estadísticamente homogéneas.

Para delimitarlas el diseñador se basa tanto en los antecedentes históricos de la vía, como en la inspección del estado superficial del pavimento y el análisis de algunas variables que, a través de medidas numéricas, permitan conocer la condición real del pavimento.

El establecimiento de tramos homogéneos a través de estas últimas se puede efectuar de manera subjetiva, realizando un dibujo que muestre el comportamiento de la variable medida a lo largo del proyecto o se puede realizar de una manera más objetiva mediante procedimientos analíticos, entre los cuales se puede citar el de las “Diferencias Acumuladas”, descrito en el apéndice J de la “GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS AASHTO 1993”.

El procedimiento, de tipo estadístico, se basa en el hecho estadístico simple de cuando la variable  $Z_x$  (Definida como la diferencia entre el área bajo la curva de respuesta a cualquier distancia y el área total desarrollada por la respuesta promedio de todo el proyecto hasta la misma distancia) se dibuja como función de la distancia a lo largo del proyecto, los límites de los tramos homogéneos ocurren en los puntos donde la pendiente de la línea que representa la variación de  $Z_x$  con la longitud, cambia de signo. Ver cuadro 14.

Cuadro 14. Solución tabulada de la aproximación sucesiva de las diferencias acumuladas

(1) Estacion (KM)	(2) Valor de Respuesta del pavimento ( $r$ )	(3) Numero de Intervalo ( $n$ )	(4) Distancia del intervalo ( $\Delta x$ )	(5) Distancia acumulada ( $\Sigma \Delta x$ )	(6) Valor de respuesta Promedio ( $\bar{r}$ )	(7) Area del Intervalo Real ( $a$ )	(8) Area Acumulada ( $\Sigma a$ )	(9) $Z_x$ $Z_x = (8) - F^*(5)$
1	$r_1$	1	$\Delta x_1$	$\Delta x_1$	$\bar{r}_1 = r_1$	$a_1 = \bar{r}_1 \cdot \Delta x_1$	$a_1$	$Z_{x1} = a_1 - F^* \Delta x_1$
2	$r_2$	2	$\Delta x_2$	$\Delta x_1 + \Delta x_2$	$\bar{r}_2 = (r_1 + r_2) / 2$	$a_2 = \bar{r}_2 \cdot \Delta x_2$	$a_1 + a_2$	$Z_{x2} = (a_1 + a_2) - F^*(\Delta x_1 + \Delta x_2)$
3	$r_3$	3	$\Delta x_3$	$\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3$	$\bar{r}_3 = (r_2 + r_3) / 2$	$a_3 = \bar{r}_3 \cdot \Delta x_3$	$a_1 + a_2 + a_3$	.
$L_p$	$r_n$	$N_t$	$\Delta x_{nt}$	$\Delta x_1 + \dots + \Delta x_{nt}$	$\bar{r}_{nt} = (r_{n-1} + r_n) / 2$	$a_{nt} = \bar{r}_{nt} \cdot \Delta x_{nt}$	$a_1 + \dots + a_{nt}$	$Z_{xnt} = (a_1 + \dots + a_{nt}) - F^*(\Delta x_1 + \dots + \Delta x_{nt})$

$$A_t = \sum_{i=1}^{nt} a_i$$

$$F = A_t / L_p$$

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993 – Apéndice J.

### 2.2.2.5 Proceso de reciclado en frío

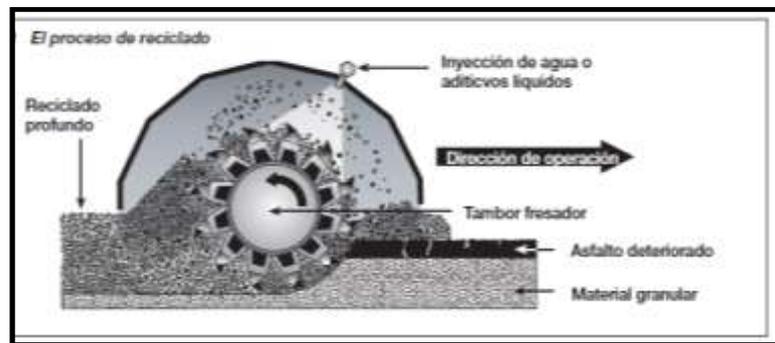
El reciclado en frío puede ser realizado en planta o in-situ. En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo). In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil. En general, el proceso en planta es la opción más cara en términos de costo por metro cúbico de material. Ver figura 17.

Esto se debe principalmente a los costos de transporte, que no existen en el reciclado in situ. Sin embargo, ambos métodos de reciclado tienen su nicho en la industria de la construcción y la decisión sobre cuál debe ser aplicado está definido básicamente por:

- Tipo de construcción. El proceso en planta habitualmente es considerado donde el material reciclado se puede utilizar en la construcción de un nuevo pavimento asfáltico, y en el refuerzo de un pavimento existente.
- El material in-situ del pavimento existente que va a ser reciclado. Cuando el material de la capa superior de un pavimento existente va a ser reciclado, la variabilidad y/o condición del material en ocasiones requiere un proceso de selección o pre-tratamiento (por ejemplo, reducir el tamaño de una capa asfáltica gruesa). En la actualidad, el tratamiento in-situ de los materiales de pavimentos es de uso generalizado, debido a la llegada de potentes máquinas recicladoras que pueden rehabilitar pavimentos a una fracción del costo de los métodos de reconstrucción convencionales.

Además, considerando la situación de los pavimentos a nivel mundial, la rehabilitación de pavimentos existentes excede ampliamente la demanda por caminos nuevos. Como consecuencia de esto, el reciclado in-situ ha sido adoptado en muchos países como el método recomendado para abordar el enorme trabajo pendiente en términos de rehabilitación de pavimentos, ver figura 18.

Figura 17. Proceso de reciclado



Fuente: Manual Wirtgen

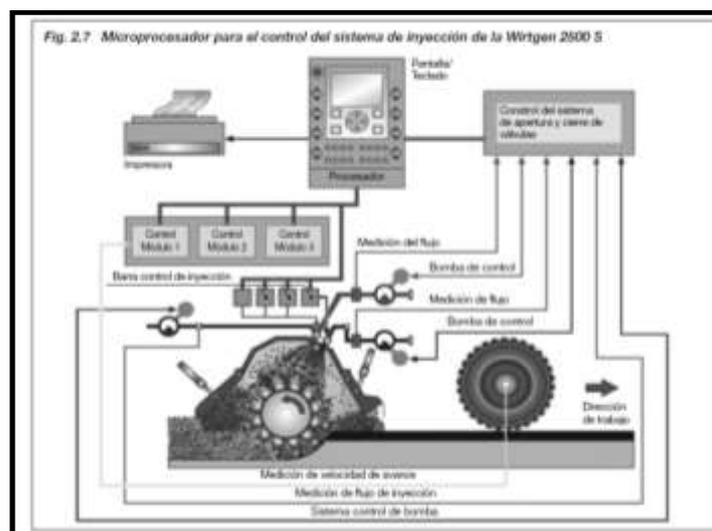
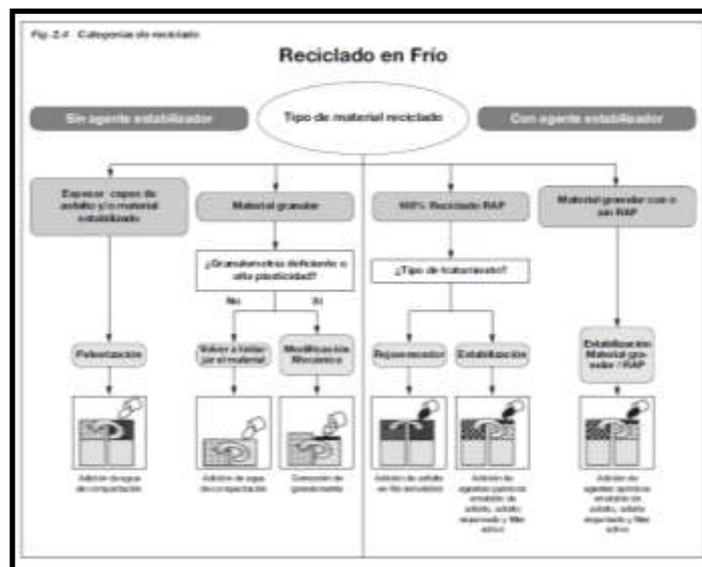
### Beneficios del Reciclado en Frío

Algunos de los beneficios más evidentes del reciclado en frío para la rehabilitación de pavimentos son:

– Factores medio ambientales. Se hace uso del 100% de los materiales del pavimento existente. No se necesita crear sitios de empréstitos de materiales, y el volumen del nuevo material que debe ser importado a la obra desde pozos de agregados es minimizado. Esto reduce los efectos en el medio ambiente (en la actualidad, y debido a los métodos tradicionales de construcción, es frecuente observar cortes de gran tamaño en cerros, para extraer materiales de construcción), los cuales son inevitables cuando se abre una zona para extraer materiales de empréstito. Además, el transporte es reducido en forma drástica. El consumo de energía total es reducido en forma considerable, así como el efecto destructivo de los vehículos de transporte en la red vial.

- Calidad de la capa reciclada. Se logra una alta y consistente calidad de mezclado de los materiales in situ con el agua y los agentes estabilizadores. La adición de fluidos es precisa debido al microprocesador que controla los sistemas de bombeo. El material reciclado, más los aditivos, son mezclados en forma intensa en la cámara del tambor fresador-mezclador.
- Integridad estructural. El proceso de reciclado en frío produce capas ligadas gruesas que son homogéneas y no contienen interfaces débiles con otras capas más delgadas, ver figura 18.

Figura 18. Categorías de reciclado



Fuente: Manual Wirtgen

## **2.2.3 Formulación de Hipótesis**

### **2.2.3.1 Hipótesis general**

Las técnicas de diseño de pavimentos básicos tienen diferentes impactos efectuados dentro del ámbito económico e innovador para la conservación vial del tramo V de la carretera Acobamba-Puente Alcomachay.

### **2.2.3.2 Hipótesis específicas**

- Los criterios geotécnicos determinan las características de suelo y los espesores del diseño de pavimento básico.
- La adición del cemento en el suelo reciclado produce una adecuada resistencia al pavimento básico.
- El número estructural propuesto es un parámetro fundamental en el diseño de pavimento básico para la conservación vial.

### **2.2.3.3 Variables**

#### Variables Dependientes

- a) Conservación vial
- b) Criterios geotécnicos
- c) Numero estructural
- d) Suelo reciclado

#### Variables Independientes

- e) Diseño de Pavimento básico

### **2.2.3.4 Definición Conceptual de las variables**

**Diseño de Pavimento básico:** El diseño de pavimentos es una disciplina de la ingeniería civil que se encarga de la determinación de los espesores y de las características físico mecánicas que deben tener los materiales que componen la estructura de una vía para que sea capaz de soportar las cargas de tráfico y ambientales.

**Criterios geotécnicos:** El diseño por criterios geotécnicos se evalúa a partir de los componentes de la infraestructura del pavimento. Por lo cual esto relaciona todo el estudio de suelos y estabilizadores en el tramo a evaluar. El diseño requiere de un criterio que finiquita en la evaluación de ensayo para resolver la resistencia del suelo.

**Conservación Vial:** La conservación vial es un proceso que involucra actividades de obras e instalaciones, que se realizan con carácter permanente o etapa limitada en los tramos conformantes de una red vial.

**Procedimientos de construcción:** El proceso constructivo de una vía es un conjunto de actividades relacionadas entre sí con un mismo objetivo, siguiendo los parámetros según el reglamento o norma con la disponibilidad de evaluar innovaciones para un mejor rendimiento y presupuesto.

**Numero estructural:** indicativo del espesor total del pavimento requerido, en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa que conforman la estructura del pavimento.

**Suelo reciclado:** cumple la función de estabilizarlo mejorando sus componentes físicos y químicos. Este fue agregado en porcentajes según los subtramos a ejecutar en función a una cantera cercana.

### 2.2.3.5 Operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
<b>Variable Independiente:</b> Diseño de Pavimento Básico.	Métodos	Método Austroads (Naasra)	Espesor de la capa de pavimento en mm ( e )
		Método Aashto 93	Numero Estructural (Sn)
	Fuentes de Agua	Lagunas,	Resultado de ensayos químicos ph, cloruros, sulfatos, alcalinidad, sales disueltas, materia orgánica, sólidos en suspensión (unidad ppm)
		Quebradas	
		Ríos	
	Agente Estabilizador	Suelo Cemento	Porcentaje de cemento Portland
			Porcentaje de recarga de cantera - Afirmado existente.
	Flujo vehicular	IMDA	EAL O EE
Factor de eje equivalente			
<b>Variable dependiente:</b> Conservación vial	Equipos	Producción de material	Transitabilidad
			Elección de cantera según la subdivisión del tramo
			Volquetes
			Cargador frontal
	Equipos	Procedimiento de Aplicación	Maquina recicladora( fresador - mezclador)
			Dosificar correctamente porcentaje de recarga-agua-cemento según ensayos laboratorio
			Inyección de agua y porcentaje de cemento a máquina recicladora
			Motoniveladora
			Verificación de altura de capa (considera % esponjamiento)
			Rodillo compactador
Etapas	Conservación Inicial de Transitabilidad	6 meses	

VARIABLES	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
		Conservación rutinaria Antes de	Kilometro /año
		Conservación rutinaria Después de	Kilometro /año
		Conservación Periódica	Kilometro
<b>Variable Independiente:</b> Diseño de Pavimento Básico.	Geotecnia de suelos de fundación	Comportamiento del suelo granular	Análisis granulométrico por tamizado
		Plasticidad de suelo	Límite Líquido
			Límite Plástico
		Propiedades	Contenido de humedad
<b>Variable dependiente:</b> Criterios geotécnicos		Resistencia de capa estructural	Resistencia a la compresión
			Relación de Soporte de California (CBR)
<b>Variable Independiente:</b> Diseño de Pavimento Básico.	Proceso de aplicación suelo cemento	Reciclado en frio	Producción 10km/día - ancho de calzada 2.75 m.
<b>Variable dependiente:</b> cantidad a adicionar al suelo cemento		Nivelación por capas- Tratamiento	Producción : 8km/dia
<b>Variable Independiente:</b> Diseño de Pavimento Básico	Numero	Numero estructural requerido	SNreq ≤ SNprop
<b>Variable dependiente:</b> numero estructural		Numero estructural propuesto	

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.1 Diseño de la investigación**

El marco metodológico de la presente investigación, donde se propone desarrollar los diferentes diseños de pavimentos básicos, es necesario situar al detalle, el conjunto de métodos, técnicas y protocolos experimentales que se emplearan en el proceso de recolección de datos requeridos en la investigación propuesta.

Por tanto, de acuerdo al problema planteado y en función a los objetivos propuestos, se incorpora el tipo de investigación aplicada a un nivel experimental por las secuencias realizadas y va orientado a proporcionar respuestas y soluciones a problemas planteados en una determinada realidad: organizacional, social, económica y técnica.

### **3.2 Población y muestra**

En el marco de la investigación e hipótesis mencionadas se procede a un método cuantitativo por contener datos perceptibles tanto en lo conceptual y operacional. A la vez refiere al desarrollo de diferentes diseños de pavimentos y usa el diseño de investigación experimental longitudinal como el plan o la estrategia global en el contexto del estudio propuesto.

El universo de la investigación es la Carreteras de Huancavelica, mientras que la población es la Carretera La Mejorada -Puente Alcomachay y la muestra es el Tramo V de 64.20 km (Acobamba- Puente Alcomachay). El tipo de muestreo es probabilística.

### **3.3 Técnicas de Recolección de Datos**

#### **3.3.1 Descripción de los instrumentos**

Para el desarrollo de nuestro proyecto se tuvo que realizar estudios de campo con un completo estudio de suelos, y finalizando la prueba de Resistencia de Compresión a la muestra suelo cemento, mediante el siguiente instrumento.

##### **Prensa Marshall Forney**

Prensa utilizada para realización del ensayo de la determinación de la fluencia y estabilidad de mezclas Bituminosas de Cemento Asfáltico de acuerdo con las normas de ensayo ASTM D-1559 y AASHTO T-245.

#### **3.3.2 Validez y confiabilidad de los instrumentos**

Los instrumentos utilizados de laboratorio así como las fuentes de datos que presentamos tiene la validez consistente ya que presentamos en los anexos, los certificados de calibración de todos los instrumentos utilizados para el correcto análisis de suelos.

### **3.4 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos**

- Trabajo de campo
- Ordenamiento y codificación de datos
- Tabulación de datos
- Tablas estadísticas
- Gráficos
- Análisis e Interpretación
- Conclusiones

### **3.5 Aspectos éticos**

Los datos obtenidos, fueron proporcionados por la Empresa COSAPI - Gerente Vial Ingeniero Guillermo Lazo Lázaro y los ensayos de laboratorio fueron ejecutados con personal técnico autorizado y realizados bajo las normativas vigentes.

## **CAPITULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1 Análisis e interpretación de los datos**

#### **4.1.1 Evaluación y diagnóstico en la situación actual**

Según lo establecido en los Términos de Referencia, los contratos de conservación vial por niveles de servicio tienen como objeto alcanzar un adecuado nivel de transitabilidad de la red vial nacional a través de la ejecución permanente de actividades de mantenimiento rutinario y reparaciones menores, mediante los servicios de conservación vial en un plazo de 5 años.

Para ello, el Consorcio Acobamba elaboró los trabajos de campo necesarios para evaluar la situación inicial de la carretera no pavimentada objeto del proyecto de Gestión y Conservación vial por niveles de servicio del Corredor Vial Huancavelica – Lircay – Emp. PE.-3S (Huallapampa) y Emp. PE 3S (La Mejorada) – Acobamba – Emp. PE 3S (Puente Alcomachay), mediante las mediciones de rugosidad, deflectometría y relevamiento de información.

El presente trabajo de investigación desarrolla los aspectos técnicos de la Situación Inicial del tramo V “Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay)” de la Ruta Nacional PE-3SM, el cual tiene una longitud aproximada de 64.20 km.

Esta tramificación y longitud está de acuerdo a los resultados de los trabajos realizados en campo de la evaluación de la situación inicial de los tramos.

#### **Tramo V Acobamba - Emp. PE 3S (puente Alcomachay)**

Este tramo hace parte de la trayectoria de la ruta PE-3SM, la longitud es de 64.20 km aproximadamente, su superficie de rodadura es en afirmado en su longitud total.

El contratista-conservador deberá ejecutar actividades de Conservación Rutinaria, Atención de Emergencias y todas las actividades de Gestión y relevamiento indicadas en los términos de Referencia.

## Antecedentes contractuales

Los Términos de Referencia establecen el Nivel de Servicio que se exigirá en el corredor vial durante el servicio. En las siguientes tablas 25 y 26, se presentan las Variables e Indicadores que se controlarán antes y después de la Conservación Periódica, correspondientemente, al Tramo V.

Tabla 25. Niveles de Servicio antes de la Conservación Periódica

Variable	Indicador	Forma de Medición	Tolerancia
<b>Calzada</b>	Baches	Visual	Sin baches
	IRI	Instrumental	< 8.0 m/Km.
<b>Limpieza</b>	Calzada y Bermas	Visual	Siempre limpia libre de escombros
<b>Drenaje</b>	Cunetas	Visual	Siempre limpia libre de escombros.
	Alcantarillas	Visual	Siempre limpia libre de escombros.
	Badenes	Visual	Siempre limpia libre de escombros.
<b>Señalización</b>	Vertical	Visual	Completas y limpias
<b>Elementos de seguridad</b>	Guardavías	Visual	Completos, pintados, limpios y sin deformación
	Delineadores	Visual	Completos, pintados y limpios
<b>Estructuras Viales</b>	Puentes	Visual	Pintados, limpios y libres de amenazas para su funcionamiento y conservación adecuados
	Pontones	Visual	Limpios y libres de amenazas para su funcionamiento y conservación adecuados
<b>Zonas Laterales (Derecho de vía)</b>	Roce	Visual	No se admite vegetación en Bermas ni en cunetas. Altura Máxima. 0.20 m en la zona del Derecho de Vía
	Talud inferior	Visual	No se admiten Erosiones.

Fuente: Términos de Referencia-Servicio de Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial, Tramo: Acobamba-Puente Alcomachay.

Tabla 26. Niveles de Servicio después de la Conservación Periódica

Variable	Indicador	Forma de Medición	Tolerancia
<b>Calzada</b>	Baches	Visual	Sin baches
	Fisuras > 2mm	Odómetro	No hay tolerancia
	Fisuras >1mm y < 2mm	Odómetro	5% de la muestra materia de evaluación (ml)
	Fisuras < 1mm	Odómetro	No se controlan, serán observadas por la supervisión para evitar el incremento
	IRI	Instrumental	< 3.5 m/k.
<b>Bermas</b>	Baches y Fisuras	Visual	Sin baches y sin fisuras > 2 mm
<b>Limpieza</b>	Calzada y Bermas	Visual	Siempre limpia libre de escombros
<b>Drenaje</b>	Cunetas	Visual	Siempre limpia libre de escombros
	Alcantarillas	Visual	Siempre limpia libre de escombros
	Badenes	Visual	Siempre limpia libre de escombros
<b>Señalización</b>	Vertical	Retroreflectómetro vertical.	Completas y limpias Blanco: 70cd/lux*m2; Amarillo: 50cd/lux*m2; verde: 9cd/lux*m2. Equipo proporcionado por el Contratista
	Horizontal	Retroreflectómetro horizontal	Blanco: 150mcd/lux*m2; Amarillo: 120mcd/lux*m2.º Equipo proporcionado por el Contratista
<b>Elementos de seguridad</b>	Guardavías	Visual	Completos, pintados, limpios y sin deformación
	Delineadores	Visual	Completos, pintados y limpios
<b>Estructuras Viales</b>	Puentes	Visual	Pintados, limpios y libres de amenazas para su funcionamiento y conservación adecuados
	Pontones	Visual	Limpios y libres de amenazas para su funcionamiento y conservación adecuados
<b>Zonas Laterales (Derecho de vía)</b>	Roce	Visual	No se admite vegetación en Bermas ni en cunetas. Altura Máxima. 0.20 M. en la zona del Derecho de Vía
	Talud inferior	Visual	No se admiten Erosiones.

Fuente: Términos de Referencia-Servicio de Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial, Tramo: Acobamba-Puente Alcomachay.

#### **4.1.2 Metodología empleada para los trabajos de medición en campo de la situación inicial**

Los trabajos realizados en campo fueron:

- Trabajos de campo de la inspección visual de daños superficiales de la vía afirmada.
- Trabajos de campo de las mediciones de rugosidad
- Trabajos de campo de las mediciones de deflexiones

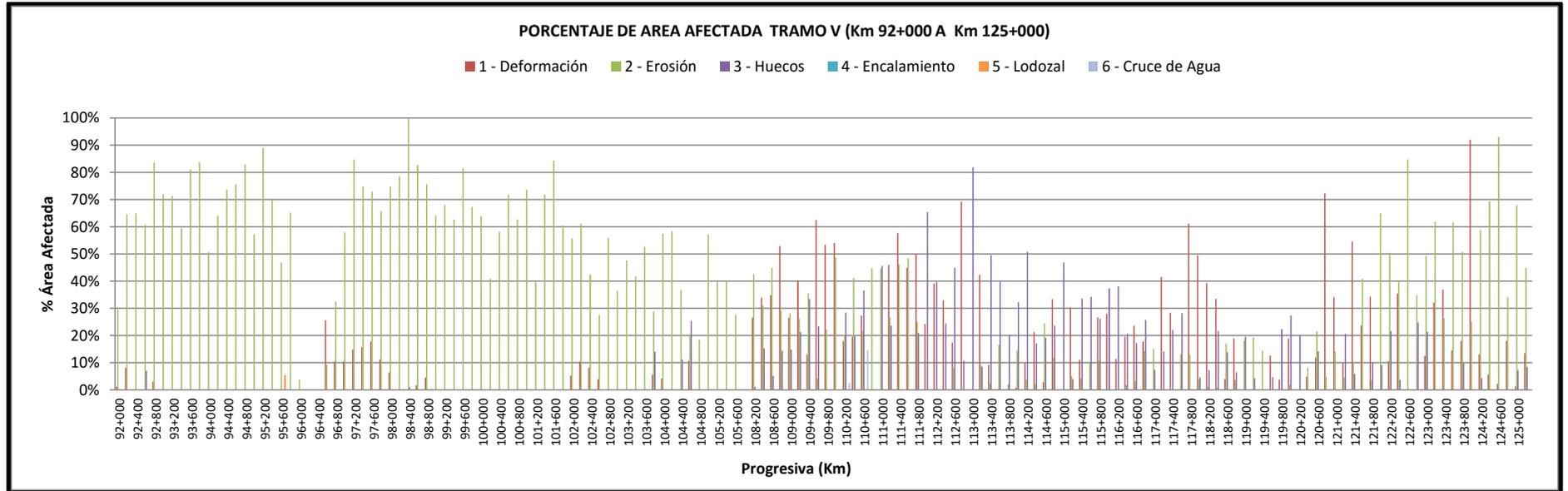
De los cuales se obtuvieron los resultados.

#### **4.1.3 Evaluación superficial, tramo V Acobamba – puente Alcomachay**

Es importante indicar inicialmente que la evaluación de la superficie del pavimento se realizó en el mes de setiembre de 2013 por lo que los resultados reflejan el estado de la vía en ese período.

A continuación en las siguientes figuras 19 y 20, se presenta la distribución porcentual de los daños encontrados para el tramo evaluado:

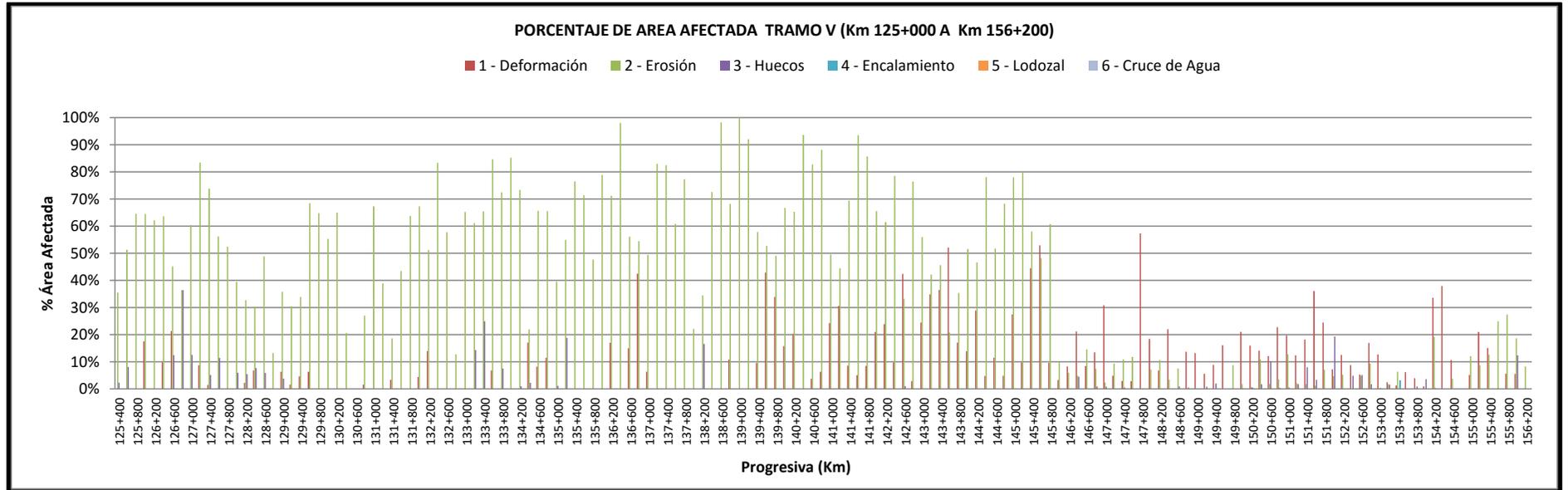
Figura 19. Evaluación Superficial tramo Acobamba - Puente Alcomachay



Fuente: Elaboración propia.

En la figura se presenta el tramo entre Km 92+000 al Km 125+000. Se puede observar que entre el Km 92+000 al Km 104+000 el tipo de daño erosión es el más relevante y llega a tener un porcentaje de afectación hasta un 100% en este tramo; asimismo se identifica que el daño huecos y deformación predomina entre el Km 110+600 al Km 114+200.

Figura 20. Evaluación Superficial Acobamba - Puente Alcomachay

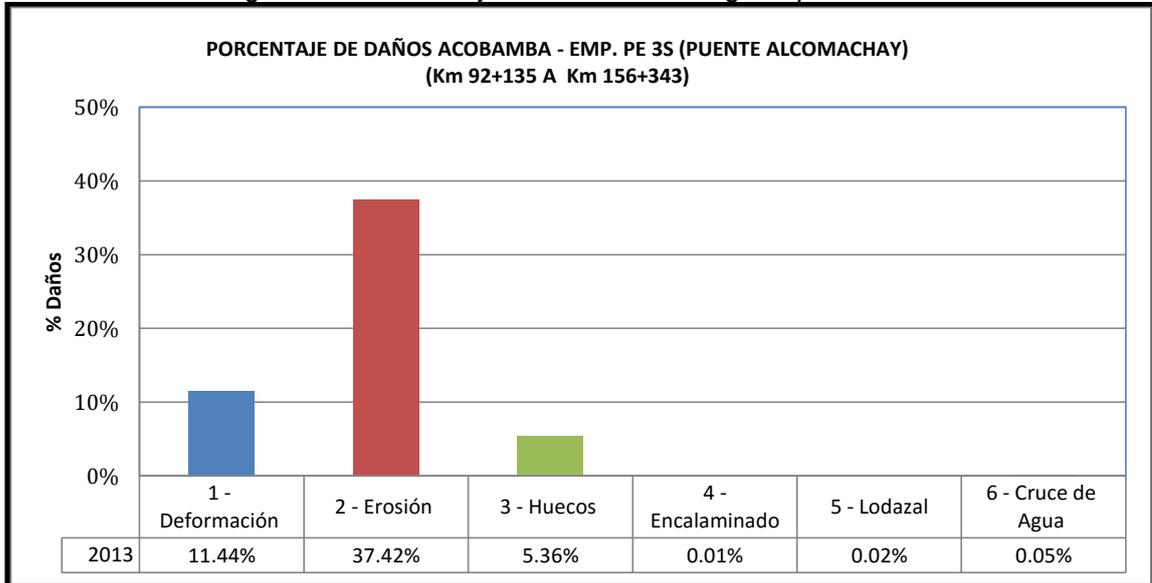


Fuente: Elaboración propia.

En la figura se presenta el tramo restante, del Km 125+000 al Km 156+200. Se observa que este sector presenta principalmente el tipo de daño erosión, dando los niveles más altos de estos en el tramo entre el Km 132+200 al Km 141+800 hasta con un 100% de erosión; asimismo se identifican daños del tipo formación y huecos en porcentajes menores al 60% a lo largo del presente tramo.

A continuación se presenta la distribución del tipo de fallas encontradas en la presente evaluación, ver figura 21.

Figura 21. Porcentaje de afectación según tipo de falla



Fuente: Elaboración propia.

En la figura de barras se presenta la distribución de los tipos de falla y su respectivo porcentaje de afectación en el tramo. Se observa que la falla más frecuente son las erosiones (37.42%), seguido de las deformaciones (11.44%) y los huecos (5.36%). A continuación se presenta algunos de los daños encontrados, ver figura 22.

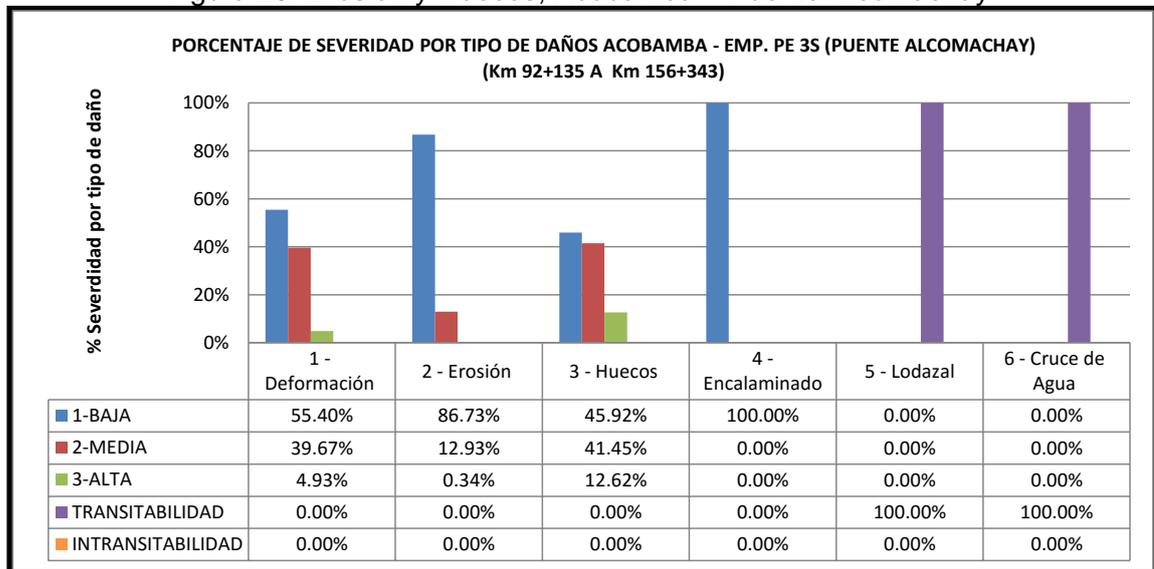
Figura 22. Erosión y Huecos, Acobamba – Emp. PE 3S (Puente ALCOMACHAY)



Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de identificar los niveles de severidad que predominan en el tramo evaluado, a continuación se presenta la distribución de los niveles de severidad para cada tipo de daño, ver figura 23.

Figura 23. Erosión y Huecos, Acobamba – Puente Alcomachay



Fuente: Elaboración propia.

En términos generales el nivel de gravedad que predomina en el tramo es el N° 2, correspondiente a un nivel bajo, indicando que el tramo presenta sectores transitables, sin embargo hay que indicar que de igual modo el tramo presenta sectores en donde es necesario adicionar una capa de material para mejorar la transitabilidad. En cuanto a lodazales y cruces de agua, cuentan con 100% y 100% respectivamente, los cuales se califican como “transitabilidad baja”.

Como conclusión podemos decir que entre el Km 92+000 al Km 113+000 y entre el Km 120+600 al Km 145+800, se tienen los sectores con mayor porcentaje de área afectada (>50%), con daños como deformaciones, erosiones y huecos. Los sectores restantes presentan daños con bajo porcentaje de afectación.

#### 4.1.4 Evaluación estructural, tramo V, Acobamba – puente Alcomachay

##### Sectorización del tramo

Los sectores homogéneos son aquellos que presentan un patrón similar en su comportamiento en términos de sus características ingenieriles tales como las propiedades de las capas del pavimento, espesores, niveles de deterioro, características del material de fundación, etc. La variable considerada fue la deflexión central.

La sectorización del corredor se realizó mediante el procedimiento de diferencias finitas acumuladas, cuyo principio básico parte del hecho matemático que cuando la variable  $Z_x$  (Diferencia entre el área bajo la curva de respuesta a cualquier distancia y el área total desarrollada por la respuesta promedio de todo el proyecto hasta la misma distancia), se grafica como función de la distancia a lo largo del proyecto, los límites de los tramos homogéneos ocurren en los puntos donde cambia la pendiente de la línea que representa la variación de  $Z_x$  con la longitud. A continuación un ejemplo de la sectorización obtenida a partir de la metodología descrita, ver figura 24.

Figura 24. Ejemplo de delimitación de secciones homogéneas

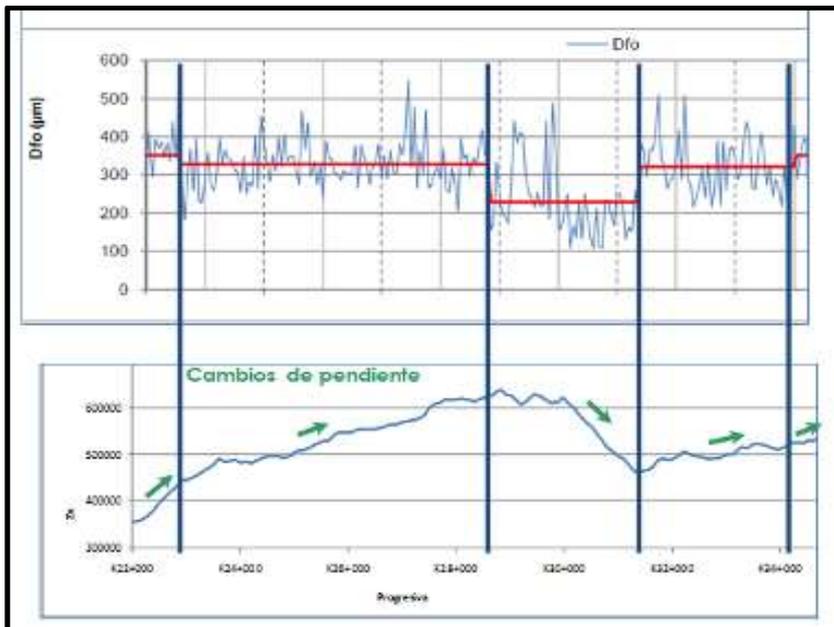


Gráfico de  $Z_x$  correspondiente a la variable Dfo.

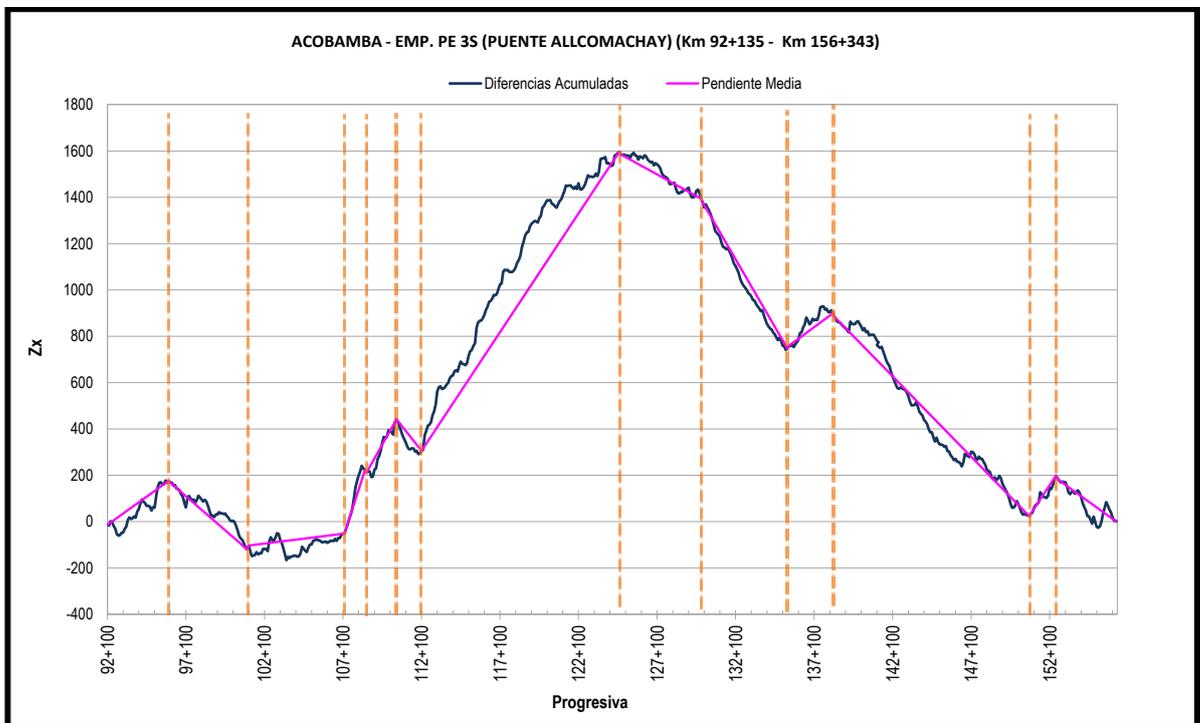
Las líneas azules representan el límite de los sectores homogéneos.

Fuente: Elaboración propia.

Con base en esto se determinó la sectorización respectiva y se realizó un procesamiento estadístico de la información, obteniéndose los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para cada uno de los sectores homogéneos determinados.

A continuación se presenta la figura 25, de diferencias acumuladas y los tramos homogéneos.

Figura 25. Distribución de diferencias acumuladas tramo V, Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay)



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla 27, se presenta el resumen de los tramos homogéneos encontrados mediante la deflexión máxima:

Tabla 27. Tramos homogéneos

<b>Sector</b>	<b>Inicio (km)</b>	<b>Fin (km)</b>
1	92+135	96+000
2	96+000	101+000
3	101+000	107+100
4	107+100	108+500
5	108+500	110+400
6	110+400	112+100
7	112+100	124+700
8	124+700	129+900
9	129+900	135+400
10	135+400	138+300
11	138+300	150+800
12	150+800	152+500
13	152+500	156+340

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo que evaluación funcional, las mediciones de deflectometría no se realizaron en la longitud del centro poblado de Acobamba, entre la progresiva Km 90+644 al Km 92+135, punto donde se encuentra dicho poblado.

#### 4.1.5 Evaluación funcional tramo V, Acobamba – puente Alcomachay

Es importante indicar inicialmente que la evaluación de la rugosidad del pavimento se realizó a mediados del mes de setiembre por lo que los resultados reflejan el perfil longitudinal del corredor vial en ese período.

En términos generales, para el tramo Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay) se tienen valores de IRI entre 2.8 y 33.2 m/km, con un valor promedio de 11.3 m/km. Más adelante se presentarán los sectores homogéneos del tramo con los valores promedio de cada parámetro evaluado.

En la regularidad superficial del Tramo V, cuya superficie es de material granular, se presentan resaltos (badenes, sectores críticos, puentes y pontones, depresiones por falta de elementos de drenaje, etc.) que afectan negativamente la condición funcional de la carretera, como se refleja en los valores de IRI obtenidos. Siendo consecuentes y teniendo en cuenta que el IRI es un indicador de la condición funcional de la carretera, el cálculo de valores promedio incluye las irregularidades o elementos como puentes, badenes, resaltos y zonas en afirmado y rígido, ya que su presencia ocasiona la reducción de la velocidad y por consiguiente baja el nivel de serviciabilidad de la vía, ver figura 26.

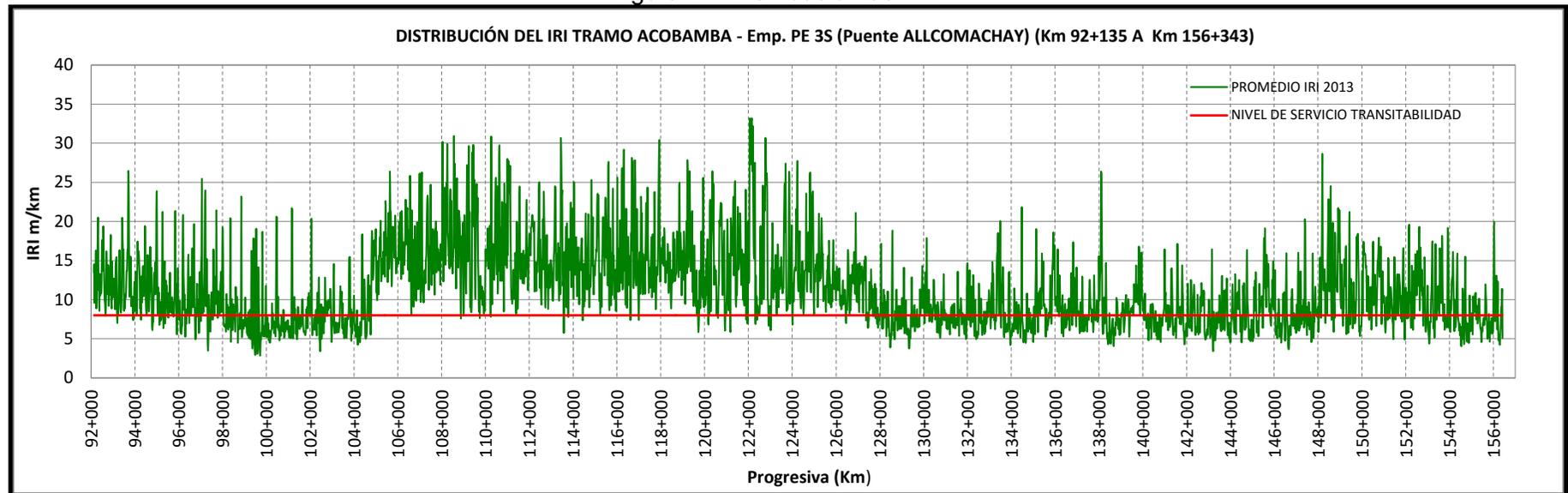
Figura 26. Superficie del tramo Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay)



Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura 27, presenta la distribución del IRI obtenido para el tramo en evaluación y el nivel de servicio exigido para transitabilidad.

Figura 27. Distribución del IRI



Fuente: Elaboración propia.

Una vez se determinaron valores de IRI representativo por sección, se calculó el Índice de Serviciabilidad Presente del pavimento (Present Serviceability Index - PSI), a partir de los valores de rugosidad obtenidos. La ecuación que se empleó para el cálculo de PSI es:

$$PSI = 5.e^{(-IRI/5.5)} \quad \text{IRI en m/km, Modelo HDM-III Paterson}$$

La siguiente tabla 28, muestra la clasificación de la serviciabilidad:

Tabla 28. Clasificación de la serviciabilidad

<b>Índice de Serviciabilidad (PSI)</b>	<b>Condición</b>
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy Mala

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

En la siguiente tabla 29. Se observa la clasificación de la serviciabilidad para cada tramo homogéneo:

Tabla 29. IRI promedio por tramo Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay) (Km 092+135 – Km 156+343).

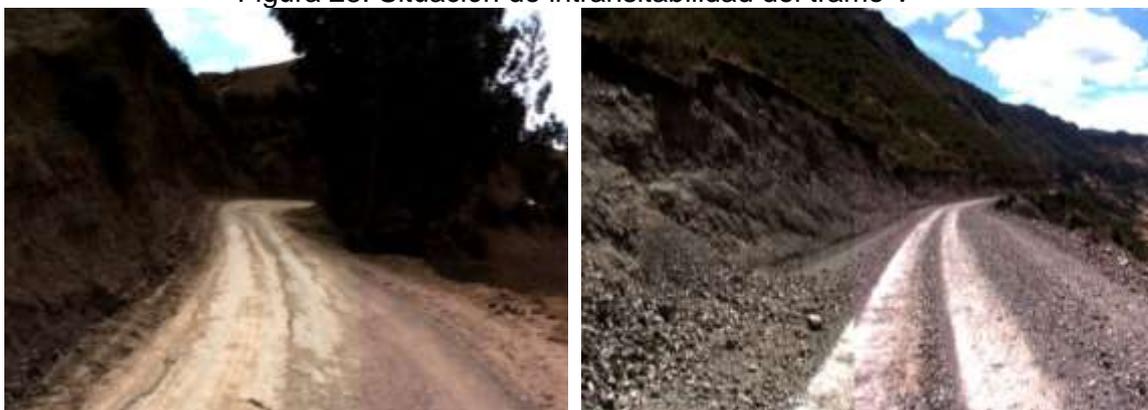
<b>Sector</b>	<b>Inicio (km)</b>	<b>Fin (km)</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>IRI promedio (m/km)</b>	<b>Promedio de PSI (Paterson)</b>	<b>Clasificación Serviciabilidad - PSI</b>
1	92+135	96+000	3.87	11.9	0.6	Muy Mala
2	96+000	101+000	5	8.7	1	Mala
3	101+000	107+100	6.1	11.1	0.7	Muy Mala
4	107+100	108+500	1.4	16.9	0.2	Muy Mala
5	108+500	110+400	1.9	16.4	0.3	Muy Mala
6	110+400	112+100	1.7	16.7	0.2	Muy Mala
7	112+100	124+700	12.6	15.2	0.3	Muy Mala
8	124+700	129+900	5.2	10.7	0.7	Muy Mala
9	129+900	135+400	5.5	8.5	1.1	Mala
10	135+400	138+300	2.9	9.5	0.9	Muy Mala
11	138+300	150+800	12.5	9.1	1	Mala

Sector	Inicio (km)	Fin (km)	Longitud (km)	IRI promedio (m/km)	Promedio de PSI (Paterson)	Clasificación Serviciabilidad - PSI
12	150+800	152+500	1.7	10.4	0.8	Muy Mala
13	152+500	156+340	3.84	8.9	1	Mala

Fuente: Elaboración propia

Si bien la vía presenta numerosos elementos diferentes a la superficie de material granular como son los badenes y puentes, el pavimento por si solo presenta una condición funcional bastante crítica que se agudiza en sectores donde la plataforma es inestable y por consiguiente irregular. El rango de variación del IRI promedio de los diferentes sectores se encuentra entre 8.5 y 16.9 m/Km. En conclusión, todos los tramos presentan valores promedios de IRI mayores al admisible (8m/km); siendo el tramo con mejor condición funcional esta entre el km 129+900 y el km 135+400 con un valor promedio de 8.5 m/km. El tramo más crítico es el N° 4, entre el K 107+100 y el K 108+500, seguido por los tramos N° 5, 6 y 7, con valores de IRI de 16.4, 16.7 y 15.2 m/Km respectivamente, mostrando una transitabilidad precaria, ver figura 28.

Figura 28. Situación de intransitabilidad del tramo V



Fuente: Elaboración propia.

En la figura se observa que este tramo presenta unas condiciones precarias de transitabilidad, lo cual se ve reflejado en el bajo índice de serviciabilidad.

## Normalización por carga de las deflexiones

Los datos de deflexión obtenidos en el estudio de la deflectometría se normalizan por carga (a 40 kN) teniendo en cuenta el valor de la carga con que fueron generadas y considerando que la reacción al aplicar la carga no siempre es constante. Esta corrección se realiza proporcionalmente, aplicando la siguiente ecuación, sugerida por la norma ASTM D 5858-96:

$$d_i = d_{i_0} * \frac{P_r}{P_0}$$

Dónde:

$d_i$  : Deflexión del sensor  $i$ , corregida a la carga  $P_r$ .

$d_{i_0}$  : Deflexión del sensor  $i$ , medida en campo con la carga de aplicación  $P_0$ .

$P_r$  : Carga a la cual se normalizarán las mediciones, en este caso igual a 40 KN.

$P_0$  : Carga (en KN) aplicada en las mediciones de campo.

Si bien no existe un nivel de servicio que cumplir en cuanto al valor de deflexión admisible, a continuación se presenta la comparación de las deflexiones máximas en términos de deflexiones de Viga Bekelman, contra la deflexión admisible, procedimiento que es comúnmente utilizado en Perú. Esta deflexión máxima, se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Da = \left( \frac{1.15}{N_{18}} \right)^{1/4}$$

Dónde:

$Da$ = Deflexión admisible (mm).

$N_{18}$ = Número total de ejes equivalentes a 18 kips (8.2 t), en millones. Para el período de análisis de 5 años se tienen 2.434 E+04 ejes equivalentes.

Es importante anotar que los valores de deflexión admisible son referenciales para vías de alto tráfico y no indican que solo en los sectores en que la deflexión supera a la admisible se presenta deficiencia estructural.

El valor de deflexión admisible para el tramo Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay) es de 262 centésimas de milímetro (1/100mm) teniendo en cuenta que el número de ejes equivalentes para el periodo de diseño (5 años) es de 2.434 E+04.

Mayor detalle de las mediciones por deflexiones, se encuentra contemplado en los anexos.

#### **4.1.6 Estudio de Tráfico**

El estudio de tráfico es uno de los componentes fundamentales en el diseño de pavimentos.

Disponer de un registro de las cantidades de vehículos, encuestas y/o cargas transmitidas al paquete estructural existente es primordial en el tramo Acobamba – Puente Alcomachay que una vez procesado estos datos se puede establecer ejes equivalentes, variable necesaria para la determinación de los espesores del pavimento con un cierto periodo de diseño.

La metodología utilizada consistió en la aplicación de conteos de tráfico y clasificación vehicular en 1 estación crítica para el tramo. En esta estación se realizaron conteos de 7 días durante 24 horas. Los conteos proporcionaran información sobre la cantidad y estructura del tráfico actual.

Así mismo se realizaron encuestas Origen Destino durante un periodo de 24 horas en donde se realizaron los conteos de tráfico y clasificación vehicular, con la finalidad de determinar los principales orígenes y destinos y el tráfico futuro que hará uso de la vía en estudio.

El Objetivo del estudio es evaluar las variaciones del flujo vehicular promedio día que circula por el corredor vial Acobamba - Emp. PE 3S (Puente Alcomachay) y sus principales características como composición por tipo de vehículo, relación de viaje origen – destino, frecuencia de viaje, etc.

En concordación con lo establecido se describen los trabajos a realizar:

- Identificación de “tramos homogéneos” de la demanda. Identificación de los nodos y su naturaleza, que generan estos tramos homogéneos.
- Conteos de tráfico en ubicaciones tomando como base la tramificación definida para las diferentes actividades de mantenimiento que la concesionaria tenga conveniente.
- Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo y sentido, durante 7 días continuos.
- Con los correspondientes factores de corrección estacional, se obtuvo el Índice Medio Diario Anual (IMDA) de tráfico que corresponda al tramo o subtramo, por tipo de vehículo y total.
- Proyecciones de la demanda de transporte para 5, 10, 15, 20 y 25 años.
- Encuestas origen-destino y opinión que permitirá evaluar en el tiempo los beneficios del proyecto.

### Ubicación de la estación de control

La estación de control se ubicó en el poblado de Caja Espíritu en el km 119+400, con coordenadas 558133E 8571959N. Ver figuras 29 y 30, tabla 30.

Figura 29. Ubicación de estación de control



Fuente: Google Earth.

Tabla 30. Estación de Conteo

ESTACION DE CONTEO				
CÓDIGO ESTACIÓN	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	TRAMO		UBICACIÓN
		INICIO	FIN	
Est.	Caja Espíritu	Acobamba	Emp. PE-3S (Puente Alcomachay)	Altura de la Localidad de Caja Espíritu

Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Estación Caja Espiritu



Fuente: Elaboración propia

### Procesamiento de Datos

Los datos obtenidos del Censo de Clasificación Vehicular y Encuesta Origen-Destino se validaran y procesaran en formato Excel, verificando el volumen de tránsito por tipo de vehículo, hora y sentido a fin de codificar y luego digitalarlos.

Una vez obtenido el resultado de volumen promedio de tránsito, por tipo de vehículo, hora y sentido se calculó la variación horaria, clasificación vehicular, Índice Medio Diario Semanal ( $IMD_S$ ) y el Índice Medio Diario Anual ( $IMD_A$ ) determinados por las siguientes fórmulas:

$$IMD_A = FC \times IMD_S$$

Dónde:

$IMD_S$  = Volumen clasificado promedio de la semana.

$FC$  = Factor de corrección estacional.

$IMD_A$  = Índice Medio Diario Anual.

## Factores de Corrección

Los factores de corrección estacional son valores que tienen la finalidad de eliminar las variaciones del comportamiento del tránsito a lo largo de un año, incluye todo tipo de eventos como fiestas nacionales, épocas escolares y en general eventos que todos los años son realizados periódicamente y que tienen carácter anual.

Los factores de corrección estacional, se calculan tomando en cuenta una serie histórica anual completa de los últimos diez años, y para este estudio es conveniente tomar en cuenta los años inmediatos, del que se tiene información completa y detallada a través de los Peajes de la red vial nacional.

Como no es posible recolectar datos continuamente todos los días del año en la estación de conteo, se deben recolectarse datos de muestra clasificados en la red vial y estimar los volúmenes anuales de tránsito a partir de los conteos periódicos. Esto incluye la definición del tamaño de mínimo de muestra para un nivel requerido de exactitud y la determinación de los factores de expansión diarios, mensuales, estacionales o todos para toda la red vial.

Los factores de corrección estacional (o también conocidos como factores de expansión), que se usan para ajustar los conteos periódicos se determinan ya sea a partir de las estaciones de conteo continuo o de las estaciones de conteo de control como los Peajes.

Para determinar el factor de corrección estacional ( $FC$ ) se utilizó el volumen vehicular obtenido en las estaciones de peaje próximas, como es el caso del peaje de Huacrapuquio que se ubica en el km. 136+500 de la ruta PE-3S.

El factor de corrección estacional para vehículos pesados y ligeros se ha calculado según la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{IMD_{año}}{IMD_{septiembre}}$$

Luego se determinó el  $IMD_A$  como el producto del Índice Medio Diario por el Factor de Corrección Estacional para el periodo mensual. Ver tabla 31.

Tabla 31. Factores de Corrección para el IMD de los Conteos de Tráfico

UNIDAD DE PEAJE DE CORRECCION	FACTOR DE CORRECCION	
	LIGEROS	PESADOS
Huacrapuquio	1.012871	0.972342

Fuente: Unidad de Peajes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC

#### 4.1.6.1 Índice Medio Diario según Clase Vehicular

Aplicando la metodología indicada en el punto anterior se obtiene el  $IMD_s$ , el cual será afectado por el factor de corrección mensual (FC).

Los resultados obtenidos, indican un volumen vehicular de la siguiente manera en la tabla 32:

Tabla 32. IMDA Resumen de Tramo

CÓDIGO ESTACIÓN	TRAMO		IMDA
	INICIO	FIN	
Est	Acobamba	Emp. PE-3S (Puente Alcomachay)	37

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

La tabla 33 y 34, contienen el resumen del volumen clasificado diario de la estación de control vehicular.

Tabla 33. IMDa Est. Caja Espiritu

Estación Caja Espiritu				
Vehículo	Acobamba – EMP. PE-3S (Pte. Alcomachay)	EMP. PE-3S (Pte. Alcomachay) - Acobamba	IMDA	Distribución
Automóvil	28	21	49	42%
Station Wagon	7	5	12	10%
Pick Up	12	12	24	20%
Panel	4	4	8	7%
C. Rural	5	8	13	11%
Microbús	0	0	0	0%
Bus 2E	0	0	0	0%
Bus 3E	0	0	0	0%
Camión 2E	4	4	8	7%
Camión 3E	3	1	4	3%
Camión 4E	0	0	0	0%
Semitrayler 2S1/2S2	0	0	0	0%
Semitrayler 2S3	0	0	0	0%
Semitrayler 3S1/3S2	0	0	0	0%
Semitrayler >=3S3	0	0	0	0%
Trayler 2T2	0	0	0	0%
Trayler 2T3	0	0	0	0%
Trayler 3T2	0	0	0	0%
Trayler >=3T3	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>63</b>	<b>55</b>	<b>118</b>	<b>100%</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

Tabla 34. Volumen Vehicular por día, dirección y tipo de vehículo, en valores absolutos y relativos – Índice Medio Diario Anual, por dirección y tipo de vehículo en valores absolutos y relativos. Estación Caja Espiritu

FECHA	SENTIDO	AUTO	SW	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%	
				PICK UP	PANEL	RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
lun 2-septiembre	pbamba - EMP. PE-3S ( Pte. Allccomachay - Acobambani)	15	8	14	1	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	47%
	P. PE-3S ( Pte. Allccomachay) - Acobambani	22	6	9	2	8	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	53%
	Ambos	37	14	23	3	12	0	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98	100%
mar 3-septiembre	pbamba - EMP. PE-3S ( Pte. Allccomachay - Acobambani)	15	9	7	0	3	0	0	0	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	50%
	P. PE-3S ( Pte. Allccomachay) - Acobambani	14	5	16	2	4	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	50%
	Ambos	29	14	23	2	7	0	0	0	4	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	100%
mié 4-septiembre	pbamba - EMP. PE-3S ( Pte. Allccomachay - Acobambani)	17	1	3	5	7	0	0	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	60%
	P. PE-3S ( Pte. Allccomachay) - Acobambani	14	0	4	5	2	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	40%
	Ambos	31	1	7	10	9	0	0	0	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	100%
jue 5-septiembre	pbamba - EMP. PE-3S ( Pte. Allccomachay - Acobambani)	34	7	14	5	7	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	55%
	P. PE-3S ( Pte. Allccomachay) - Acobambani	20	3	15	5	8	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	45%
	Ambos	54	10	29	10	15	0	0	0	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	100%
vie 6-septiembre	pbamba - EMP. PE-3S ( Pte. Allccomachay - Acobambani)	36	4	16	5	2	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	54%
	P. PE-3S ( Pte. Allccomachay) - Acobambani	24	2	14	3	13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	46%
	Ambos	60	6	30	8	15	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	100%
sáb 7-septiembre	pbamba - EMP. PE-3S ( Pte. Allccomachay - Acobambani)	44	16	15	7	7	0	0	0	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	53%
	P. PE-3S ( Pte. Allccomachay) - Acobambani	30	15	13	8	12	0	0	0	9	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	47%
	Ambos	74	31	28	15	19	0	0	0	16	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	196	100%
dom 8-septiembre	pbamba - EMP. PE-3S ( Pte. Allccomachay - Acobambani)	33	4	11	2	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	56%
	P. PE-3S ( Pte. Allccomachay) - Acobambani	18	3	10	1	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	44%
	Ambos	51	7	21	3	11	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98	100%
IMDA	SENTIDO	AUTO	SW	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	%	
				PICK UP	PANEL	RURAL		2E	3E	2E	3E	4E	2S1	2S3	3S1	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
	pbamba - EMP. PE-3S ( Pte. Allccomachay - Acobambani)	28	7	12	4	5	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	53%
	P. PE-3S ( Pte. Allccomachay) - Acobambani	21	5	12	4	8	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	47%
Ambos	49	12	24	8	13	0	0	0	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100%	

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

#### 4.1.6.2 Encuestas origen destino

Los objetivos del estudio Origen – Destino son los siguientes:

- i. Cuantificar y clasificar los motivos de viaje de los usuarios
- ii. Conocer el Origen de procedencia y Destino de viaje de los diferentes tipos de vehículos.
- iii. Identificar los tipos de vehículos y sus características.

Ver tablas de 35 al 43.

Tabla 35. Origen-Destino de Autos y Station Wagon (Según Departamento – Estación Caja Espíritu)

ORIGEN \ DESTINO	AYACUCHO	HUANCAVELICA	Total general
AYACUCHO	-	18%	18%
HUANCAVELICA	50%	32%	82%
<b>Total general</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

Tabla 36. Origen-Destino de Autos y Station Wagon (Según Distrito – Estación Caja Espíritu)

ORIGEN \ DESTINO	ACOBAMBA	ALLCCOMACHAY	CAJA	CHURCAMPA	HUANTA	HULICA	MARCAS	PAUCARA	POMACOCHA	Total general
ACOBAMBA	-	1	-	-	7	-	3	-	-	11
ALLCCOMACHAY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CAJA	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
CHURCAMPA	1	-	-	-	-	-	-	1	-	2
HUANTA	1	-	1	-	-	-	-	-	2	4
HULICA	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3
MARCAS	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
PAUCARA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
POMACOCHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total general</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>22</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

Tabla 37. Origen-Destino de Camionetas (Según Departamento – Estación Caja Espíritu)

ORIGEN \ DESTINO	AYACUCHO	HUANCAVELICA	Total general
AYACUCHO	-	100%	100%
HUANCAVELICA	-	-	-
<b>Total general</b>	-	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

Tabla 38. Origen-Destino de Camionetas (Según Distrito – Estación Caja Espíritu)

ORIGEN \ DESTINO	CAJA	HUANTA	Total general
CAJA	-	-	-
HUANTA	1	-	1
<b>Total general</b>	<b>1</b>	-	<b>1</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

Tabla 39. Origen-Destino de Camioneta Rural (Según Departamento – Estación Caja Espíritu)

ORIGEN \ DESTINO	AYACUCHO	HUANCAVELICA	JUNIN	Total general
AYACUCHO	-	37%	-	37%
HUANCAVELICA	53%	5%	-	58%
JUNIN	-	5%	-	5%
<b>Total general</b>	<b>53%</b>	<b>47%</b>	-	<b>100%</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

Tabla 40. Origen-Destino de Camioneta Rural (Según Distrito – Estación Caja Espíritu)

ORIGEN DESTINO	ACOBAMBA	ALLCCOMACHAY	CAJA	HUANCAYO	HUANTA	HULICA	LIRCAY	Total general
ACOBAMBA	-	1	-	-	4	-	-	5
ALLCCOMACHAY	-	-	-	-	-	-	-	-
CAJA	-	-	-	-	-	1	-	1
HUANCAYO	-	-	1	-	-	-	-	1
HUANTA	6	-	1	-	-	-	-	7
HULICA	-	-	-	-	4	-	-	4
LIRCAY	-	-	-	-	1	-	-	1
<b>Total general</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>19</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

Tabla 41. Tipo de Combustible (Estación Caja Espíritu)

COMBUSTIBLE	AUTO	CAMIONETA	CAMIONETA RURAL	Total general
GASOLINA	20	-	1	21
PETROLEO	2	1	18	21
<b>Total general</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>42</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

Tabla 42. Marca de Vehículos (Estación Caja Espíritu)

MARCA	AUTO	CAMIONETA	CAMIONETA RURAL	Total general
CHEVROLET	-	-	1	1
NISSAN	1	-	-	1
TOYOTA	21	1	18	40
<b>Total general</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>42</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

Tabla 43. Pasajeros Transportados (Estación Caja Espiritu)

PASAJEROS	AUTO	CAMIONETA	CAMIONETA RURAL	Total general
1 - 10	22	1	14	37
11 - 12	-	-	5	5
<b>Total general</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>42</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

#### 4.1.6.3 Proyección de tráfico total

El tráfico total de la carretera está compuesto por el tráfico normal, el tráfico generado por el proyecto y el tráfico desviado de otras rutas. Por ello, el tráfico proyectado final es el resultado de sumar los tráficos normal, generado y desviado, proyectados. A continuación se presenta las proyecciones para los 5 años de conservación. Ver cuadro 15:

Cuadro 15. Proyección de tráfico total

<b>Tasa de Crecimiento Vehículo Ligeros</b>	2.78%
<b>Tasa de Crecimiento Ómnibus</b>	0.00%
<b>Tasa de Crecimiento Vehículo Pesados</b>	3.77%
<b>Tráfico Generado</b>	20.00%

<b>Vehículo</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>
Automóvil	49	50	62	64	66	67	70	71	73	76	77	79	82	84	86	89	91	94	96	98	102
Station Wagon	12	12	16	16	16	17	17	18	18	18	19	19	20	20	22	22	23	23	24	24	25
Pick Up	24	25	30	31	32	34	34	35	36	37	38	38	40	41	42	43	44	46	47	48	50
Panel	8	8	10	11	11	11	11	12	12	12	13	13	13	13	14	14	14	16	16	16	17
C. Rural	13	13	17	17	18	18	18	19	19	20	20	22	22	23	23	24	24	25	25	26	26
Microbús	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus 2E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus 3E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión 2E	8	8	11	11	11	12	12	12	13	13	14	14	14	16	16	17	17	18	19	19	20
Camión 3E	4	4	5	11	12	12	13	13	13	14	14	15	15	15	17	17	17	18	20	20	21
Camión 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<b>Vehículo</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>
Semitrayler 2S1/2S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semitrayler 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semitrayler 3S1/3S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semitrayler >=3S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trayler 2T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trayler 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trayler 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trayler >=3T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>118</b>	<b>120</b>	<b>151</b>	<b>161</b>	<b>166</b>	<b>171</b>	<b>175</b>	<b>180</b>	<b>184</b>	<b>190</b>	<b>195</b>	<b>200</b>	<b>206</b>	<b>212</b>	<b>220</b>	<b>226</b>	<b>230</b>	<b>240</b>	<b>247</b>	<b>251</b>	<b>261</b>

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

#### 4.1.6.4 Ejes Estándar de Cargas Equivalentes

Los Ejes equivalentes se han calculado año por año y en forma acumulada por sentido de circulación de tráfico y en el cuadro resumen siguiente se presenta el resumen por períodos, ver cuadro 16.

Cuadro 16. Ejes Estándar de Carga Equivalente

Estación	Acobamba	Emp. PE 3S (Puente Alcomachay)
	Emp. PE 3S (Puente Alcomachay)	Acobamba
	CAJA ESPIRITU	
ESAL (00 años)	3.874 E+03	1.476 E+03
ESAL (01 años)	4.020 E+03	1.532 E+03
ESAL (02 años)	8.844 E+03	3.370 E+03
ESAL (05 años)	2.434 E+04	9.275 E+03
ESAL (10 años)	5.432 E+04	2.070 E+04
ESAL (15 años)	9.843 E+04	3.751 E+04
ESAL (20 años)	1.338 E+05	5.098 E+04
ESAL (25 años)	1.860 E+05	7.088 E+04

Fuente: Propia. Estudio de Tráfico 2013

#### **4.1.7 Estudio de Suelos**

El Estudio de Suelos es fundamental para el diseño estructural de pavimentos, donde se investiga y desarrolla las principales características del suelo, el cual permite establecer criterios a emplazar ya sea de una rehabilitación y/o mejoramiento en el tramo V, vía que comprende desde Acobamba km 92+135 hasta el Puente Alcomachay km 156+343.

##### **4.1.7.1 Calicatas**

Los estudios comprendió básicamente una investigación de campo, mediante prospecciones exploratorias (calicatas) a cielo abierto a lo largo del eje de la vía, ejecutándose cada una de ellas alternadamente de un lado a otro, con la finalidad de determinar la variación estratigráfica de los suelos que conforman el prisma donde se apoyara la futura estructura del pavimento.

Las prospecciones de exploración (calicatas) a cielo abierto, se realizaron con la finalidad de identificar la conformación de los suelos del terreno de fundación y su variación geomorfológica horizontal y vertical de la vía materia de estudio. Para ello de cada calicata se toman muestras alteradas y disturbadas, que luego son analizados en campo y Laboratorio.

Los resultados de campo y laboratorio servirán para el desarrollo del perfil estratigráfico del tramo en estudio, además de verificar la capacidad de soporte de los suelos de fundación.

Se desarrollaron las siguientes actividades durante la ejecución del estudio de suelos:

- Muestreo de los diferentes estratos de suelos
- Registro de Exploración, donde se indican las características de los estratos subyacentes, tales como tipo de suelo, espesor del estrato, color, humedad, plasticidad, compacidad, consistencia, etc.

- Registro de Perfil estratigráfico del suelo de fundación, clasificación visual táctil, mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTTO.
- Elaboración del Perfil Estratigráfico Visual preliminar del tramo
- Determinación del CBR de operación de la subrasante existente, llevado también módulo de resiliencia.
- Sectorización de acuerdo a las características geomecánicas y físicas
- Análisis de los registros de exploración de campo, evaluación de los resultados de los ensayos de laboratorio y procesamiento de la información en formatos electrónicos especialmente diseñados para este proyecto.

Con la finalidad de identificar los diferentes tipos de suelos que conforman el terreno de fundación de la vía existente a nivel de afirmado, se realizaron pozos exploratorios a cielo abierto (calicatas) de profundidad 1.50 para las calicatas profundas y de 0.50 m para las calicatas superficiales distanciadas una de otras cada 300 m.

El estudio geotécnico de las calicatas profundas será específico para fines de diseño del paquete estructural, mientras que el estudio de las calicatas superficiales será para definir la caracterización geotécnica actual de la vía existente a nivel de afirmado. Ver figuras del 31 al 34 y Cuadro 17.

Figura 31. C-01 Profundidad 0.5 m / km 92+300 (L.I.)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32. C-01, Calicata Superficial (0.50 m) sólo para caracterización geotécnica del afirmado existente



Fuente: Elaboración Propia

Figura 33. C-02 Profundidad 1.5 m / km 92+600 (L.D.)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34. C-02, Calicata Profunda (1.50 m) para caracterización geotécnica del paquete estructural del pavimento



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 17. Cuadro de ubicación de Calicatas

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN (km)	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)	
					DE	A
1	C1	92+300	M1	IZQ.	0.00	0.10
2	C2	92+600	M1	DER.	0.00	0.20
			M2		0.20	1.50
3	C3	92+900	M1	IZQ.	0.00	0.12
4	C4	93+300	M1	DER.	0.00	0.08
5	C5	93+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	0.40
			M3		0.40	0.90
			M4		0.90	1.50
6	C6	93+900	M1	IZQ.	0.00	0.16
7	C7	94+300	M1	DER.	0.00	0.08
8	C8	94+600	M1	IZQ.	0.00	0.70
			M2		0.70	1.50
9	C9	94+900	M1	DER.	0.00	0.18
10	C10	95+300	M1	IZQ.	0.00	0.12
11	C11	95+600	M1	EJE	0.00	0.16
			M2		0.16	0.70
			M3		0.70	1.50
12	C12	95+900	M1	DER.	0.00	0.17
13	C13	96+300	M1	IZQ.	0.00	0.20
14	C14	96+600	M1	DER.	0.00	0.22
			M2		0.22	1.50
15	C15	96+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
16	C16	97+300	M1	DER.	0.00	0.15
17	C17	97+600	M1	EJE	0.00	0.28
			M2		0.28	1.50
18	C18	97+900	M1	IZQ.	0.00	0.06
19	C19	98+300	M1	DER.	0.00	0.08
20	C20	98+600	M1	IZQ.	0.00	0.10
			M2		0.10	0.80
			M3		0.80	1.50
21	C21	98+900	M1	DER.	0.00	0.10
22	C22	99+300	M1	IZQ.	0.00	0.12
23	C23	99+600	M1	EJE	0.00	0.13
			M2		0.13	1.50
24	C24	99+900	M1	DER.	0.00	0.10
25	C25	100+300	M1	IZQ.	0.00	0.20
26	C26	100+600	M1	DER.	0.00	0.20
			M2		0.20	0.70

Cuadro 17. Cuadro de ubicación de Calicatas (Continuación)

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN (km)	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)	
					DE	A
			M3		0.70	1.50
27	C27	100+900	M1	IZQ.	0.00	0.17
28	C28	101+300	M1	DER.	0.00	0.12
29	C29	101+600	M1	EJE	0.00	0.14
			M2		0.14	1.50
30	C30	101+900	M1	IZQ.	0.00	0.06
31	C31	102+300	M1	DER.	0.00	0.12
32	C32	102+600	M1	IZQ.	0.00	0.18
			M2		0.18	1.50
33	C33	102+900	M1	DER.	0.00	0.12
34	C34	103+300	M1	IZQ.	0.00	0.14
35	C35	103+600	M1	EJE	0.00	0.28
			M2		0.28	1.50
36	C36	103+900	M1	DER.	0.00	0.12
37	C37	104+300	M1	IZQ.	0.00	0.20
38	C38	104+600	M1	DER.	0.00	0.18
			M2		0.18	1.50
39	C39	104+900	M1	IZQ.	0.00	0.15
40	C40	105+300	M1	DER.	0.00	0.20
41	C41	105+600	M1	EJE	0.00	0.30
			M2		0.30	1.50
42	C42	105+900	M1	IZQ.	0.00	0.09
43	C43	106+300	M1	DER.	0.00	0.17
44	C44	106+600	M1	IZQ.	0.00	0.28
			M2		0.28	1.50
45	C45	106+900	M1	DER.	0.00	0.13
46	C46	107+300	M1	IZQ.	0.00	0.08
47	C47	107+600	M1	EJE	0.00	0.15
			M2		0.15	0.45
			M3		0.45	1.50
48	C48	107+900	M1	DER.	0.00	0.10
49	C49	108+300	M1	IZQ.	0.00	0.13
50	C50	108+600	M1	DER.	0.00	0.22
			M2		0.22	0.75
			M3		0.75	1.50
51	C51	108+900	M1	IZQ.	0.00	0.14
52	C52	109+300	M1	DER.	0.00	0.13
53	C53	109+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	0.30
			M3		0.30	1.50

Cuadro 17. Cuadro de ubicación de Calicatas (Continuación)

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN (km)	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)	
					DE	A
54	C54	109+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
55	C55	110+300	M1	DER.	0.00	0.12
56	C56	110+600	M1	IZQ.	0.00	0.14
			M2		0.14	0.50
			M3		0.50	1.50
57	C57	110+900	M1	DER.	0.00	0.10
58	C58	111+300	M1	IZQ.	0.00	0.10
59	C59	111+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	0.50
			M3		0.50	1.50
60	C60	111+900	M1	DER.	0.00	0.10
61	C61	112+300	M1	IZQ.	0.00	0.07
62	C62	112+600	M1	DER.	0.00	0.12
			M2		0.12	0.42
			M3		0.42	1.50
63	C63	112+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
64	C64	113+300	M1	DER.	0.00	0.15
65	C65	113+600	M1	EJE	0.00	0.05
			M2		0.05	0.35
			M3		0.35	1.50
66	C66	113+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
67	C67	114+300	M1	DER.	0.00	0.09
68	C68	114+600	M1	IZQ.	0.00	0.15
			M2		0.15	0.75
			M3		0.75	ROCA
69	C69	114+900	M1	DER.	0.00	0.10
70	C70	115+300	M1	IZQ.	0.00	0.06
71	C71	115+600	M1	EJE	0.00	0.09
			M2		0.09	0.20
			M3		0.20	0.80
			M4		0.80	ROCA
72	C72	115+900	M1	DER.	0.00	0.10
73	C73	116+300	M1	IZQ.	0.00	0.08
74	C74	116+600	M1	DER.	0.00	0.14
			M2		0.14	0.45
			M3		0.45	1.50
75	C75	116+900	M1	IZQ.	0.00	0.12
76	C76	117+300	M1	DER.	0.00	0.12
77	C77	117+600	M1	EJE	0.00	0.08
			M2		0.08	0.68

Cuadro 17. Cuadro de ubicación de Calicatas (Continuación)

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN (km)	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)	
					DE	A
			M3		0.68	1.50
78	C78	117+900	M1	IZQ.	0.00	0.14
79	C79	118+300	M1	DER.	0.00	0.10
80	C80	118+600	M1	IZQ.	0.00	0.10
			M2		0.10	0.55
			M3		0.55	1.50
81	C81	118+900	M1	DER.	0.00	0.11
82	C82	119+300	M1	IZQ.	0.00	0.08
83	C83	119+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	0.40
			M3		0.40	1.50
84	C84	119+900	M1	DER.	0.00	0.12
85	C85	120+300	M1	IZQ.	0.00	0.08
86	C86	120+600	M1	DER.	0.00	0.07
			M2		0.07	0.50
			M3		0.50	1.50
87	C87	120+900	M1	IZQ.	0.00	0.08
88	C88	121+300	M1	DER.	0.00	0.12
89	C89	121+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	1.50
90	C90	121+900	M1	IZQ.	0.00	0.06
91	C91	122+300	M1	DER.	0.00	0.10
92	C92	122+600	M1	IZQ.	0.00	0.10
			M2		0.10	1.20
			M3		1.20	1.50
93	C93	122+900	M1	DER.	0.00	0.14
94	C94	123+300	M1	IZQ.	0.00	0.07
95	C95	123+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	1.20
			M3		1.20	1.50
96	C96	123+900	M1	DER.	0.00	0.15
97	C97	124+300	M1	IZQ.	0.00	0.14
98	C98	124+600	M1	DER.	0.00	0.16
			M2		0.16	0.50
			M3		0.50	ROCA
99	C99	124+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
100	C100	125+300	M1	DER.	0.00	0.10
101	C101	125+600	M1	EJE	0.00	0.12
			M2		0.12	1.50
102	C102	125+900	M1	IZQ.	0.00	0.08

Cuadro 17. Cuadro de ubicación de Calicatas (Continuación)

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN (km)	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)	
					DE	A
103	C103	126+300	M1	DER.	0.00	0.12
104	C104	126+600	M1	IZQ.	0.00	0.12
			M2		0.12	1.50
105	C105	126+900	M1	DER.	0.00	0.14
106	C106	127+300	M1	IZQ.	0.00	0.09
107	C107	127+600	M1	EJE	0.00	0.11
			M2		0.11	1.10
			M3		1.10	ROCA
108	C108	127+900	M1	DER.	0.00	0.15
109	C109	128+300	M1	IZQ.	0.00	0.14
110	C110	128+600	M1	DER.	0.00	0.09
			M2		0.09	1.50
111	C111	128+900	M1	IZQ.	0.00	0.08
112	C112	129+300	M1	DER.	0.00	0.07
113	C113	129+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	0.35
			M3		0.35	0.80
			M4		0.80	ROCA
114	C114	129+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
115	C115	130+300	M1	DER.	0.00	0.07
116	C116	130+600	M1	IZQ.	0.00	0.14
			M2		0.14	0.80
			M3		0.80	1.50
117	C117	130+900	M1	IZQ.	0.00	0.07
118	C118	131+300	M1	DER.	0.00	0.12
119	C119	131+600	M1	EJE	0.00	0.08
			M2		0.08	0.30
			M3		0.30	1.50
120	C120	131+900	M1	DER.	0.00	0.10
121	C121	132+300	M1	IZQ.	0.00	0.10
122	C122	132+600	M1	DER.	0.00	0.08
			M2		0.08	0.60
			M3		0.60	1.50
123	C123	132+900	M1	IZQ.	0.00	0.12
124	C124	133+300	M1	DER.	0.00	0.20
125	C125	133+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	0.35
			M3		0.35	ROCA
126	C126	133+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
127	C127	134+300	M1	DER.	0.00	0.20

Cuadro 17. Cuadro de ubicación de Calicatas (Continuación)

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN (km)	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)	
					DE	A
128	C128	134+600	M1	IZQ.	0.00	0.12
			M2		0.12	1.50
129	C129	134+900	M1	DER.	0.00	0.10
130	C130	135+300	M1	IZQ.	0.00	0.09
131	C131	135+600	M1	EJE	0.00	0.17
			M2		0.17	1.50
132	C132	135+900	M1	DER.	0.00	0.14
133	C133	136+300	M1	IZQ.	0.00	0.18
134	C134	136+600	M1	DER.	0.00	0.14
			M2		0.14	0.50
			M3		0.50	1.50
135	C135	136+900	M1	IZQ.	0.00	0.11
136	C136	137+300	M1	DER.	0.00	0.10
137	C137	137+600	M1	EJE	0.00	0.20
			M2		0.20	1.50
138	C138	137+900	M1	IZQ.	0.00	0.07
139	C139	138+300	M1	DER.	0.00	0.20
140	C140	138+600	M1	IZQ.	0.00	0.10
			M2		0.10	0.50
			M3		0.50	1.50
141	C141	138+900	M1	DER.	0.00	0.14
142	C142	139+300	M1	IZQ.	0.00	0.13
143	C143	139+600	M1	EJE	0.00	0.12
			M2		0.12	0.70
			M3		0.70	1.50
144	C144	139+900	M1	DER.	0.00	0.11
145	C145	140+300	M1	IZQ.	0.00	0.09
146	C146	140+600	M1	DER.	0.00	0.20
			M2		0.20	0.40
			M3		0.40	1.50
147	C147	140+900	M1	IZQ.	0.00	0.12
148	C148	141+300	M1	DER.	0.00	0.06
149	C149	141+600	M1	EJE	0.00	0.15
			M2		0.15	0.65
			M3		0.65	1.50
150	C150	141+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
151	C151	142+300	M1	DER.	0.00	0.13
152	C152	142+600	M1	IZQ.	0.00	0.15
			M2		0.15	0.30
			M3		0.30	1.50

Cuadro 17. Cuadro de ubicación de Calicatas (Continuación)

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN (km)	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)	
					DE	A
153	C153	142+900	M1	DER.	0.00	0.07
154	C154	143+300	M1	IZQ.	0.00	0.06
155	C155	143+600	M1	EJE	0.00	0.08
			M2		0.08	0.18
			M3		0.18	1.50
156	C156	143+900	M1	DER.	0.00	0.05
157	C157	144+300	M1	IZQ.	0.00	0.07
158	C158	144+600	M1	DER.	0.00	0.15
			M2		0.15	1.50
159	C159	144+900	M1	IZQ.	0.00	0.08
160	C160	145+300	M1	DER.	0.00	0.07
161	C161	145+600	M1	EJE	0.00	0.05
			M2		0.05	0.20
			M3		0.20	0.30
			M4		0.30	1.50
162	C162	145+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
163	C163	146+300	M1	DER.	0.00	0.05
164	C164	146+600	M1	IZQ.	0.00	0.06
			M2		0.06	1.50
165	C165	146+900	M1	DER.	0.00	0.06
166	C166	147+300	M1	IZQ.	0.00	0.07
167	C167	147+600	M1	EJE	0.00	0.05
			M2		0.05	0.25
			M3		0.25	1.50
168	C168	147+900	M1	DER.	0.00	0.10
169	C169	148+300	M1	IZQ.	0.00	0.05
170	C170	148+600	M1	DER.	0.00	0.10
			M2		0.10	0.30
			M3		0.30	1.50
171	C171	148+900	M1	IZQ.	0.00	0.15
172	C172	149+300	M1	DER.	0.00	0.15
173	C173	149+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	1.50
174	C174	149+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
175	C175	150+300	M1	DER.	0.00	0.10
176	C176	150+600	M1	IZQ.	0.00	0.15
			M2		0.15	0.45
			M3		0.45	1.50
177	C177	150+900	M1	DER.	0.00	0.15
178	C178	151+300	M1	IZQ.	0.00	0.10

Cuadro 17. Cuadro de ubicación de Calicatas (Continuación)

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN (km)	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)	
					DE	A
179	C179	151+600	M1	EJE	0.00	0.20
			M2		0.20	1.50
180	C180	151+900	M1	DER.	0.00	0.08
181	C181	152+300	M1	IZQ.	0.00	0.20
182	C182	152+600	M1	DER.	0.00	0.08
			M2		0.08	0.60
			M3		0.60	ROCA
183	C183	152+900	M1	IZQ.	0.00	0.15
184	C184	153+300	M1	DER.	0.00	0.15
185	C185	153+600	M1	EJE	0.00	0.10
			M2		0.10	1.50
186	C186	153+900	M1	IZQ.	0.00	0.10
187	C187	154+300	M1	DER.	0.00	0.20
188	C188	154+600	M1	IZQ.	0.00	0.20
			M2		0.20	1.50
189	C189	154+900	M1	DER.	0.00	0.15
190	C190	155+300	M1	IZQ.	0.00	0.20
191	C191	155+600	M1	EJE	0.00	0.20
			M2		0.20	1.50
192	C192	155+900	M1	DER.	0.00	0.10

Fuente: Elaboración propia

## **Ensayos de laboratorio**

Los ensayos de laboratorio han sido llevados a cabo siguiendo los procedimientos recomendados del Manual de Ensayos de Materiales EM 2000 del MTC y las versiones actualizadas de los métodos de ensayo de la AASHTO y ASTM.

Los suelos fueron identificados siguiendo las recomendaciones y procedimientos de la Norma ASTM D-2448 “**Practica Recomendada para la descripción de Suelos**”

Las muestras representativas fueron sometidas a los siguientes ensayos:

- |   |               |
|---|---------------|
| - Análisis granulométrico por tamizado    | ASTM D – 422  |
| - Límite Líquido                          | ASTM D – 423  |
| - Límite Plástico                         | ASTM D – 424  |
| - Contenido de Humedad                    | ASTM D – 2216 |
| - Proctor Modificado                      | ASTM D – 1557 |
| - Relación de Soporte de California (CBR) | ASTM D – 1883 |

## **Trabajos de gabinete**

Los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, fueron digitalizados en formatos electrónicos, confeccionados especialmente para este proyecto, en ellos se consignaron los resultados de las características geotécnicas de los estratos que conforman los suelos de fundación de la subrasante existente, estado de compacidad, soporte y clasificación por el sistema SUCS Y AASHTO.

## **Descripción de los materiales que conforman el suelo de afirmado**

De los estudios de suelos realizados se puede determinar la presencia de suelos característicos que conforman el suelo de afirmado actual de la vía existente que varía en espesores de 5 cm a un máximo de 22 cm, promedio 12

cm, conformado por suelos granulares y arenas, lo que se resume en el siguiente cuadro 18:

Cuadro 18. Distribución de los suelos característicos de afirmado (lastre)

<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>INCIDENCIA TOTAL</b>
Gravas: GP,GM,GC,GP-GM, GM-GC	91%
Arenas: SP,SM,SC,SP-SM,SM-SC	9%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

### **Descripción de los materiales que conforman el terreno natural de Subrasante**

Los suelos que conforman el terreno natural de subrasante están conformados por suelos granulares, arenas, y suelos finos, el grado de incidencia se muestra en el siguiente cuadro 19:

Cuadro 19. Distribución de los suelos característicos de Subrasante

<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>INCIDENCIA TOTAL</b>
Gravas: GP,GM,GC,GP-GM,GM-GC	82%
Arenas: SM,SC,SC-SM,	10%
Finos: OL,ML,CL,ML-CL,MH,OH	8%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración Propia

A partir de esta definición de tipos de suelos predominantes se ha podido realizar una caracterización para la zona en estudio.

## Ensayos de CBR

Con la finalidad de conocer las características mecánicas de los tipos de suelos encontrados, se ejecutaron ensayos de CBR, cuyo resumen de resultados se muestra en el cuadro 20:

Cuadro 20. Cuadro resumen de CBR

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)		CLASIFICACIÓN		CBR
		(km)			DE	A	SUCS	AASHTO	AL 95% DE 0.1"
1	C2	92+600	M2	DER.	0.20	1.50	GC	A-2-4 (0)	24.20
2	C5	93+600	M4	EJE	0.90	1.50	SC	A-7-6 (5)	16.40
3	C8	94+600	M2	IZQ.	0.70	1.50	GC	A-6 (3)	6.70
4	C11	95+600	M3	EJE	0.70	1.50	GM-GC	A-4 (0)	8.90
5	C14	96+600	M2	DER.	0.22	1.50	GC	A-2-4 (0)	10.10
6	C17	97+600	M2	EJE	0.28	1.50	GC	A-2-6(0)	18.90
7	C20	98+600	M3	IZQ.	0.80	1.50	SM-SC	A-4 (0)	20.50
8	C23	99+600	M2	EJE	0.13	1.50	GP	A-1-a (0)	45.00
9	C26	100+600	M3	DER.	0.70	1.50	GP-GM	A-1-a (0)	32.50
10	C29	101+600	M2	EJE	0.14	1.50	SM-SC	A-4 (0)	10.80
11	C32	102+600	M2	IZQ.	0.18	1.50	GM-GC	A-2-4(0)	24.30
12	C35	103+600	M2	EJE	0.28	1.50	ML-CL	A-4 (6)	11.80
13	C38	104+600	M2	DER.	0.18	1.50	GM-GC	A-2-4 (0)	17.30
14	C41	105+600	M2	EJE	0.30	1.50	SM	A-2-4 (0)	15.60
15	C44	106+600	M2	IZQ.	0.28	1.50	CL	A-6 (7)	5.60
16	C47	107+600	M3	EJE	0.45	1.50	ML-CL	A-4 (8)	1.50
17	C50	108+600	M3	DER.	0.75	1.50	ML	A-4 (5)	10.70
18	C53	109+600	M3	EJE	0.30	1.50	GM-GC	A-4 (0)	10.00
19	C56	110+600	M3	IZQ.	0.50	1.50	ML	A-4 (8)	5.90
20	C59	111+600	M3	EJE	0.50	1.50	ML-CL	A-4 (0)	4.80
21	C62	112+600	M3	DER.	0.42	1.50	ML-CL	A-4 (3)	10.50
22	C65	113+600	M3	EJE	0.35	1.50	GP-GC	A-2-6 (0)	22.00
23	C68	114+600	M2	IZQ.	0.15	0.75	CL	A-7(0)	2.90
24	C71	115+600	M3	EJE	0.20	0.80	GM-GC	A-2-4 (0)	34.00
25	C74	116+600	M3	DER.	0.45	1.50	GC	A-2-4 (0)	16.50
26	C77	117+600	M3	EJE	0.68	1.50	ML-CL	A-4 (6)	12.50

Cuadro 20. Cuadro resumen de CBR (Continuación)

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)		CLASIFICACIÓN		CBR
		(km)			DE	A	SUCS	AASHTO	AL 95% DE 0.1"
27	C80	118+600	M3	IZQ.	0.55	1.50	CL	A-4 (3)	4.10
28	C83	119+600	M3	EJE	0.40	1.50	GM-GC	A-4 (1)	32.70
29	C86	120+600	M3	DER.	0.50	1.50	GC	A-2-4 (0)	10.00
30	C89	121+600	M2	EJE	0.10	1.50	SM-SC	A-4(0)	18.60
31	C92	122+600	M3	IZQ.	1.20	1.50	ML	A-4 (6)	4.70
32	C95	123+600	M3	EJE	1.20	1.50	CL	A-4 (3)	6.00
33	C98	124+600	M1	DER.	0.00	0.16	GM	A-1-a (0)	ROCA
34	C101	125+600	M2	EJE	0.12	1.50	GM-GC	A-1-a(0)	29.70
35	C104	126+600	M2	IZQ.	0.12	1.50	GM-GC	A-2-4 (0)	20.50
36	C107	127+600	M2	EJE	0.11	1.10	GM-GC	A-1-a(0)	23.00
37	C110	128+600	M2	DER.	0.09	1.50	GM	A-1-b (0)	23.00
38	C113	129+600	M3	EJE	0.35	0.80	GM	A-1-a (0)	27.80
39	C116	130+600	M3	IZQ.	0.80	1.50	GM-GC	A-1-b(0)	27.50
40	C119	131+600	M3	EJE	0.30	1.50	GM	A-1-a(0)	32.20
41	C122	132+600	M3	DER.	0.60	1.50	CL	A-6 (8)	6.70
42	C125	133+600	M2	EJE	0.10	0.35	GC	A-2-4 (0)	31.10
43	C128	134+600	M2	IZQ.	0.12	1.50	GM	A-1-a(0)	34.60
44	C131	135+600	M2	EJE	0.17	1.50	GC	A-2-6 (2)	9.00
45	C134	136+600	M3	DER.	0.50	1.50	GM	A-4 (1)	34.50
46	C137	137+600	M2	EJE	0.20	1.50	GC	A-4 (0)	12.00
47	C140	138+600	M3	IZQ.	0.50	1.50	GC	A-2-4(0)	24.00
48	C143	139+600	M3	EJE	0.70	1.50	GC	A-2-4 (0)	22.00
49	C146	140+600	M3	DER.	0.40	1.50	SC	A-7-5 (4)	6.30
50	C149	141+600	M3	EJE	0.65	1.50	GP-GC	A-2-4 (0)	39.80
51	C152	142+600	M3	IZQ.	0.30	1.50	OH	A-7-5 (19)	6.00
52	C155	143+600	M3	EJE	0.18	1.50	GM-GC	A-1-b (0)	24.00
53	C158	144+600	M2	DER.	0.15	1.50	GM	A-2-4(0)	26.00
54	C161	145+600	M4	EJE	0.30	1.50	CL	A-4 (7)	4.70
55	C164	146+600	M2	IZQ.	0.06	1.50	SC	A-7-5(3)	5.00
56	C167	147+600	M3	EJE	0.25	1.50	GM-GC	A-4 (1)	18.20
57	C170	148+600	M3	DER.	0.30	1.50	GC	A-2-4 (0)	11.50
58	C173	149+600	M2	EJE	0.10	1.50	GM	A-1-b (0)	34.20
59	C176	150+600	M3	IZQ.	0.45	1.50	GC	A-2-4 (0)	17.00

Cuadro 20. Cuadro resumen de CBR (Continuación)

ITEM	CALICATA	UBICACIÓN	MUESTRA	LADO	PROF. DE CALICATA (m)		CLASIFICACIÓN		CBR
		(km)			DE	A	SUCS	AASHTO	AL 95% DE 0.1"
60	C179	151+600	M2	EJE	0.20	1.50	GM-GC	A-1-b(0)	29.50
61	C182	152+600	M2	DER.	0.08	0.60	GC	A-2-6 (3)	12.90
62	C185	153+600	M2	EJE	0.10	1.50	GC	A-4 (0)	11.50
63	C188	154+600	M2	IZQ.	0.20	1.50	GM-GC	A-1-b (0)	32.70
64	C191	155+600	M2	EJE	0.20	1.50	GM-GC	A-4 (0)	10.20

Fuente: Elaboración Propia

### Perfil estratigráfico

Definidos los suelos característicos de la zona de estudio del afirmado y de la subrasante se procedió a confeccionar el perfil estratigráfico correspondiente a continuación se muestra un sector típico de este perfil. Ver anexo 8.

#### 4.1.7.2 Canteras

El estudio de canteras, se realiza con fines de solventar el requerimiento de materiales de construcción que satisfagan la necesidad del tramo en estudio. Desarrollando sus características geomecánicas y su capacidad de explotación, para la utilización de éstas, en el tramo V; inicio de Acobamba (km 92+135) al final Puente Alcomachay (km 156 + 343).

#### Trabajos de campo

Al seleccionar la cantera de materiales para los trabajos de construcción a realizar se consideraron adicionalmente algunos criterios como: las características geomorfológicas de las unidades de acumulación, su extensión, facilidad de explotación y menor distancia de acarreo.

Para iniciar los trabajos en el tramo V, de Acobamba – Puente Alcomachay se crea la necesidad de seleccionar una cantera que genere materiales aptos para la construcción de las obras a realizar. Con este propósito la cantera se

identificó, tanto por la calidad de su depósito, como por la cercanía a la zona de interés, de manera que pudiera ser funcional al proyecto.

Para establecer la caracterización de la fuente de materiales, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio sugeridos por las Especificaciones Generales de Construcción EG-2013; Granulometría, Límites de consistencia, Humedad natural, Materia orgánica, Proctor modificado, Abrasión en la máquina de Los Ángeles, CBR., Peso específico, Absorción a los agregados gruesos y finos, Equivalente de arena, además de ensayos especiales como: Reactividad, Sales solubles, Cloruros, Sulfatos, Partículas livianas, Terrones de arcilla y partículas deleznable

## **Selección de canteras**

### **Cantera Municipio**

La cantera seleccionada en el presente estudio con el fin de ser utilizada en la etapa de construcción se describe a continuación.

La cantera está ubicada en el km 88+950 y por ser una extensión de una cantera de río de material aluvial, ya explotada y aún en explotación del saldo se le denomina CANTERA MUNICIPIO.

De las exploraciones e inspecciones a la cantera se determinó que presenta una capacidad razonable para ser explotada durante la fase operativa o fase de construcción.

Se realizó el levantamiento topográfico correspondiente. En éste se demarcan los linderos de explotación previstos, en consecuencia el área proyectada, y se miden volúmenes de potencia. Se analizaron las distancias de recorrido para acarreo, considerando tener el menor impacto desde el punto de vista socio-ambiental y económico.

Se pasa a describir la cantera programada para este tramo, cantera MUNICIPIO:

Se encuentra localizada en la progresiva del km 88+950, en el lado derecho de la vía de Acobamba a Puente Alcomachay, siendo la distancia de acceso total hasta la cantera de 0.1 km.

La ubicación en coordenadas UTM es 546018E 8581725N. Asimismo se presentan vistas de la cantera y una FICHA TÉCNICA correspondiente, en la que se evalúan sus parámetros de viabilidad como cantera.

Ver Figuras del 35 al 36 y Cuadros 21 y 22.

Figura 35. Cantera Municipio



Figura 36. Cantera Municipio



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 21. Ficha Técnica CANTERA MUNICIPIO km 88+950

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE CANTERA TRAMO V			
<b>1. INFORMACIONES FUNDAMENTALES</b>			
NOMBRE	km.: 88+950		
UBICACIÓN	km.: 88+950		
ACCESO	A lado de la vía		
DISPONIBILIDAD	En curso		
AREA A EXPLOTAR m2	870		
PROFUNDIDAD m.	12.4		
POTENCIA m3	10788		
EPOCA DE EXPLOTACIÓN	Marzo a Noviembre		
FORMAS DE EXPLOTACIÓN	Tractor, cargador frontal, zaranda y volquetes		
<b>2. DATOS DE LOS MATERIALES NATURALES</b>			
a) Piedra %	71	b) Arena %	19.2
		c) Fino %	9.8
Porcentaje de bolonería > 2"	15%	Gradación granulométrica	
Tamaño máximo (plg)	4	Bien gradada	
Forma de las partículas		Mal gradada	X
Angular	X	Partículas predominantes	
Sub angular		Gruesas o finas	GRUESA
Redondeada		Material fino predominante	
Sub-redondeada		Arcillas o arenas	ARENAS
<b>3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES</b>			
<b>TIPO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADO</b>
Análisis granulométrico (ASTM C 136)	SATISFACTORIO	Maxima Dens. Proctor (ASTM D 1557)	1.999 gr/cm3
Clasificación SUCS	GP-GC	Humedad Óptima	9.2%
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	CBR al 100% (ASTM D 1883) NATURAL	81.5%
Límite Líquido ( ASTM 43 18)	31	Abrasión por máquina Los Angeles (ASTM C 131)	30.0%
Límite Plástico (ASTM D 4318)	25	Materia orgánicas (ASTM C 40)	0.90%
Índice Plástico (ASTM D 4318)	6	Sales solubles agregado fino	Aceptable
Equivalente de arena (ASTM D 2419)	-		
Humedad Natural (ASTM D 2216)	12.8%		
<b>N° SONDAJES EJECUTADOS</b>	3	<b>N° MUESTRAS TOMADAS</b>	6
<b>USOS</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	
Rellenos (Transitabilidad)	85%	N1 Z	
Sub-base granular (Recarga)	85%	Z	
Micropavimento	-	-	
Concreto hidraulico	-	-	
<b>TRATAMIENTO (leyenda)</b>			
N1: Explotación directa elimina mayores de 3"		A: Aditivo mejorador de adherencia	
		S: Secado	
Z: zarandeo		N2: Explotación directa del material	
T: Trituración		L: Lavado	
F: Filler		M: Mezcla	

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 22. Cuadro resumen de ensayos de laboratorio CANTERA MUNICIPIO km 88+950

<b>CUADRO RESUMEN DE ESTUDIO DE CANTERAS TRAMO V</b>																																
<b>CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO - CANTERA KM.:88+950</b>																																
ITEM	FECHA	CANTERA	UBICACIÓN (km.)	LADO	CALICATA	% QUE PASA EL TAMIZ																CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		HUMEDAD NATURAL	Mat. Org. (%)	PRÓCTOR MODIF.		CBR A 100% DE LA MDS A 0.1"	Abrasión (%)
						4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO			MDS (g/cm³)	H OPT. (%)		
1	11/01/14	88+050	88+050	IZQ	C1	100.0	100.0	100.0	98.8	91.4	80.0	68.8	53.9	44.8	30.0	23.1	18.2	16.4	14.5	12.4	10.2	31	24	7	GP-GC	A-2-4 (0)	13.2	0.9	1.990	9.2	81.5	29.6
2	11/01/14				C2	100.0	100.0	100.0	95.9	89.7	77.8	66.4	51.1	43.1	26.3	20.5	15.8	13.4	12.5	10.9	9.5	31	25	6	GP-GC	A-1a (0)	12.1	0.9	--	--	--	30.1
3	11/01/14				C3	100.0	100.0	100.0	96.4	92.2	80.3	72.1	53.1	46.1	31.4	23.1	19.2	16.2	12.1	11.2	10.1	31	25	6	GP-GC	A-1a (0)	12.8	0.9	--	--	--	28.4
4	11/01/14				C4	100.0	100.0	100.0	97.0	93.2	81.7	73.6	55.9	47.2	28.4	20.8	15.8	13.2	12.3	10.9	9.5	30	25	5	GW.GC	A-1a (0)	13.0	0.8	--	--	--	31.9
<b>n</b>						4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
<b>Xp</b>						100.0	100.0	100.0	97.0	91.6	79.9	70.2	53.5	45.3	29.0	21.9	17.2	14.8	12.9	11.3	9.8	31	25	6	GP-GC	A-1a (0)	12.8	0.9	1.990	9.2	81.5	30.0
<b>MIN</b>						100.0	100.0	100.0	95.9	89.7	77.8	66.4	51.1	43.1	26.3	20.5	15.8	13.2	12.1	10.9	9.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>MAX</b>						100.0	100.0	100.0	98.8	93.2	81.7	73.6	55.9	47.2	31.4	23.1	19.2	16.4	14.5	12.4	10.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>ESPECIFICACIONES</b>						--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Max. 10%	--	--	Max. 1%	--	--	--	--	Max. 50%	
<b>DESV. ESTANDAR</b>						0.0	0.0	0.0	1.3	1.5	1.6	3.3	2.0	1.8	2.2	1.4	1.7	1.7	1.1	0.7	0.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>VARIANZA</b>						0.0	0.0	0.0	1.6	2.2	2.6	10.7	3.9	3.2	4.7	1.9	2.9	3.0	1.2	0.5	0.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>COEF. VARIACION</b>						0.0	0.0	0.0	1.3	1.6	2.0	4.7	3.7	4.0	7.5	6.4	9.9	11.7	8.6	6.1	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>ACEPTABILIDAD</b>						<b>ACEPTABLE</b>																<b>ACEPTABLE</b>	<b>Cumple</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>Acept.</b>	<b>Cumple</b>	<b>ACEPTABLE</b>	<b>Acept.</b>	<b>Cumple</b>			

Fuente: Elaboración Propia

## **Cantera Chilcapite**

La cantera seleccionada en el presente estudio con el fin de ser utilizada en la etapa de construcción se describe a continuación.

La cantera lleva el nombre de CHILCAPITE, es la extensión de una cantera de corte de talud coluvial, ya explotada y aún en explotación del saldo.

De las exploraciones e inspecciones a la cantera se determinó que presenta una capacidad razonable para ser explotada durante la fase operativa o fase de construcción.

Se realizó el levantamiento topográfico correspondiente. En éste se demarcan los linderos de explotación previstos, en consecuencia el área proyectada, y se miden volúmenes de potencia. Se analizaron las distancias de recorrido para acarreo, considerando tener el menor impacto desde el punto de vista socio-ambiental y económico.

Se pasa a describir la cantera programada para este tramo, cantera CHILCAPITE.

Se encuentra localizada en la progresiva del km 102+660, en el lado izquierdo de la vía de La Mejorada a Puente Alcomachay, siendo la distancia de acceso total hasta la cantera de 3.5 km.

La ubicación en coordenadas UTM es 551570E 8580904N. Asimismo se presentan vistas de la cantera y una FICHA TÉCNICA correspondiente, en la que se evalúan sus parámetros de viabilidad como cantera.

Ver Figuras del 37 al 40 y Cuadro 23.

Figura 37. Cantera Chilcapite



Figura 38. Cantera Chilcapite



Figura 39. Cantera Chilcapite



Fuente: Elaboración Propia

Figura 40. Ficha Técnica CANTERA CHILCAPITE km 102+660

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE CANTERA TRAMO V			
<b>1. INFORMACIONES FUNDAMENTALES</b>			
NOMBRE	CHILCAPITE		
UBICACIÓN	km.: 102+660		
ACCESO	3.5 km		
DISPONIBILIDAD	En curso		
AREA A EXPLOTAR m2	1760		
PROFUNDIDAD m.	9.4		
POTENCIA m3	16544		
EPOCA DE EXPLOTACIÓN	Marzo a Noviembre		
FORMAS DE EXPLOTACIÓN	Tractor, cargador frontal, zaranda y volquetes		
<b>2. DATOS DE LOS MATERIALES NATURALES</b>			
a) Piedra %	57.4	b) Arena %	29.8
		c) Fino %	12.8
Porcentaje de bolonería > 2"	20%	Gradación granulométrica	
Tamaño máximo (plg)	6	Bien gradada	
Forma de las partículas		Mal gradada	X
Angular		Partículas predominantes	
Sub angular		Gruesas o finas	GRUESA
Redondeada	X	Material fino predominante	
Sub-redondeada		Arcillas o arenas	ARENAS
<b>3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES</b>			
<b>TIPO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADO</b>
Análisis granulométrico (ASTM C 136)	SATISFACTORIO	Maxima Dens. Proctor (ASTM D 1557)	2.177 gr/cm3
Clasificación SUCS	GP-GC	Humedad Optima	6.6%
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	CBR al 100% (ASTM D 1883) NATURAL	55.5%
Límite Líquido ( ASTM 43 18)	26	Abrasión por máquina Los Angeles (ASTM C 131)	16.2%
Límite Plástico (ASTMD 4318)	20	Materia orgánicas (ASTM C 40)	0.80%
Índice Plástico (ASTMD 4318)	6	Sales solubles agregado fino	Aceptable
Equivalente de arena (ASTM D 2419)	-		
Humedad Natural (ASTM D 2216)	7.7%		
<b>N° SONDAJES EJECUTADOS</b>	3	<b>N° MUESTRAS TOMADAS</b>	6
<b>USOS</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	
Rellenos (Transitabilidad)	80%	N1 Z	
Sub-base granular (Recarga)	80%	Z	
Micropavimento	-	-	
Concreto hidraulico	-	-	
<b>TRATAMIENTO (leyenda)</b>			
N1: Explotación directa elimina mayores de 3"	A: Aditivo mejorador de adherencia		
	S: Secado		
Z: zarandeo	N2: Explotación directa del material		
T: Trituración	L: Lavado		
F: Filler	M: Mezcla		

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 23. Cuadro resumen de ensayos de laboratorio CANTERA CHILCAPITE km 120+660

<b>CUADRO RESUMEN DE ESTUDIO DE CANTERAS TRAMO V: ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY</b>																																		
<b>CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO - CANTERA CHILCAPITE KM.:102+660</b>																																		
ITEM	FECHA	CANTERA	UBICACIÓN (km.)	LADO	CALICATA	% QUE PASA EL TAMIZ																CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		HUMEDAD NATURAL	Mat. Org. (%)	PRÓCTOR MODIF.		CBR A 100% DE LA MDS A 0.1"	Abrasión (%)		
						4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO			MDS (g/cm³)	H OPT. (%)				
1	30/10/14	CHILCAPITE	102+660	IZQ	C1	100.0	100.0	100.0	92.8	83.0	68.0	61.3	50.1	44.9	43.8	36.6	29.9	22.3	19.0	13.6	9.7	27	21	6	GP-GC	A-1a (0)	7.6	0.8	2.177	6.6	55.5	16.5		
2	30/10/14				C2	100.0	100.0	100.0	94.2	83.5	66.6	60.6	48.6	43.4	37.4	31.9	27.6	21.1	16.5	11.6	9.5	30	21	9	GP-GC	A-2-4 (0)	6.9	1.7	--	--	--	17.4		
3	30/10/14				C3	100.0	100.0	100.0	100.0	93.2	82.5	76.0	65.5	60.5	48.6	43.7	37.5	30.9	27.8	22.1	18.5	25	18	7	GM-GC	A-2-4 (0)	9.2	0.9	--	--	--	17.8		
<b>n</b>						3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
<b>Xp</b>						100.0	100.0	100.0	95.7	86.6	72.4	66.0	54.7	49.6	43.2	37.4	31.7	24.8	21.1	15.8	12.6	27	20	7	GP-GC	A-2-4 (0)	7.9	1.1	2.177	6.6	55.5	17.3		
<b>MIN</b>						100.0	100.0	100.0	92.8	83.0	66.6	60.6	48.6	43.4	37.4	31.9	27.6	21.1	16.5	11.6	9.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
<b>MAX</b>						100.0	100.0	100.0	100.0	93.2	82.5	76.0	65.5	60.5	48.6	43.7	37.5	30.9	27.8	22.1	18.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
<b>ESPECIFICACIONES</b>						--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Max. 10%	--	--	--	Max. 1%	--	--	--	--	Max. 50%	--		
<b>DESV. ESTANDAR</b>						0.0	0.0	0.0	3.8	5.8	8.8	8.7	9.4	9.5	5.6	6.0	5.2	5.4	5.9	5.6	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
<b>VARIANZA</b>						0.0	0.0	0.0	14.6	33.6	77.7	75.5	87.7	89.6	31.5	35.4	27.1	28.7	35.2	31.1	26.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>COEF. VARIACION</b>						0.0	0.0	0.0	4.0	6.7	12.2	13.2	17.1	19.1	13.0	15.9	16.4	21.6	28.1	35.4	40.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
<b>ACEPTABILIDAD</b>						ACEPTABLE																ACEPTABLE	Cumple	CUMPLE		Acept.	Cumple	ACEPTABLE		Acept.	Cumple			

Fuente: Elaboración Propia

## **Cantera Río Mantaro**

La cantera seleccionada en el presente estudio con el fin de ser utilizada en la etapa de construcción se describe a continuación.

La cantera está ubicada en el km 156+000 y por ser una extensión de una cantera de río de material aluvial, ya explotada y aún en explotación del saldo se le denomina CANTERA RIO MANTARO.

De las exploraciones e inspecciones a la cantera se determinó que presenta una capacidad razonable para ser explotada durante la fase operativa o fase de construcción.

Se realizó el levantamiento topográfico correspondiente. En éste se demarcan los linderos de explotación previstos, en consecuencia el área proyectada, y se miden volúmenes de potencia. Se analizaron las distancias de recorrido para acarreo, considerando tener el menor impacto desde el punto de vista socio-ambiental y económico.

Se pasa a describir la cantera programada para este tramo, cantera RIO MANTARO:

Se encuentra localizada en la progresiva del km 156+000, en el lado izquierdo de la vía de Acobamba a Puente Alcomachay, siendo la distancia de acceso total hasta la cantera de 1.0 km.

La ubicación en coordenadas UTM es 570167E 8580989N. Asimismo se presentan vistas de la cantera y una FICHA TÉCNICA correspondiente, en la que se evalúan sus parámetros de viabilidad como cantera.

Ver Figuras del 41 al 44. Cuadros 24 y 25.

Figura 41. Cantera Río Mantaro



Figura 42. Cantera Río Mantaro



Fuente: Elaboración Propia

Figura 43. Cantera Río Mantaro



Figura 44. Cantera Río Mantaro



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 24. Ficha Técnica CANTERA RÍO MANTARO km 156+000

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE CANTERA TRAMO V				
<b>1. INFORMACIONES FUNDAMENTALES</b>				
NOMBRE	RIO MANTARO			
UBICACIÓN	km.: 156+000			
ACCESO	A 1km. Del final del tramo			
DISPONIBILIDAD	En curso			
AREA A EXPLOTAR m2	15000			
PROFUNDIDAD m.	3.0			
POTENCIA m3	45000			
EPOCA DE EXPLOTACIÓN	Marzo a Noviembre			
FORMAS DE EXPLOTACIÓN	Tractor, cargador frontal, zaranda, volquetes y chancadora			
<b>2. DATOS DE LOS MATERIALES NATURALES</b>				
a) Piedra %		b) Arena %	c) Fino %	
58.5		38.5	3.0	
Porcentaje de bolonería > 2"	25%	Gradación granulométrica		
Tamaño máximo (plg)	12	Bien gradada	X	
Forma de las partículas		Mal gradada		
Angular		Partículas predominantes		
Sub angular		Gruesas o finas	GRUESA	
Redondeada	X	Material fino predominante		
Sub-redondeada		Arcillas o arenas	ARENAS	
<b>3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES</b>				
<b>TIPO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>TIPO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADO</b>	
Análisis granulométrico (ASTM C 136)	SATISFACTORIO	Maxima Dens. Proctor (ASTM D 1557)	2.235 gr/cm3	
Clasificación SUCS	GW	Humedad Optima	7.5%	
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	CBR al 100% (ASTM D 1883) NATURAL	64.6%	
Límite Líquido ( ASTM 43 18)	22	Abrasión por máquina Los Angeles (ASTM C 131)	28.1%	
Límite Plástico (ASTMD 4318)	N.P	Materia orgánicas (ASTM C 40)	0.70%	
Índice Plástico (ASTMD 4318)	N.P	Sales solubles agregado fino	Aceptable	
Equivalente de arena (ASTM D 2419)	65%			
Humedad Natural (ASTM D 2216)	5.0%			
<b>N° SONDAJES EJECUTADOS</b>	3	<b>N° MUESTRAS TOMADAS</b>	6	
<b>USOS</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>		
Rellenos (Transitabilidad)	75%	N1 Z		
Sub-base granular (Recarga)	75%	Z		
Micropavimento	30%	TA		
Concreto hidráulico	75%	ZL		
<b>TRATAMIENTO (leyenda)</b>				
N1: Explotación directa elimina mayores de 3"		A: Aditivo mejorador de adherencia		
		S: Secado		
Z: zarandeo		N2: Explotación directa del material		
T: Trituración		L: Lavado		
F: Filler		M: Mezcla		

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 25. Cuadro resumen de ensayos de laboratorio CANTERA RÍO MANTARO km 156+000

<b>CUADRO RESUMEN DE ESTUDIO DE CANTERAS TRAMO V: ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY</b>																																			
<b>CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO - CANTERA MANTARO KM.:156+000</b>																																			
ITEM	FECHA	CANTERA	UBICACIÓN (km.)	LADO	CALICATA	% QUE PASA EL TAMIZ														CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		HUMEDAD NATURAL	Mat. Org. (%)	Equiv. De Arena (%)	PRÓCTOR MODIF.		CBR A 100% DE LA MDS A 0.1"	Abrasión (%)				
						4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	L L	L P	I P				SUCS	AASHTO			MDS (g/cm <sup>3</sup> )	H OPT. (%)		
1	01/11/13	MANTARO	156+000	IZQ	C1	100.0	100.0	100.0	94.0	81.4	68.9	61.6	53.4	49.3	40.7	33.2	23.1	14.4	10.9	5.7	3.2	21	NP	NP	GW	A-1a (0)	2.2	0.9	66	2.235	7.5	64.6	29.0		
2	01/11/13				C2	100.0	95.4	100.0	97.6	86.4	72.5	64.4	56.1	52.4	43.9	36.1	22.6	10.6	7.3	3.5	2.2	22	NP	NP	GW	A-1a (0)	2.3	0.4	69	--	--	--	28.2		
3	01/11/13				C3	100.0	100.0	100.0	89.9	80.3	66.7	59.9	51.0	47.4	39.8	32.1	20.8	11.3	7.8	4.6	3.4	21	NP	NP	GW	A-1a (0)	2.7	0.8	62	--	--	--	27.1		
<b>n</b>						3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
<b>Xp</b>						100.0	98.5	100.0	93.8	82.7	69.3	62.0	53.5	49.7	41.5	33.8	22.2	12.1	8.6	4.6	3.0	22	NP	NP	GW	A-1a (0)	2.4	0.7	66	2.235	7.5	64.6	28.1		
<b>MIN</b>						100.0	95.4	100.0	89.9	80.3	66.7	59.9	51.0	47.4	39.8	32.1	20.8	10.6	7.3	3.5	2.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
<b>MAX</b>						100.0	100.0	100.0	97.6	86.4	72.5	64.4	56.1	52.4	43.9	36.1	23.1	14.4	10.9	5.7	3.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
<b>ESPECIFICACIONES</b>						--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Max. 10%	--	--	--	--	Max. 1%	--	--	--	--	--	Max. 50%		
<b>DESV. ESTANDAR</b>						0.0	2.7	0.0	3.9	3.2	2.9	2.3	2.6	2.5	2.2	2.1	1.2	2.0	1.9	1.1	0.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
<b>VARIANZA</b>						0.0	7.1	0.0	14.8	10.6	8.7	5.2	6.7	6.3	4.8	4.3	1.4	4.0	3.7	1.1	0.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>COEF. VARIACION</b>						0.0	2.7	0.0	4.1	3.9	4.3	3.7	4.8	5.0	5.3	6.1	5.4	16.4	22.4	23.3	21.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>ACEPTABILIDAD</b>						ACEPTABLE														ACEPTABLE	Cumple	CUMPLE		Accept.	Cumple	Cumple	ACEPTABLE		Accept.	Cumple					

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.7.3 Fuentes de agua

Referente a fuentes de agua se procedió a su ubicación y a la toma de muestras representativas. Las mismas fueron remitidas a un laboratorio químico especializado de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (UNSCH) para los correspondientes ensayos de calidad.

En el cuadro 26, se presenta la relación de fuentes de agua permanente, las mismas que fueron sometidas a ensayos químicos con la finalidad de determinar si presentan cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, sales, como cloruro o sulfatos, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser nocivos para los materiales que componen el pavimento.

Cuadro 26. Fuentes de Agua

N°	MUESTRA	FUENTE DE AGUA	UBICACION	OBSERVACIONES
1	M-1	LAGUNA	99+200 LD	Acceso 0.2 km.
2	M-1	QUEBRADA	130+200 LI	Acceso 0.01 km.
3	M-1	RIO	155+000 LI	Acceso 1.0 km.

Fuente: Elaboración Propia

#### Propiedades químicas

Los ensayos químicos realizados en las muestras obtenidas se realizaron a fin de determinar los contenidos de:

- pH
- Cloruros (C1)
- Sulfatos (SO<sub>4</sub>)
- Alcalinidad Total (NaHCO<sub>3</sub>)
- Sales Disueltas Totales
- Materia Orgánica
- Sólidos en Suspensión

Los certificados fueron solicitados al laboratorio de calidad ambiental de la UNSCH, resultados que se presentan en los presentes anexos.

El cuadro 27, Requisitos mínimos de calidad del agua – Norma MTC E 716, muestra las tolerancias permisibles de las fuentes de agua, en la que se concluye que las fuentes de agua seleccionadas aprueban para ser utilizadas en obras de pavimentación.

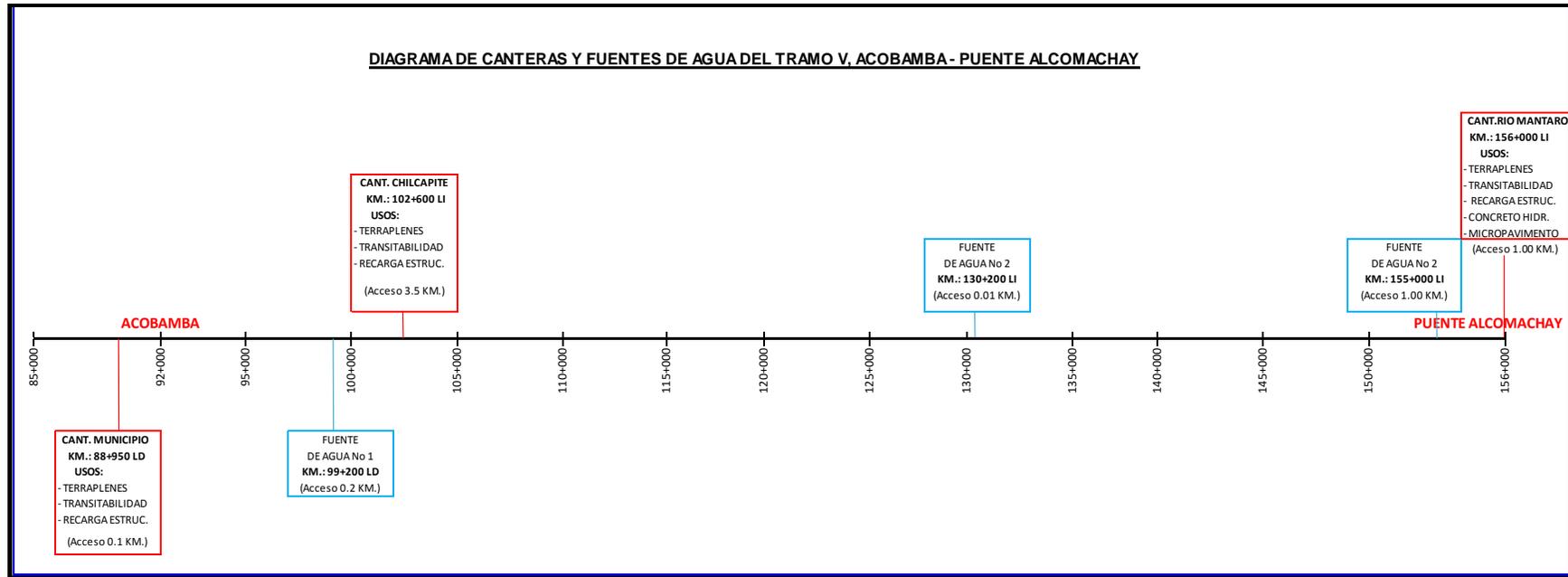
En la Figura 45 se presenta el diagrama de canteras y fuentes de agua.

Cuadro 27. Requisitos mínimos de calidad de Agua

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	LAGUNA	QDA	RÍO	TOLERANCIA
		km 99+200 LD	km 130+200 LI	km 155+000 LI	
		M-1	M-1	M-1	
pH	ppm	7.55	7.65	7.48	5.5 – 8.0
Cloruros (C1)	ppm	72.1	18.8	54.7	1000 max.
Sulfatos (SO4)	ppm	12.2	4.6	116.9	600 máx.
Alcalinidad Total (NaHCO3)	ppm	485.5	479.6	273.0	1000 máx.
Sales Disueltas Totales	ppm	410.6	283.4	619.2	2000 máx.
Materia Orgánica	ppm	0.000	0.000	0.000	3 máx.
Sólidos en Suspensión	ppm	495.8	368.5	704.5	5000 máx.

Fuente: Elaboración Propia

Figura 45. Diagrama de Canteras y Fuentes de Agua



Fuente: Elaboración Propia

#### **4.1.7.4 Diseño de la base reciclada suelo cemento**

Terminada la evaluación de la condición inicial del pavimento, referido a soporte estructural y funcionalidad, y de los resultados mostrados en los ítems de deflectometría y rugosidad superficial, se confirma la necesidad de intervenir la vía para construir un pavimento, según las condiciones establecidas en los Términos de Referencia del contrato.

Así, se solicita que la estructura del pavimento a construir deba atender un valor de  $S_N = 0.87$ . Dentro de las varias posibilidades de construcción de un pavimento para cumplir con el nivel de servicio señalado, terminadas las exploraciones de campo, laboratorio y gabinete referidas a mecánica de suelos, y al material de fundación, ha sido posible obtener el perfil estratigráfico, así como la caracterización de los suelos que conforman este terreno de fundación, punto de partida para determinar con que materiales se cuenta o como terreno de fundación, o como componente del propio pavimento.

Se completa la información con la caracterización de los materiales selectos de las fuentes de aprovisionamiento de materiales, que serán utilizados para completar el pavimento.

Los suelos (ver perfiles estratigráficos) generalmente son de naturaleza granular, en entremezclas de gravas con arenas y limos. Ocasionalmente algunas componentes arcillosas con una frecuencia incidentemente menor.

Se configura en el corredor, sobreyaciendo al material natural, un material clasificado, operando como un afirmado, el cual exhibe diversos espesores, desde los 5 cm, hasta pasando en ocasiones, inclusive espesores de 12 cm, mostrando las varias intervenciones sucedidas anteriormente.

A esto, como ya mencionado, en los planes, una recarga de material granular selecto, establece las condiciones necesarias y suficientes para lanzar como solución tecnológica moderna en la construcción del pavimento la utilización de la Técnica del Reciclado en frío, en este caso utilizando un agente estabilizador, el cemento Portland.

### **Niveles de servicio**

De acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia de las Bases Integradas, se exige que el pavimento construido debe atender un nivel de servicio para un número estructural SN= 0.87.

### **Perfiles estratigráficos**

Tal como comentado se presenta el perfil estratigráfico típico del subsuelo encontrado en el tramo, producto de la ejecución de calicatas cada 300 m, en profundidades de 1.50 m y de 0.50 m.

### **Tramificación y dosificación por sectores homogéneos**

De acuerdo al análisis de los perfiles estratigráficos, en los que queda definida la existencia de un material de afirmado de diversos espesores de 5 a 12 cm, verificando además la caracterización de los terrenos de fundación existentes, y considerando una recarga de material granular selecto de 5 cm, es posible definir configuraciones lineales en función de las características homogéneas que se encuentren.

Siendo así, fue posible generar tramos con características y peculiaridades similares, estableciendo los denominados sectores homogéneos. Definidos los sectores homogéneos y por caso típico, considerando además que el horizonte de profundidad de reciclado es de 15 cm, lleva a establecer el siguiente cuadro de tramificación y dosificación del agente estabilizador, el cemento hidráulico.

Se acompaña también la Tramificación realizada, reiterando, en función al tipo de suelo encontrado y el cuadro resumen de las características Físico-Mecánicas de la combinación de agregados en proporción a la incidencia de los espesores que involucrara la operación del reciclado (15 cm), recarga de material selecto de cantera y 12 cm de afirmado existente en promedio. Ver Cuadro 28.

Cuadro 28. Tramificación y dosificación de la combinación de materiales para diseño estructural del pavimento.

ESTRATEGIAS Y TRAMIFICACION EN LA ELABORACION DEL DISEÑO BASE SUELO - CEMENTO						
ITEM	CASO					DOSIFICACIÓN LABORATORIO
	PERFILES TIPICOS ENCONTRADOS	SOLUCIÓN	TRAMO			
			DESDE	HASTA	LONGITUD (m)	
1			92+135	156+343	64,208.00	
TOTAL LONGITUD CASO 1:					64,208.00	

Fuente: Elaboración propia.

## **Diseño suelo-cemento laboratorio – metodología**

La ejecución de los ensayos para el diseño de suelo-cemento, se muestra a continuación, en tales trabajos se siguió la tramificación y dosificación antes mencionada.

Se procedió con la siguiente metodología

- Revisión del Perfil Estratigráfico del tramo.
- Tramificación de las zonas de acuerdo al tipo de suelo a estabilizar.
- Realización de ensayos de Laboratorio: Granulometría de combinación de agregados, Clasificación SUCS, AASHTO, Peso Unitario, Proctor Modificado (05 capas y 56 golpes por capa).
- Fabricación de cuerpos de probeta molde de Ø 4" x h: 4.5", martillo de 10 Lb, 25 golpes por capa en cinco capas, para tasas de 1.0, 1.5 y 2.0% de cemento.
- Desmolde y curado de los cuerpos de probeta a 07 días en cámara húmeda o en horno por 24 horas a 70 °C en bolsas herméticas selladas.
- Ensayo de Resistencia a la compresión no confinada de los cuerpos de probeta (7, 14 y 28 días)

A continuación se presenta la ejecución de ensayos para la combinación de agregados: Cantera Municipio con material existente de la vía y con un porcentaje de cemento para la elaboración de moldes suelo-cemento con su respectiva rotura para determinar la resistencia de cada dosificación.

#### 4.1.7.5 Ejecución de ensayos de laboratorio

Análisis granulométrico por tamizado. Ver figuras del 46 al 63.

Figura 46. Material de Plataforma existente km 92+600



Figura 47. Material de Cantera de Municipio km 88+950, para recarga



Fuente: Elaboración propia.

## Granulometría

Se realiza el pesado de los materiales en función a la proporción de participación del material existente (66.7%) y el material de cantera (33.3%).

Figura 48. Granulometría



Figura 49. Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Luego se acopia ambos materiales en un solo punto para iniciar con la mezcla, realizando varios cuarteos.

Figura 50. Granulometría



Figura 51. Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Figura 52. Granulometría



Figura 53. Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza un último cuarteo del cual se toma los materiales y se pesan, se separa una cantidad para obtener la humedad natural.

Figura 54. Granulometría



Figura 55. Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Las bandejas son el material a tamizar para obtener la granulometría del conjunto, las cuales se llevan a secar el material antes del ensayo.

Figura 56. Granulometría



Una vez secado se pesa en la balanza y se empieza a tamizar.

Figura 57. Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Granulometría



Figura 59. Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Luego al material pasante se realiza el lavado correspondiente.

Figura 60. Granulometría



Luego procedemos a secar.

Figura 61. Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

Luego las muestras de cada tamiz es pesado

Figura 62. Granulometría



Luego el material restante se acopia y se tamiza por la malla  $\frac{3}{4}$ .

Figura 63. Granulometría



Fuente: Elaboración propia.

## Humedad Natural

Una vez tamizado el material por la malla  $\frac{3}{4}$ , se extrae una porción para determinar la humedad natural. Ver figuras del 64 al 67.

Figura 64. Humedad Natural



El recipiente se coloca en el horno.

Figura 65. Humedad Natural



Fuente: Elaboración propia.

Una vez secado la muestra se retira del horno, se pesa el material para determinar el contenido de humedad.

Figura 66. Humedad Natural



Figura 67. Humedad Natural



Fuente: Elaboración propia.

## Límites de consistencia

Luego el material es tamizado por la malla No 40, el cual se utilizará para realizar los ensayos de consistencia. Ver figuras del 68 al 81.

Figura 68. Límites de Consistencia



Figura 69. Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenida la muestra lo dejamos saturar por 12 horas con agua destilada.

Figura 70. Límites de Consistencia



Figura 71. Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia.

Luego se empieza a realizar la mezcla amasandola de forma alternatada y repetida

Figura 72. Límites de Consistencia



Se coloca una porción de la mezcla en la cazuela y se divide con el acanalador a traves de la linea central de la masa del suelo, formando una ranura limpia.

Figura 73. Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia.

Luego se realiza los golpes girando la manija, elevando y golpeando la taza de bronce.

Figura 74. Límites de Consistencia



Se golpea hasta que las mitades de la mezcla se pongan en contacto en el fondo de la ranura.

Figura 75. Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia.

Procediendo a dividir en angulo recto a la ranura la parte central para su extracción.

Figura 76. Límites de Consistencia



Se retira en una tara, para ser pesado.

Figura 77. Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia.

Una vez pesado se procede a ingresar al horno.

Figura 78. Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia.

Los trabajos se realizan en dos ensayos adicionales, obteniendo para cada uno de ellos el contenido de humedad (%) que será graficado versus los números de golpes realizados para cada uno de estos, obteniendo el límite líquido del suelo intersectando en la gráfica con las abscisas a los 25 golpes.

Luego se realiza los trabajos para determinar el límite plástico, formando barritas de suelo en una superficie lisa (vidrio esmerilado).

Figura 79. Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el moldeo formando cilindros, hasta observar que esté fisurado superficialmente.

Figura 80. Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia.

La muestra obtenida se coloca en una tara y se procede con su pesaje.

Figura 81. Límites de Consistencia



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza un ensayo adicional para determinar en ambos casos el peso de agua y el peso del suelo seco y así obtener en promedio, el límite plástico.

## Proctor Modificado

Luego de tamizar todo el material por la malla  $\frac{3}{4}$  se tamiza por la No 4.  
Ver figuras del 82 al 99.

Figura 82. Proctor Modificado



Figura 83. Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Luego el material es separado en bandejas, lo que deja pasar y lo que retiene la malla No 4.

Figura 84. Proctor Modificado.



Figura 85. Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinado los porcentajes de material grueso y fino que contiene la mezcla, en función a la granulometría, preparamos tres muestras de 6.00 kg, tanto para el ensayo de Proctor modificado como para el ensayo de CBR, a su vez tres muestras de 3.00 kg para los moldes de suelo-cemento, las cuales contendrán el mismo porcentaje de material grueso y fino presentes en la granulometría.

Figura 86. Proctor Modificado



Figura 87. Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Luego, procedemos a realizar el ensayo de proctor modificado con la muestra de 6.00 kg con un 4% de agua del total, que vendría ser 240ml.

Figura 88. Proctor Modificado



La muestra de 6 kg, se mezcla y se coloca la mayoría de los materiales gruesos en la parte superior con la finalidad de que sea saturado y no tener saldos de material seco.

Figura 89. Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 90. Proctor Modificado



Se procede con la mezcla del material y el agua.

Figura 91. Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Luego la mezcla se separa en 5 partes bien distribuidas.

Figura 92. Proctor Modificado



Y se coloca cada capa en los moldes para realizar los golpes necesarios, para el ensayo proctor modificado se realiza 56 golpes por cada capa que son 5 en total.

Figura 93. Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Terminado de golpear las 5 capas se procede a retirar el collarín, se enrasa la superficie con una regla metálica y si es necesario rellenar los vacíos, se utiliza el mismo material y el tamiz No 4 golpeando suavemente con un martillo de goma.

Figura 94. Proctor Modificado



Figura 95. Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 96. Proctor Modificado



Luego se pesa el molde terminado, se anota y se procede con el retiro del material, colocando el molde de cabeza y realizando pequeños golpes al material para que sea retirado.

Figura 97. Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 98. Proctor Modificado



Luego se realiza el mismo procedimiento para los siguientes ensayos de proctor modificado, con una cantidad de agua de 0% y 2%.

Obteniendo las siguientes muestras.

De Izquierda a Derecha, con contenido de agua 0%, 2% y 4%.

Figura 99. Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

## **Ensayo de C.B.R.**

Para el ensayo de CBR, se sigue el mismo procedimiento del Proctor modificado colocando cierta cantidad de agua para obtener la humedad óptima. Esta cantidad de agua es la diferencia de la humedad óptima obtenida y el contenido de agua presente en cada una de las muestras, estos datos se obtienen del ensayo de Proctor modificado.

La diferencia con el ensayo de Proctor modificado es:

- La colocación de un disco espaciador de metal que cumple la función como falso fondo y sobre este un disco de papel filtro.
- Se realiza el ensayo para 56, 25 y 12 golpes por capa.
- Una vez terminada la compactación de la última capa se retira el collarín y se enrasa, si existiese algún vacío se rellena con el mismo material pasante de la malla No 4.
- Se pesa tanto el molde como la muestra.
- Luego se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido sin disco espaciador colocando un papel filtro entre el molde y la base.
- Luego sobre la superficie del molde invertido se coloca una placa perforada con vástago y sobre esta anillos necesarios para simular una sobrecarga no menor de 4.50 kg. Ver figuras del 100 al 103.

Los moldes son colocados en una situación crítica, saturación completa, durante 5 días, para determinar su expansión.

Figura 100. C.B.R.



Figura 101. C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

Luego sobre el molde se coloca un trípode y dial, para determinar la expansión las cuales se tomarán lectura en los términos de cada día.

Una vez terminado el tiempo de saturación, se saca el molde y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo.

Se deja escurrir durante 15 minutos y a continuación se retira la sobrecarga y placa perforada y se procede con el pesaje y el ensayo de penetración.

Se coloca las mismas pesas sobre las muestras utilizadas en la inmersión, luego es llevado a la prensa de CBR, para que sea introducido por el pistón de 1”.

Figura 102. C.B.R.



Figura 103. C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

Luego se extrae el molde y se toma muestras cercanas a la zona donde se hizo la penetración con la finalidad de determinar el contenido de humedad. Con los parámetros obtenidos se realiza los cálculos correspondientes.

### **Moldeo de cuerpos de probeta de suelo-cemento**

Para realizar este ensayo, se procede con la misma metodología hasta obtener tres muestras de 3.00kg, a las cuales se le adicionará cemento a 1%, 1.5% y 2% respecto del peso de la muestra.

Ver Figuras del 104 al 125

Figura 104. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 105. Suelo - Cemento



Colocación de agua, hasta obtener la humedad óptima.

Figura 106. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Se procede con la mezcla del material.

Figura 107. Suelo – Cemento



Se separa muestras para el control de humedad.

Figura 108. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Se particiona la muestra para ser colocados en el molde por capa, 5 en total.

Figura 109. Suelo - Cemento



Luego el material es colocado en los moldes.

Figura 110. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Luego se pisonea cada capa a 25 golpes.

Figura 111. Suelo - Cemento



Se realiza el mismo procedimiento del Proctor modificado.

Figura 112. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 113. Suelo - Cemento



Luego se realiza el peso del molde y la muestra.

Figura 114. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

La muestra es colocada en el extractor de moldes.

Figura 115. Suelo - Cemento



La muestra es retirada del molde con el extractor de moldes.

Figura 116. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Se procede con la gata hidráulica el levantamiento del molde suelo-cemento.

Figura 117. Suelo - Cemento



Una vez retirado es pesado, marcado y colocado en materiales impermeables para el respectivo curado.

Figura 116. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 117. Suelo - Cemento



Figura 118. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 119. Suelo - Cemento



Para el curado se utiliza gravilla, el cual es saturado en su totalidad.

Figura 120. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 121. Suelo – Cemento



Pasado 7 días cuando los moldes están curados, se procede con en el ensayo de la resistencia a la compresión de suelo cemento.

Se realiza el secado de los testigos y se procede con el ensayo

Figura 122. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Para el ensayo utilizaremos la prensa Marshall.

Figura 123. Suelo - Cemento



Colocando los testigos en la prensa Marshall.

Figura 124. Suelo - Cemento



Fuente: Elaboración propia.

Se procede con la rotura y se anota los datos, para cada testigo y dosificación.

Figura 125. Suelo - Cemento

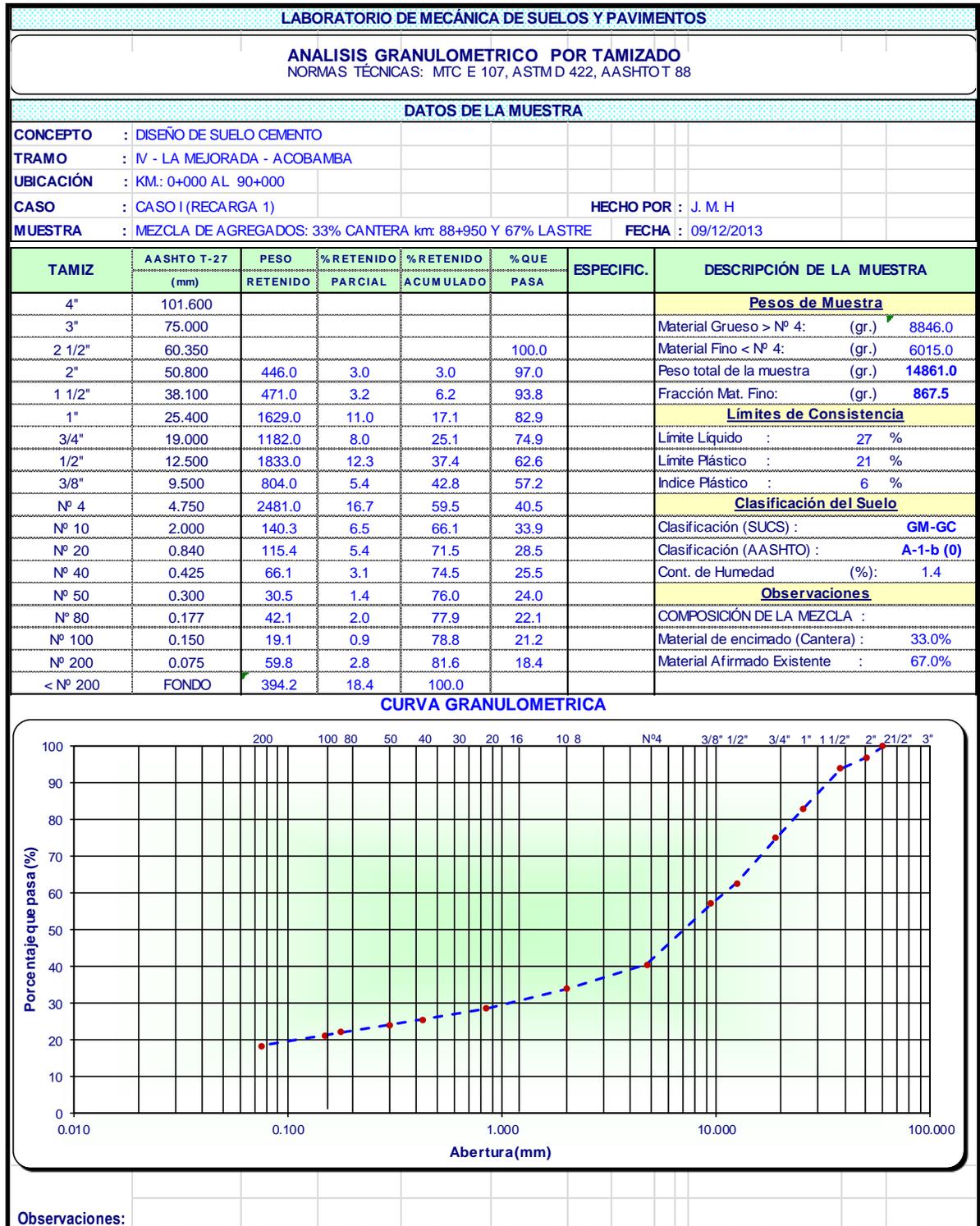


Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Resultados de la investigación

### 4.2.1 Mezcla de Agregados: Cantera Municipio (33%) y Material existente de plataforma (67%)

#### Análisis Granulométrico



Fuente: Elaboración Propia

## Límites de Consistencia

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS						
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>						
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90						
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>CONCEPTO</b>	DISEÑO DE SUELO CEMENTO					
<b>TRAMO</b>	IV - LA MEJORADA - ACOBAMBA					
<b>UBICACIÓN</b>	KM: 0+000 AL 90+000					
<b>CASO</b>	CASO I (RECARGA 1)					<b>HECHO POR</b> : J. M. H
<b>MUESTRA</b>	MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA km: 88+950 Y 67% LASTRE					<b>FECHA</b> : 09/12/2013
LÍMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)						
Nº TARA		T-03	T-04	T-06		
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	36.66	37.31	37.68		
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	31.31	31.76	31.81		
PESO DE AGUA	(gr.)	5.35	5.55	5.87		
PESO DE LA TARA	(gr.)	10.91	11.32	11.33		
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	20.40	20.44	20.48		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	26.23	27.15	28.66		
NUMERO DE GOLPES		30	23	15		
LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)						
Nº TARA		T-12	T-11			<b>Promedio</b>
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	9.12	9.25			
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	8.29	8.40			
PESO DE AGUA	(gr.)	0.83	0.85			
PESO DE LA TARA	(gr.)	4.27	4.28			
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	4.02	4.12			
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.65	20.63			21
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES</b>						
<b>ES FÍSICAS DE LA MUESTRA</b>			<b>OBSERVACIONES</b>			
LÍMITE LIQUIDO (%)		27				
LÍMITE PLÁSTICO (%)		21				
INDICE DE PLASTICIDAD (%)		6				

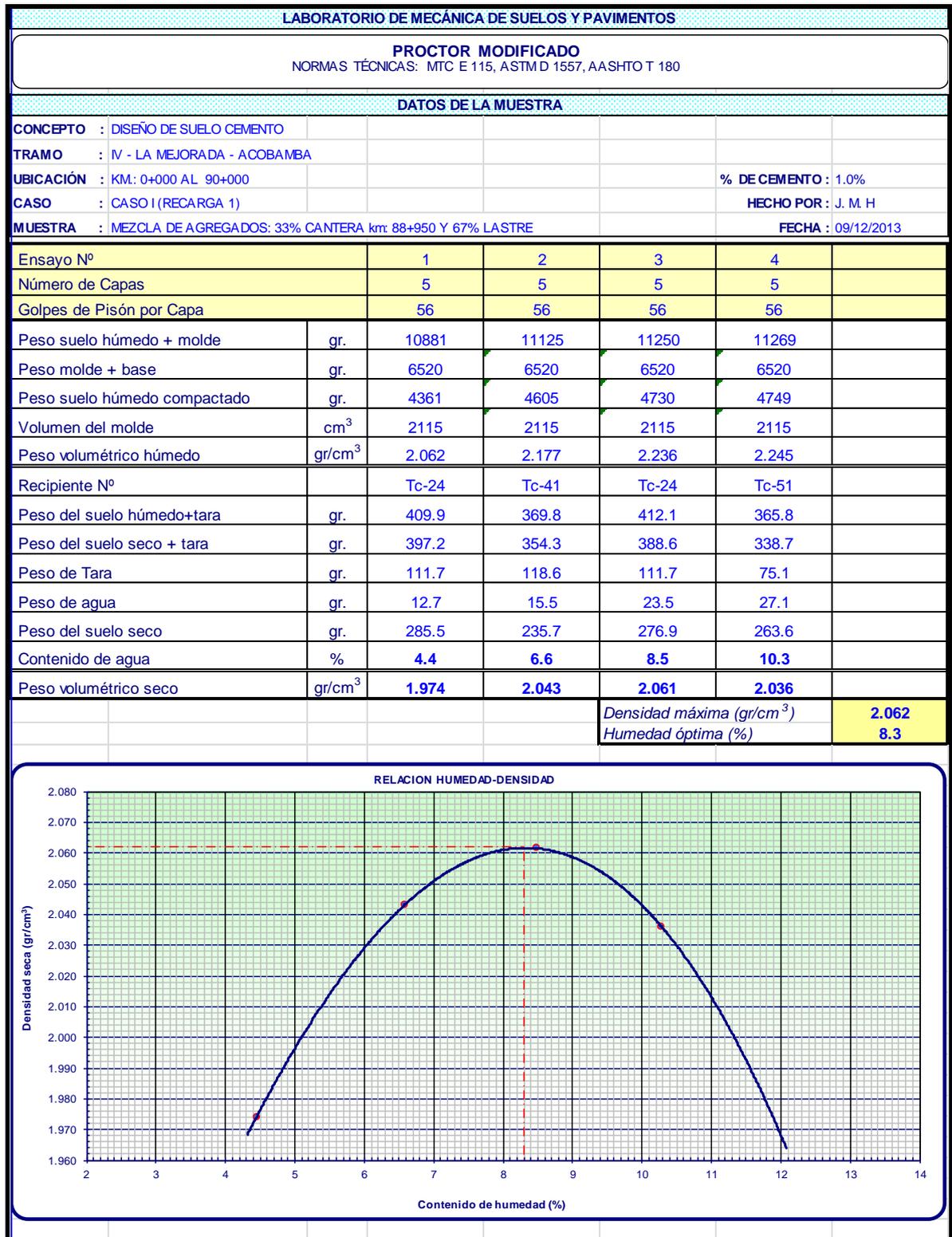
Fuente: Elaboración Propia

## Determinación de Humedad Natural

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
<b>DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216			
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>CONCEPTO</b>	: DISEÑO DE SUELO CEMENTO		
<b>TRAMO</b>	: IV - LA MEJORADA - ACOBAMBA		
<b>UBICACIÓN</b>	: KM.: 0+000 AL 90+000		
<b>CASO</b>	: CASO I (RECARGA 1)	<b>HECHO POR</b>	: J. M. H
<b>MUESTRA</b>	: MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA km: 88+950 Y 67% LASTRE	<b>FECHA</b>	: 09/12/2013
<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>		
Nro. DE TARA	T-44		
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	1472.2		
PESO TARA + SUELO SECO gr.	1453.2		
PESO DE LA TARA gr.	132.2		
PESO DEL AGUA gr.	19.0		
PESO SUELO SECO gr.	1321.0		
HUMEDAD %	1.4		
<b>HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %</b>	<b>1.4</b>		

Fuente: Elaboración Propia

## Proctor Modificado con 1.00 % de Cemento



Fuente: Elaboración Propia

## Proctor Modificado con 1.50 % de Cemento

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS					
PROCTOR MODIFICADO					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180					
DATOS DE LA MUESTRA					
CONCEPTO	DISEÑO DE SUELO CEMENTO				
TRAMO	IV - LA MEJORADA - ACOBAMBA				
UBICACIÓN	KM: 0+000 AL 90+000				% DE CEMENTO: 1.5%
CASO	CASO I (RECARGA 1)				HECHO POR: J. M. H
MUESTRA	MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA km: 88+950 Y 67% LASTRE				FECHA: 09/12/2013
Ensayo N°		1	2	3	4
Número de Capas		5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa		56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	gr.	10848	11053	11262	11191
Peso molde + base	gr.	6520	6520	6520	6520
Peso suelo húmedo compactado	gr.	4328	4533	4742	4671
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2115	2115	2115	2115
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.046	2.143	2.242	2.209
Recipiente N°		Tc-24	Tc-24	Tc-24	Tc-50
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	477.8	488.5	406.5	387.2
Peso del suelo seco + tara	gr.	461.3	464.8	382.9	366.7
Peso de Tara	gr.	111.7	111.7	111.7	167.1
Peso de agua	gr.	16.5	23.7	23.6	20.5
Peso del suelo seco	gr.	349.6	353.1	271.2	199.6
Contenido de agua	%	4.7	6.7	8.7	10.3
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.954	2.008	2.063	2.003
				Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2.063
				Humedad óptima (%)	8.7

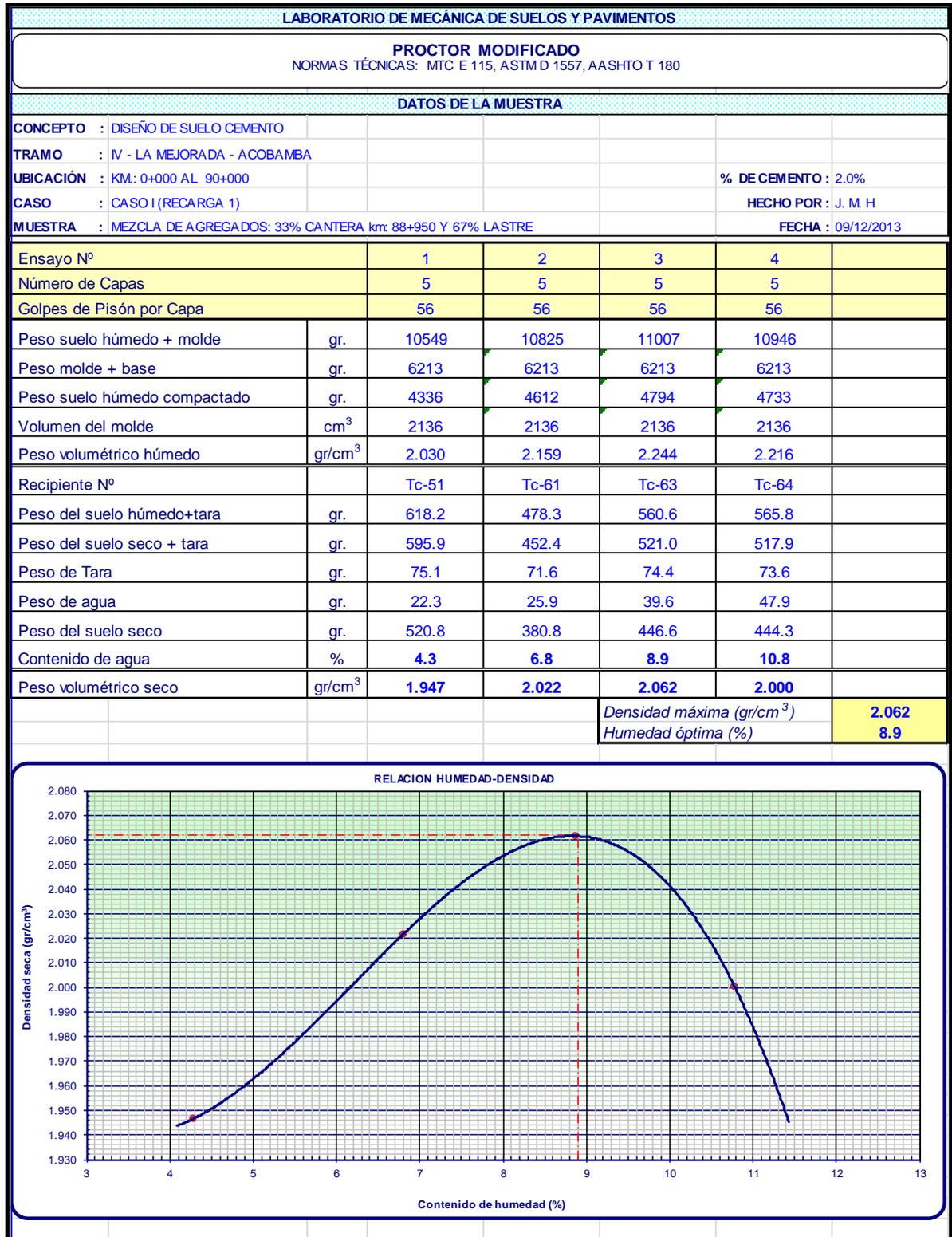
**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**

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

Contenido de humedad (%)

Fuente: Elaboración Propia

## Proctor Modificado con 2.00 % de Cemento



Fuente: Elaboración Propia



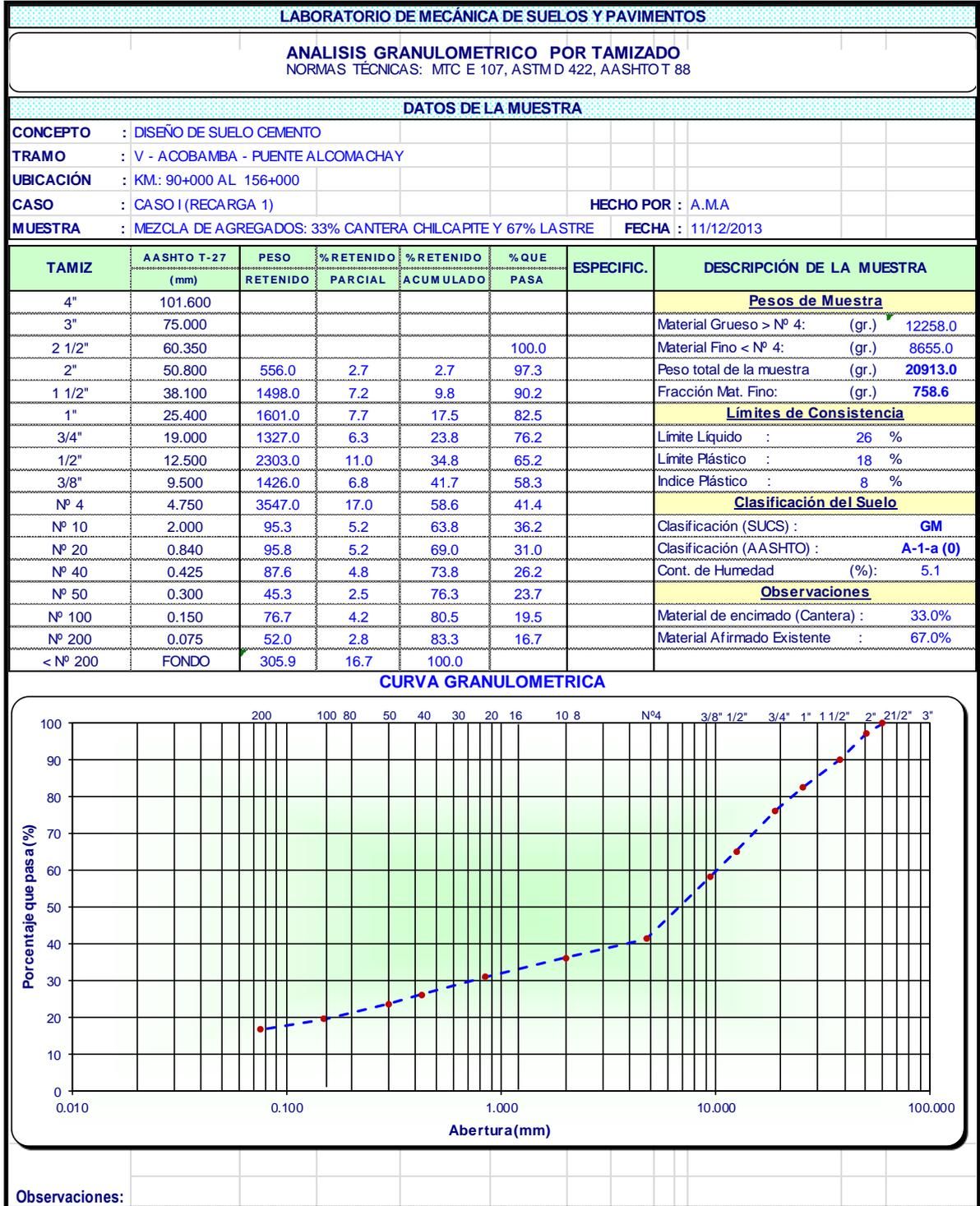
## Determinación de la Resistencia a la compresión de Suelo-Cemento

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE SUELO CEMENTO									
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS									
<b>CONCEPTO</b>		DISEÑO DE SUELO CEMENTO							
<b>TRAMO</b>		IV - LA MEJORADA - ACOBAMBA							
<b>UBICACIÓN</b>		KM: 0+000 AL 90+000							
<b>CASO</b>		CASO I (RECARGA 1)					<b>HECHO POR</b> : J. M. H		
<b>MUESTRA</b>		: MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA km: 88+950 Y 67% LASTRE					<b>FECHA</b> : 09/12/2013		
DATOS DEL ESPECIMEN SUELO CEMENTO									
N° DEL CUERPO DE PROBETA	N° DE ESPECIMEN	% DE CEMENTO EN PESO	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	LECTURA DEL DIAL (Kg)	AREA (Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (Kg/Cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO DE RESISTENCIA
1	1	1	10/12/2013	17/12/2013	7	2764.0	80.6	34.3	33.8
2	2	1	10/12/2013	17/12/2013	7	2713.0	80.6	33.7	
3	3	1	10/12/2013	17/12/2013	7	2687.0	80.6	33.3	
1	1	1.5	10/12/2013	17/12/2013	7	4200.0	80.60	52.1	53.4
2	2	1.5	10/12/2013	17/12/2013	7	4310.0	80.50	53.5	
3	3	1.5	10/12/2013	17/12/2013	7	4400.0	80.80	54.5	
1	1	2.0.	10/12/2013	17/12/2013	7	4890.0	80.60	60.7	61.2
2	2	2.0.	10/12/2013	17/12/2013	7	4960.0	80.6	61.5	
3	3	2.0.	10/12/2013	17/12/2013	7	4950.0	80.6	61.4	

Fuente: Elaboración Propia

## 4.2.2 Mezcla de Agregados: Cantera Chilcapite (33%) y Material existente de plataforma (67%)

### Análisis Granulométrico



Fuente: Elaboración Propia

## Límites de Consistencia

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS						
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>						
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	DISEÑO DE SUELO CEMENTO					
TRAMO	V - ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY					
UBICACIÓN	KM.: 90+000 AL 156+000					
CASO	CASO I (RECARGA 1)					HECHO POR : A.M.A
MUESTRA	MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA CHILCAPTE Y 67% LASTRE					FECHA : 11/12/2013
LÍMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)						
Nº TARA		T-01	T-02	T-03		
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	31.56	31.13	31.28		
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	27.50	26.93	26.92		
PESO DE AGUA	(gr.)	4.06	4.20	4.36		
PESO DE LA TARA	(gr.)	11.28	10.82	10.91		
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	16.22	16.11	16.01		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	25.03	26.07	27.23		
NUMERO DE GOLPES		31	23	16		
LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)						
Nº TARA		T-12	T-06			Promedio
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	9.64	9.02			
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	8.80	8.29			
PESO DE AGUA	(gr.)	0.84	0.73			
PESO DE LA TARA	(gr.)	4.27	4.23			
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	4.53	4.06			
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	18.54	17.98			18
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES						
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA				OBSERVACIONES		
LÍMITE LIQUIDO (%)		26				
LÍMITE PLÁSTICO (%)		18				
INDICE DE PLASTICIDAD (%)		8				

Fuente: Elaboración Propia

## Determinación de Humedad Natural

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
<b>DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216			
DATOS DE LA MUESTRA			
<b>CONCEPTO</b>	: DISEÑO DE SUELO CEMENTO		
<b>TRAMO</b>	: V - ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY		
<b>UBICACIÓN</b>	: KM.: 90+000 AL 156+000		
<b>CASO</b>	: CASO I (RECARGA 1)	<b>HECHO POR</b>	: A.M.A
<b>MUESTRA</b>	: MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA CHILCAPITE Y 67% LASTRE	<b>FECHA</b>	: 11/12/2013
ENSAYO N°	1		
Nro. DE TARA	T-26		
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	440.7		
PESO TARA + SUELO SECO gr.	426.2		
PESO DE LA TARA gr.	142.1		
PESO DEL AGUA gr.	14.5		
PESO SUELO SECO gr.	284.1		
HUMEDAD %	5.1		
<b>HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %</b>	<b>5.1</b>		

Fuente: Elaboración Propia

## Proctor Modificado con 1.00 % de Cemento

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS					
<b>PROCTOR MODIFICADO</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180					
DATOS DE LA MUESTRA					
CONCEPTO	DISEÑO DE SUELO CEMENTO				
TRAMO	V - ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY				
UBICACIÓN	KM: 90+000 AL 156+000				% DE CEMENTO: 1.0%
CASO	CASO I (RECARGA 1)				HECHO POR: A.M.A
MUESTRA	MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA CHILCAPITE Y 67% LASTRE				FECHA: 11/12/2013
Ensayo N°		1	2	3	4
Número de Capas		5	5	5	5
Golpes de Písón por Capa		56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	gr.	10885	11088	11276	11174
Peso molde + base	gr.	6520	6520	6520	6520
Peso suelo húmedo compactado	gr.	4365	4568	4756	4654
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2115	2115	2115	2115
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.064	2.160	2.249	2.200
Recipiente N°		Tc-24	Tc-32	Tc-27	Tc-46
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	603.3	572.8	443.8	532.0
Peso del suelo seco + tara	gr.	577.7	543.1	414.9	489.3
Peso de Tara	gr.	111.7	152.8	110.5	114.2
Peso de agua	gr.	25.6	29.7	28.9	42.7
Peso del suelo seco	gr.	466.0	390.3	304.4	375.1
Contenido de agua	%	5.5	7.6	9.5	11.4
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.956	2.007	2.054	1.976
				Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2.054
				Humedad óptima (%)	9.5

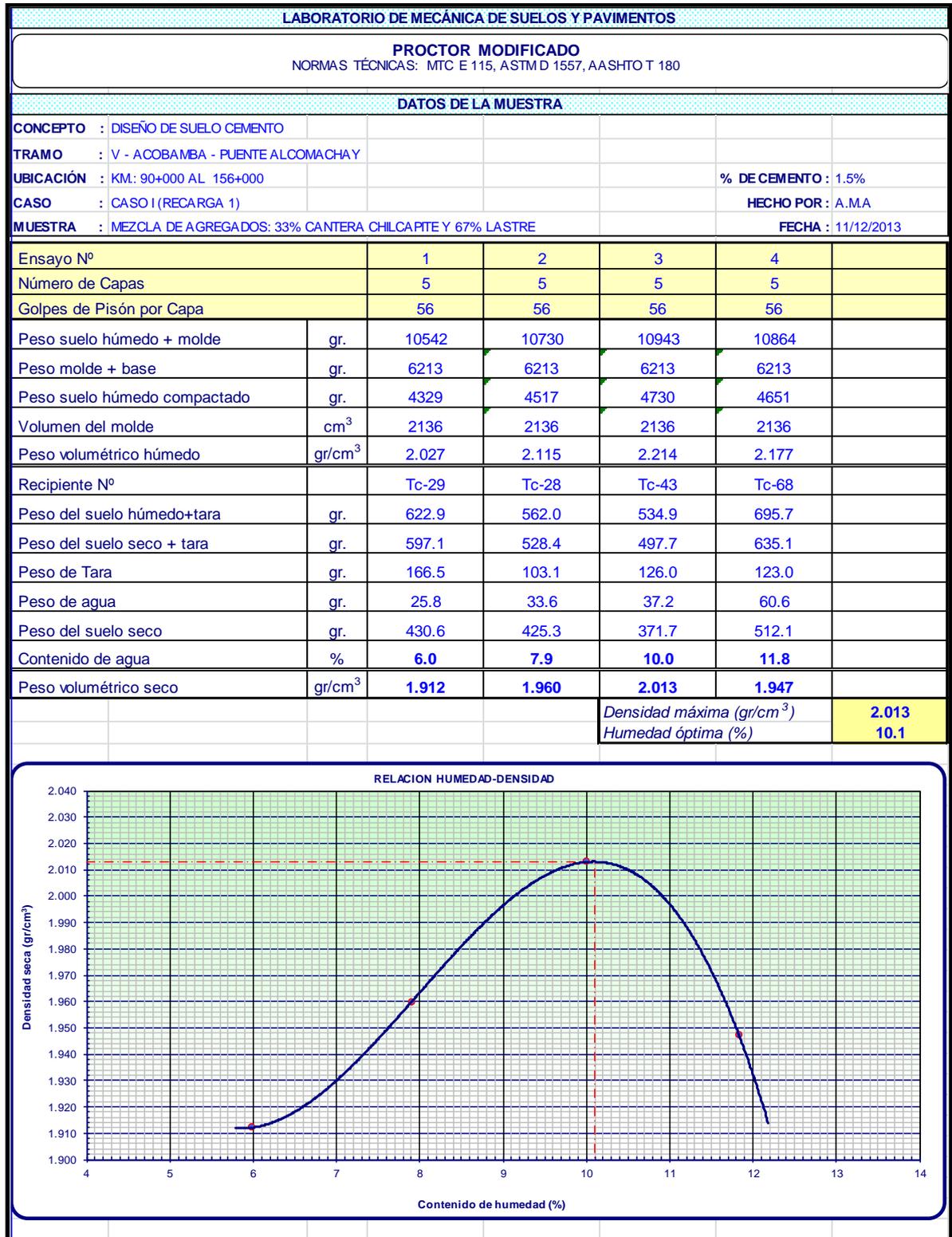
**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**

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

Contenido de humedad (%)

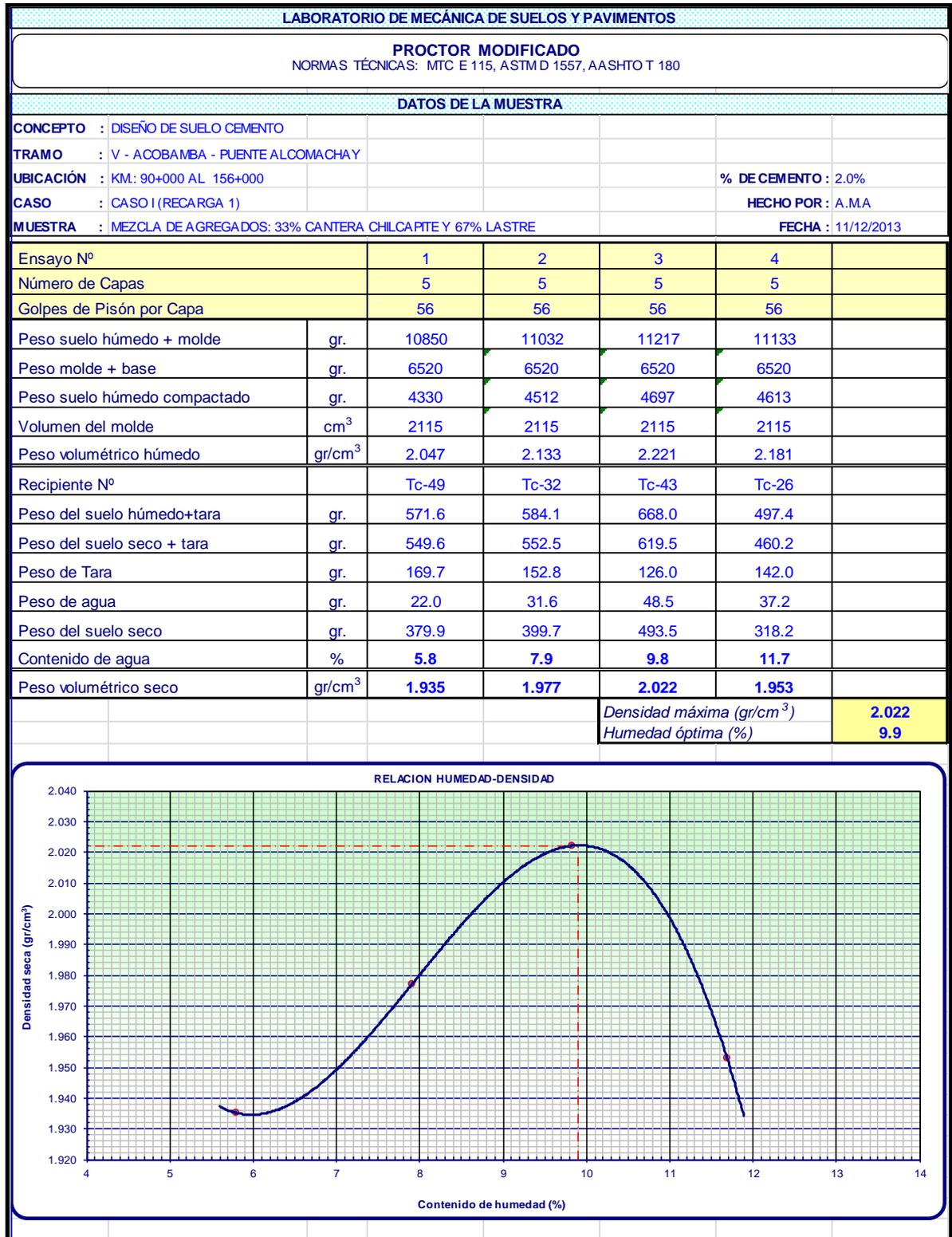
Fuente: Elaboración Propia

## Proctor Modificado con 1.50 % de Cemento



Fuente: Elaboración Propia

## Proctor Modificado con 2.00 % de Cemento



Fuente: Elaboración Propia



## Determinación de la Resistencia a la compresión de Suelo-Cemento

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE SUELO CEMENTO										
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS										
CONCEPTO	DISEÑO DE SUELO CEMENTO									
TRAMO	V - ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY									
UBICACIÓN	KM: 90+000 AL 156+000									
CASO	CASO I (RECARGA 1)						HECHO POR	: A.M.A		
MUESTRA	: MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA CHILCAPTE Y 67% LASTRE						FECHA	11/12/2013		
DATOS DEL ESPECIMEN SUELO CEMENTO										
N° DEL CUERPO DE PROBETA	N° DE ESPECIMEN	% DE CEMENTO EN PESO	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	LECTURA DEL DIAL (Kg)	AREA (Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (Kg/Cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO DE RESISTENCIA	
1	1	1	10/01/2014	17/01/2014	7	3620.0	80.60	44.9	43.9	
2	2	1	10/01/2014	17/01/2014	7	3820.0	80.60	47.4		
3	3	1	10/01/2014	17/01/2014	7	3180.0	80.60	39.5		
1	1	1.5	10/01/2014	17/01/2014	7	5080.0	80.80	62.9	62.3	
2	2	1.5	10/01/2014	17/01/2014	7	5040.0	80.50	62.6		
3	3	1.5	10/01/2014	17/01/2014	7	4960.0	80.70	61.5		
1	1	2.0.	10/01/2014	17/01/2014	7	6150.0	80.60	76.3	76.1	
2	2	2.0.	10/01/2014	17/01/2014	7	6020.0	80.60	74.7		
3	3	2.0.	10/01/2014	17/01/2014	7	6220.0	80.60	77.2		

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3 Mezcla de Agregados: Cantera Mantaro (33%) y Material existente de plataforma (67%)

#### Análisis Granulométrico

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88							
DATOS DE LA MUESTRA							
CONCEPTO	DISEÑO DE SUELO CEMENTO						
TRAMO	V - ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY						
UBICACIÓN	KM: 90+000 AL 156+000						
CASO	CASO I (RECARGA 1)			HECHO POR : J. M. H			
MUESTRA	MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA MANTARO Y 67% LASTRE				FECHA : 13/12/2013		
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600						<b>Pesos de Muestra</b>
3"	75.000						Material Grueso > Nº 4: (gr.) 14747.0
2 1/2"	60.350				100.0		Material Fino < Nº 4: (gr.) 12183.0
2"	50.800	815.0	3.0	3.0	97.0		Peso total de la muestra (gr.) <b>26930.0</b>
1 1/2"	38.100	1784.0	6.6	9.7	90.3		Fracción Mat. Fino: (gr.) <b>660.1</b>
1"	25.400	2785.0	10.3	20.0	80.0		<b>Límites de Consistencia</b>
3/4"	19.000	1928.0	7.2	27.2	72.8		Límite Líquido : 26 %
1/2"	12.500	2535.0	9.4	36.6	63.4		Límite Plástico : 20 %
3/8"	9.500	1780.0	6.6	43.2	56.8		Índice Plástico : 5 %
Nº 4	4.750	3120.0	11.6	54.8	45.2		<b>Clasificación del Suelo</b>
Nº 10	2.000	68.1	4.7	59.4	40.6		Clasificación (SUCS) : <b>GM-GC</b>
Nº 20	0.840	105.4	7.2	66.7	33.3		Clasificación (AASHTO) : <b>A-1-a (0)</b>
Nº 40	0.425	104.0	7.1	73.8	26.2		Cont. de Humedad (%): 3.9
Nº 50	0.300	49.1	3.4	77.1	22.9		<b>Observaciones</b>
Nº 80	0.177	59.6	4.1	81.2	18.8		COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA :
Nº 100	0.150	18.2	1.2	82.5	17.5		Material de encimado (Cantera) : 33.0%
Nº 200	0.075	53.8	3.7	86.2	13.8		Material Afirmado Existente : 67.0%
< Nº 200	FONDO	201.9	13.8	100.0			
CURVA GRANULOMÉTRICA							

## Límites de Consistencia

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS						
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>						
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90						
DATOS DE LA MUESTRA						
CONCEPTO	DISEÑO DE SUELO CEMENTO					
TRAMO	V - ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY					
UBICACIÓN	KM: 90+000 AL 156+000					
CASO	CASO I (RECARGA 1)					HECHO POR : J. M. H
MUESTRA	MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA MANTARO Y 67% LASTRE					FECHA : 13/12/2013
LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)						
Nº TARA		T-11	T-12	T-13		
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	41.12	41.47	41.50		
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	35.17	35.22	34.98		
PESO DE AGUA	(gr.)	5.95	6.25	6.52		
PESO DE LA TARA	(gr.)	11.28	11.28	11.22		
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	23.89	23.94	23.76		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	24.91	26.11	27.44		
NUMERO DE GOLPES		34	24	16		
LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)						
Nº TARA		T-12	T-13			Promedio
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	8.56	9.13			
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	7.85	8.33			
PESO DE AGUA	(gr.)	0.71	0.80			
PESO DE LA TARA	(gr.)	4.27	4.31			
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	3.58	4.02			
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	19.83	19.90			20
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES</b>						
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA			OBSERVACIONES			
LIMITE LIQUIDO (%)		26				
LIMITE PLASTICO (%)		20				
INDICE DE PLASTICIDAD (%)		5				

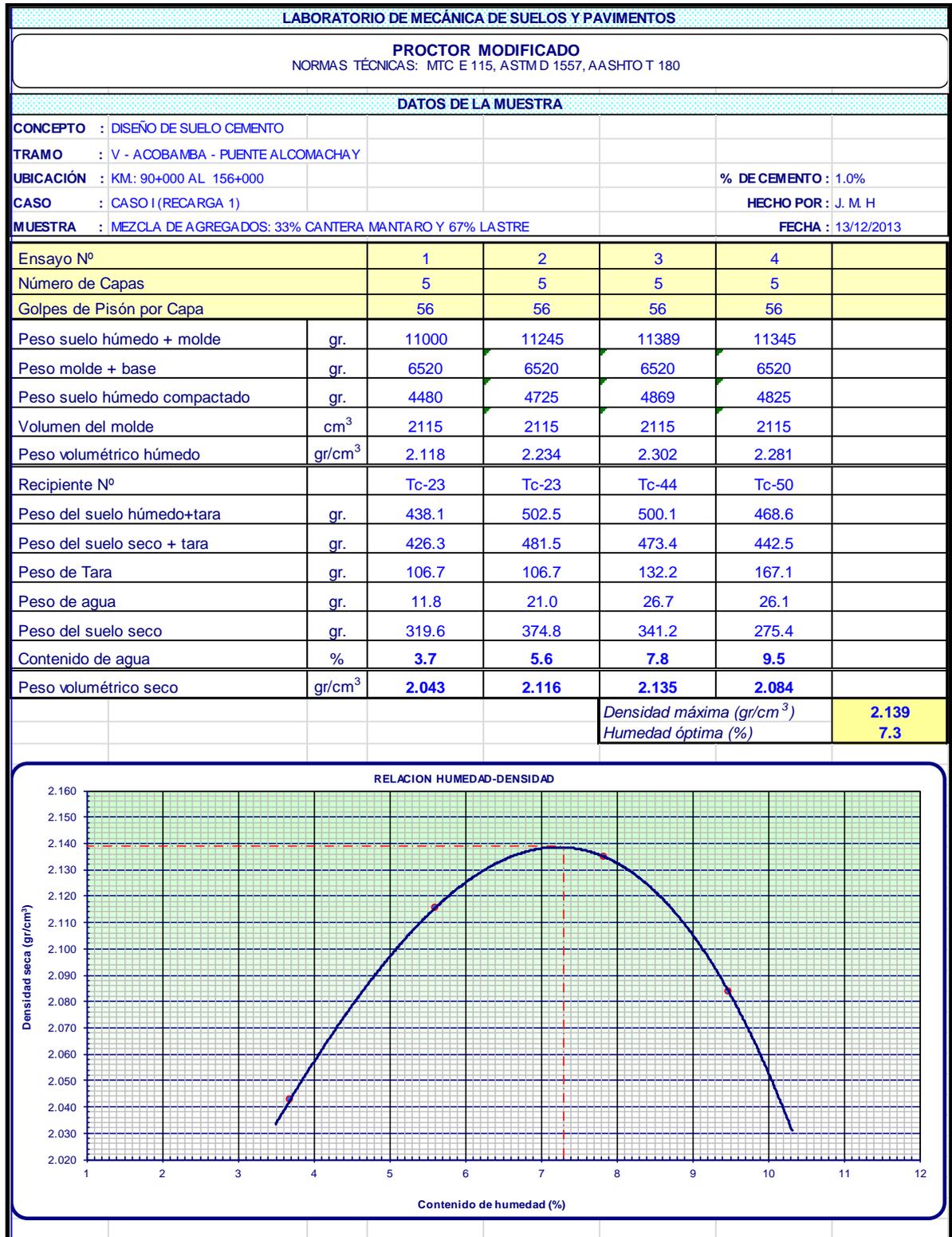
Fuente: Elaboración Propia

## Determinación de Humedad Natural

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
<b>DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216			
DATOS DE LA MUESTRA			
CONCEPTO	: DISEÑO DE SUELO CEMENTO		
TRAMO	: V - ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY		
UBICACIÓN	: KM.: 90+000 AL 156+000		
CASO	: CASO I (RECARGA 1)	HECHO POR	: J. M. H
MUESTRA	: MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA MANTARO Y 67% LASTRE	FECHA	: 13/12/2013
ENSAYO N°	1		
Nro. DE TARA	T-70		
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	1412.7		
PESO TARA + SUELO SECO gr.	1365.3		
PESO DE LA TARA gr.	155.3		
PESO DEL AGUA gr.	47.4		
PESO SUELO SECO gr.	1210.0		
HUMEDAD %	3.9		
<b>HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %</b>	<b>3.9</b>		

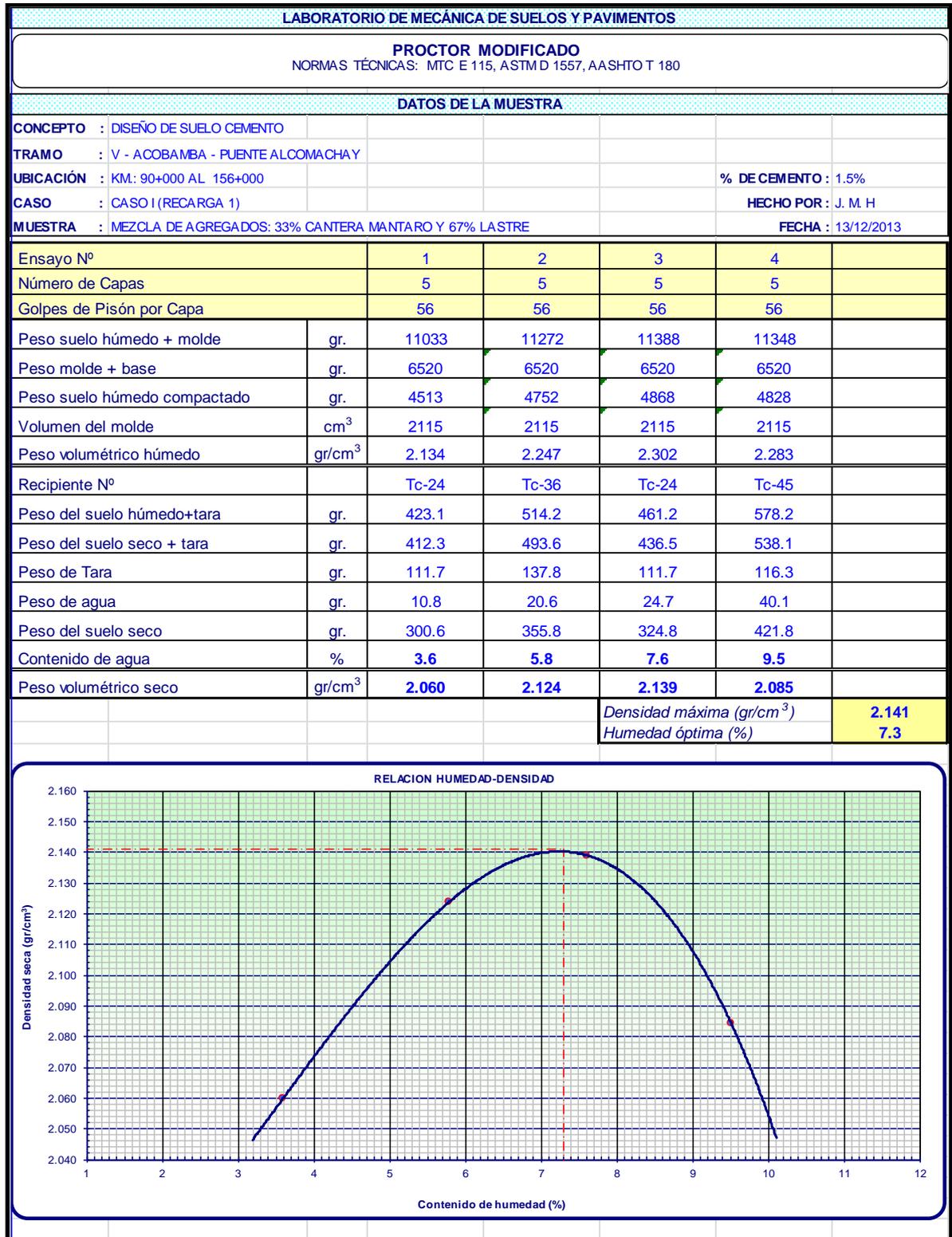
Fuente: Elaboración Propia

## Proctor Modificado con 1.00 % de Cemento



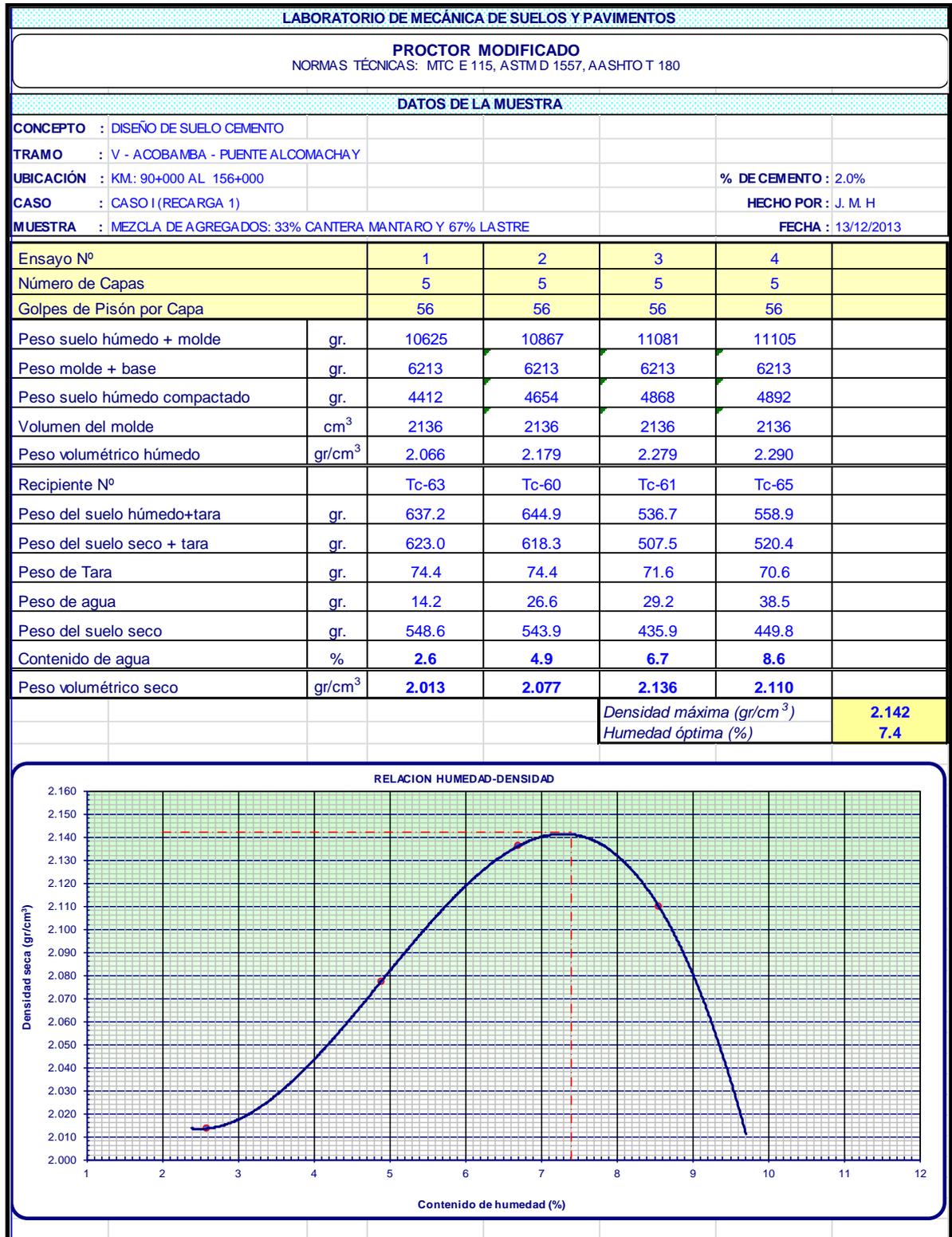
Fuente: Elaboración Propia

## Proctor Modificado con 1.50 % de Cemento



Fuente: Elaboración Propia

## Proctor Modificado con 2.00 % de Cemento



Fuente: Elaboración Propia



## Determinación de la Resistencia a la compresión de Suelo-Cemento

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE SUELO CEMENTO										
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS										
CONCEPTO	DISEÑO DE SUELO CEMENTO									
TRAMO	V - ACOBAMBA - PUENTE ALCOMACHAY									
UBICACIÓN	KM: 90+000 AL 156+000									
CASO	CASO I (RECARGA 1)						HECHO POR	: J. M. H		
MUESTRA	: MEZCLA DE AGREGADOS: 33% CANTERA MANTARO Y 67% LASTRE						FECHA	13/12/2013		
DATOS DEL ESPECIMEN SUELO CEMENTO										
N° DEL CUERPO DE PROBETA	N° DE ESPECIMEN	% DE CEMENTO EN PESO	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	LECTURA DEL DIAL (Kg)	AREA (Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (Kg/Cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO DE RESISTENCIA	
1	1	1	13/12/2013	20/12/2013	7	1311.0	80.50	16.3	18.9	
2	2	1	13/12/2013	20/12/2013	7	1470.0	80.60	18.2		
3	3	1	13/12/2013	20/12/2013	7	1780.0	80.60	22.1		
1	1	1.5	13/12/2013	20/12/2013	7	2230.0	80.80	27.6	30.4	
2	2	1.5	13/12/2013	20/12/2013	7	2760.0	80.60	34.2		
3	3	1.5	13/12/2013	20/12/2013	7	2375.0	80.70	29.4		
1	1	2.0.	13/12/2013	20/12/2013	7	3547.0	80.50	44.1	49.1	
2	2	2.0.	13/12/2013	20/12/2013	7	3970.0	80.60	49.3		
3	3	2.0.	13/12/2013	20/12/2013	7	4355.0	80.60	54.0		

Fuente: Elaboración Propia

### 4.2.4 Diseño de la estructura del pavimento

Con la evaluación de soporte del subsuelo del tramo en estudio por la mecánica de suelos, el Estudio de tráfico terminado, considerando la evaluación deflectométrica y de rugosidad superficial, así como habiendo evaluado y seleccionado las fuentes de aprovisionamiento de materiales, se procederá a verificar el cumplimiento estructural de  $SN_{min}=0.87$  para el paquete propuesto, además complementario al Diseño se pasará a verificar el número estructural requerido  $SN_{req}$  partiendo ahora, de los valores de soporte del terreno de fundación encontrados (CBR), y el tráfico proyectado en ejes equivalentes a la finalización del 5to año de servicio.

#### 4.2.5 Método de las diferencias acumuladas

El establecimiento de tramos homogéneos a través de parámetros propios de la vía se puede efectuar de manera subjetiva, realizando un dibujo que muestre el comportamiento de la variable medida a lo largo del proyecto o se puede realizar de una manera más objetiva mediante procedimientos analíticos, entre los cuales se puede citar el de las “Diferencias Acumuladas”, descrito en el apéndice J de la “GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS AASHTO 1993”.

Para nuestro diseño realizaremos este método con datos de CBR, con la finalidad de determinar el punto o puntos de inflexión dentro de la gráfica y realizar un promedio en aquellos que presenten cierta tendencia. Ver cuadro 29 y figura 126.

Cuadro 29. Método de las diferencias acumuladas

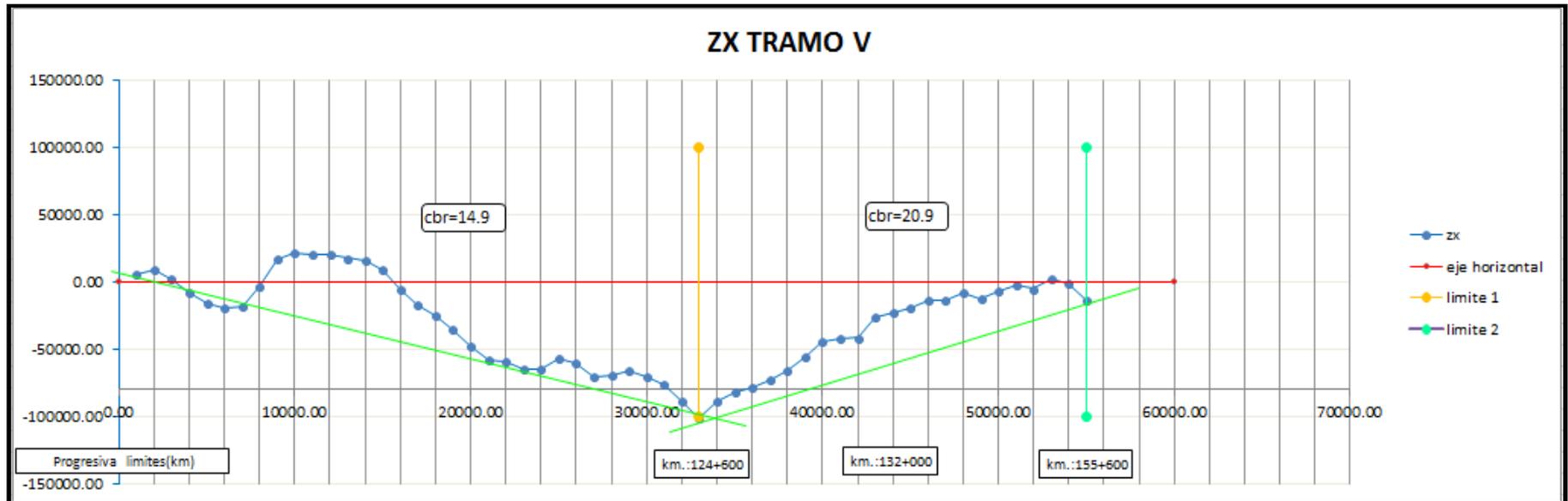
Progresiva	CBR (%)	# Intervalo	Dist. Entre Intervalos	Dist. Acum. entre Intervalos	Intervalo prom.	Área del intervalo	Área acum.	Zx
92+600	24.2	1	1000.00	1000.00	24.20	24200	24200	6263.28
93+600	16.4	2	1000.00	2000.00	20.30	20300	44500	8626.56
94+600	6.7	3	1000.00	3000.00	11.55	11550	56050	2239.84
95+600	8.9	4	1000.00	4000.00	7.80	7800	63850	-7896.88
96+600	10.1	5	1000.00	5000.00	9.50	9500	73350	-16333.59
97+600	18.9	6	1000.00	6000.00	14.50	14500	87850	-19770.31
98+600	20.5	7	1000.00	7000.00	19.70	19700	107550	-18007.03
99+600	45.0	8	1000.00	8000.00	32.75	32750	140300	-3193.75
100+600	32.5	9	1000.00	9000.00	38.75	38750	179050	17619.53
101+600	10.8	10	1000.00	10000.00	21.65	21650	200700	21332.81
102+600	24.3	11	1000.00	11000.00	17.55	17550	218250	20946.09
103+600	11.8	12	1000.00	12000.00	18.05	18050	236300	21059.38
104+600	17.3	13	1000.00	13000.00	14.55	14550	250850	17672.66
105+600	15.6	14	1000.00	14000.00	16.45	16450	267300	16185.94
106+600	5.6	15	1000.00	15000.00	10.60	10600	277900	8849.22

Progresiva	CBR (%)	# Intervalo	Dist. Entre Intervalos	Dist. Acum. entre Intervalos	Intervalo prom.	Área del intervalo	Área acum.	Zx
107+600	1.5	16	1000.00	16000.00	3.55	3550	281450	-5537.50
108+600	10.7	17	1000.00	17000.00	6.10	6100	287550	-17374.22
109+600	10.0	18	1000.00	18000.00	10.35	10350	297900	-24960.94
110+600	5.9	19	1000.00	19000.00	7.95	7950	305850	-34947.66
111+600	4.8	20	1000.00	20000.00	5.35	5350	311200	-47534.38
112+600	10.5	21	1000.00	21000.00	7.65	7650	318850	-57821.09
113+600	22.0	22	1000.00	22000.00	16.25	16250	335100	-59507.81
114+600	2.9	23	1000.00	23000.00	12.45	12450	347550	-64994.53
115+600	34.0	24	1000.00	24000.00	18.45	18450	366000	-64481.25
116+600	16.5	25	1000.00	25000.00	25.25	25250	391250	-57167.97
117+600	12.5	26	1000.00	26000.00	14.50	14500	405750	-60604.69
118+600	4.1	27	1000.00	27000.00	8.30	8300	414050	-70241.41
119+600	32.7	28	1000.00	28000.00	18.40	18400	432450	-69778.13
120+600	10.0	29	1000.00	29000.00	21.35	21350	453800	-66364.84
121+600	18.6	30	1000.00	30000.00	14.30	14300	468100	-70001.56
122+600	4.7	31	1000.00	31000.00	11.65	11650	479750	-76288.28
123+600	6.0	32	1000.00	32000.00	5.35	5350	485100	-88875.00
124+600	ROCA	33	1000.00	33000.00	6.00	6000	491100	-100811.72
125+600	29.7	34	1000.00	34000.00	29.70	29700	520800	-89048.44
126+600	20.5	35	1000.00	35000.00	25.10	25100	545900	-81885.16
127+600	23.0	36	1000.00	36000.00	21.75	21750	567650	-78071.88
128+600	23.0	37	1000.00	37000.00	23.00	23000	590650	-73008.59
129+600	27.8	38	1000.00	38000.00	25.40	25400	616050	-65545.31
130+600	27.5	39	1000.00	39000.00	27.65	27650	643700	-55832.03
131+600	32.2	40	1000.00	40000.00	29.85	29850	673550	-43918.75
132+600	6.7	41	1000.00	41000.00	19.45	19450	693000	-42405.47
133+600	31.1	42	1000.00	42000.00	18.90	18900	711900	-41442.19
134+600	34.6	43	1000.00	43000.00	32.85	32850	744750	-26528.91
135+600	9.0	44	1000.00	44000.00	21.80	21800	766550	-22665.63

Progresiva	CBR (%)	# Intervalo	Dist. Entre Intervalos	Dist. Acum. entre Intervalos	Intervalo prom.	Área del intervalo	Área acum.	Zx
136+600	34.5	45	1000.00	45000.00	21.75	21750	788300	-18852.34
137+600	12.0	46	1000.00	46000.00	23.25	23250	811550	-13539.06
138+600	24.0	47	1000.00	47000.00	18.00	18000	829550	-13475.78
139+600	22.0	48	1000.00	48000.00	23.00	23000	852550	-8412.50
140+600	6.3	49	1000.00	49000.00	14.15	14150	866700	-12199.22
141+600	39.8	50	1000.00	50000.00	23.05	23050	889750	-7085.94
142+600	6.0	51	1000.00	51000.00	22.90	22900	912650	-2122.66
143+600	24.0	52	1000.00	52000.00	15.00	15000	927650	-5059.38
144+600	26.0	53	1000.00	53000.00	25.00	25000	952650	2003.91
145+600	4.7	54	1000.00	54000.00	15.35	15350	968000	-582.81
146+600	5.0	55	1000.00	55000.00	4.85	4850	972850	-13669.53
147+600	18.2	56	1000.00	56000.00	11.60	11600	984450	-20006.25
148+600	11.5	57	1000.00	57000.00	14.85	14850	999300	-23092.97
149+600	34.2	58	1000.00	58000.00	22.85	22850	1022150	-18179.69
150+600	17.0	59	1000.00	59000.00	25.60	25600	1047750	-10516.41
151+600	29.5	60	1000.00	60000.00	23.25	23250	1071000	-5203.13
152+600	12.9	61	1000.00	61000.00	21.20	21200	1092200	-1939.84
153+600	11.5	62	1000.00	62000.00	12.20	12200	1104400	-7676.56
154+600	32.7	63	1000.00	63000.00	22.10	22100	1126500	-3513.28
155+600	10.2	64	1000.00	64000.00	21.45	21450	1147950	0.00
156600						<b>At</b>	1147950	
						<b>Lp</b>	64000.00	
						<b>F</b>	17.94	

Fuente: Elaboración Propia

Figura 126. Gráfica de Zx vs Progresivas del Tramo V



Fuente: Elaboración Propia

En la figura se puede apreciar la tendencia de los Zx con punto de inflexión en la progresiva 124+600, prevaleciendo a partir de este punto dos tramos homogéneos para los datos de CBR que serán promediados con la finalidad de obtener dos datos de CBR de diseño.

Promediando los datos de CBR de la progresiva 92+600 hasta el 124+600, nos da un primer CBR de diseño de 14.9.

Promediando los datos de CBR de la progresiva 124+600 hasta el 155+600, nos da un segundo CBR de diseño de 20.9.

#### 4.2.6 Método NAASRA

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa del pavimento, se adoptó como representativa la ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities (hoy AUSTROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el pavimento, expresada en Número de ejes equivalentes acumulados, en este caso para los 5 años de servicio. Ver tablas 44 y 45

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

Dónde:

e = Espesor de la capa de pavimento en mm

CBR = Valor del CBR del terreno de fundación, calculado utilizando el método de las áreas acumuladas.

Nrep = Número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

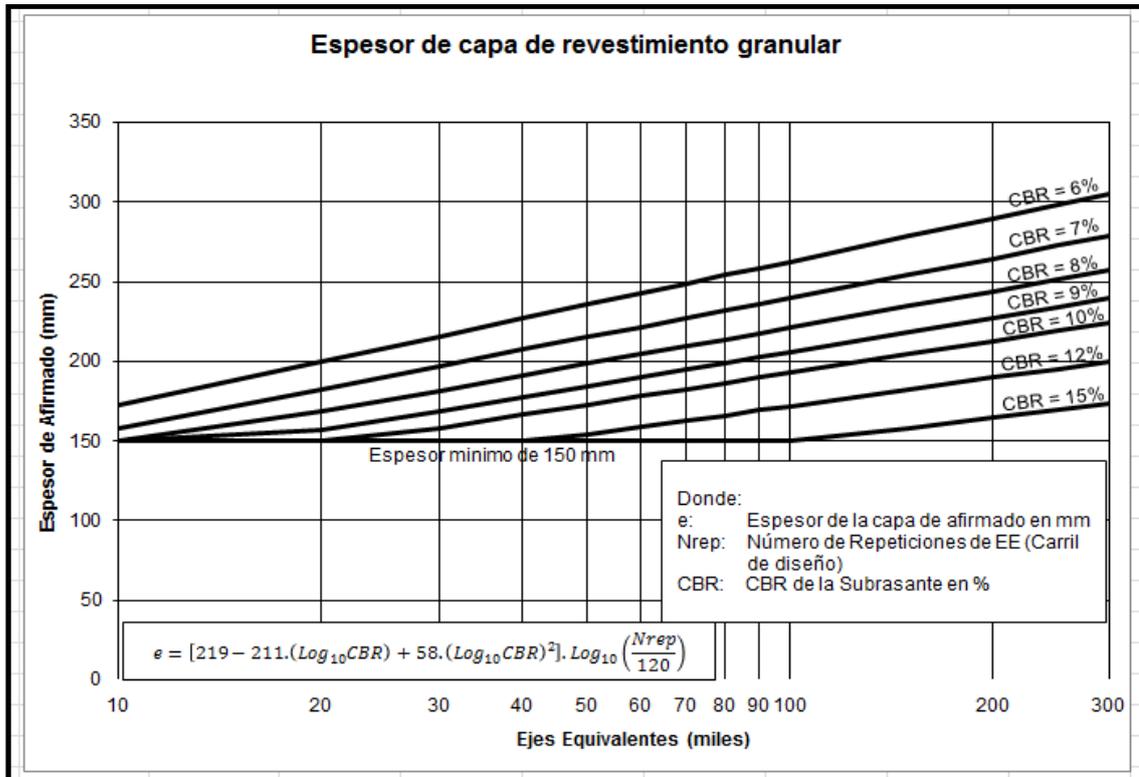
EJES EQUIVALENTES PARA 5 AÑOS. (Ver cuadro 16)				
TRAMO	DE	A	EJES EQUIVALENTES (5 AÑOS)	
V	ACOBAMBA	PUENTE ALCOMACHAY	24340	24340
	PUENTE ALCOMACHAY	ACOBAMBA	9275	

Tabla 44. Aplicación del Método NAASRA

ESPESOR DE CAPA (mm):							
ESAL (E.E.) \ CBR (%)	6	7	8	9	10	12	15
10,000	173	158	150	150	150	150	150
20,000	200	182	168	157	150	150	150
30,000	216	197	182	169	158	150	150
40,000	227	207	191	178	167	150	150
50,000	236	215	198	185	173	154	150
60,000	243	222	204	190	178	159	150
70,000	249	227	210	195	183	163	150
80,000	254	232	214	199	186	166	150
90,000	259	236	218	203	190	169	150
100,000	263	240	221	206	193	172	150
150,000	279	254	235	218	204	182	158
200,000	290	265	244	227	213	190	165
250,000	298	272	251	234	219	195	169
300,000	306	279	257	239	224	200	174

Fuente: Elaboración propia en base al método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy Austroads)

Tabla 45. Espesor de material granular



Fuente: Elaboración propia en base al método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy Austroads)

Luego procedemos con el diseño, ver Cuadro 30

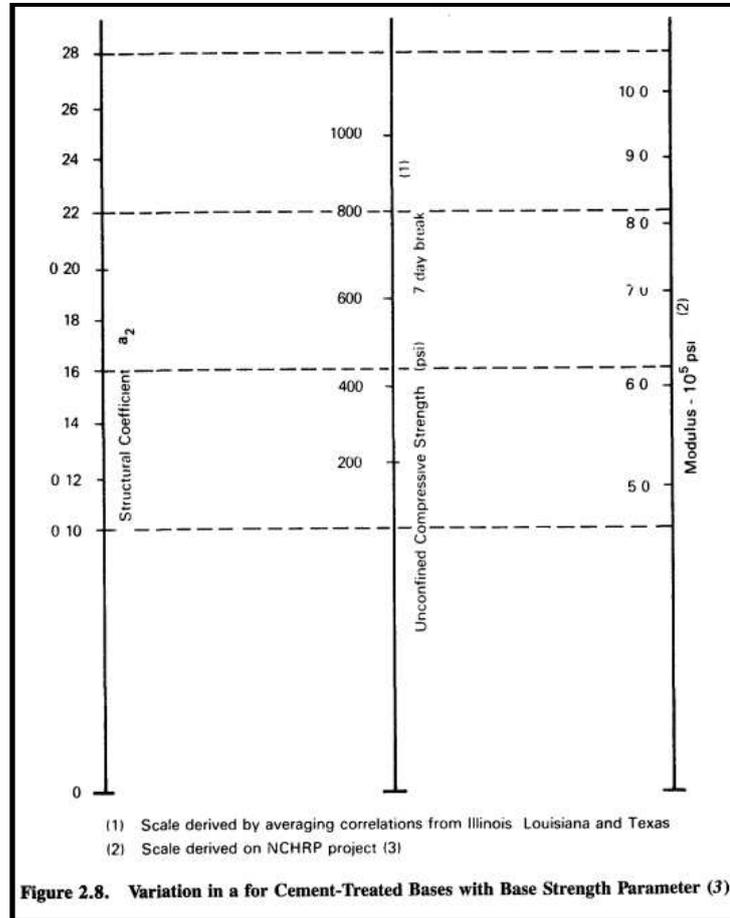
Cuadro 30. Método NAASRA

MÉTODO NAASRA																
TRÁFICO (EJES EQUIVALE NTES)	TRAMOS		CBR (al 95% MDS)	ESPESOR (ABACO NAASRA)		ESPESOR CONSTRUCCIÓN (mínimo)		LONGITUD DE INFLUENCIA POR CANTERA			RESULTADOS SUELO - CEMENTO			VERIFICACIÓN DEL SN		
	DE (km)	A (km)		mm	pulg	mm	pulg	92+135 AL 100+000	100+000 AL 132+000	132+000 AL 156+343	Porcentaje de Cemento (%)	f'c (kg/cm2)	a2	SN	SN REQ.	STATUS
24340	92+135	100+000	14.9	118	5	150	6	Municipio			1.00	33.8	0.17	1.00	0.87	CUMPLE
24340	92+135	100+000	14.9	118	5	151	6	Municipio			1.50	53.4	0.21	1.25	0.87	CUMPLE
24340	92+135	100+000	14.9	118	5	152	6	Municipio			2.00	61.2	0.23	1.38	0.87	CUMPLE
24340	100+000	124+600	14.9	118	5	150	6		Chilcapite		1.00	43.9	0.19	1.10	0.87	CUMPLE
24340	124+600	132+000	20.9	96	4	150	6		Chilcapite		1.00	43.9	0.19	1.10	0.87	CUMPLE
24340	100+000	124+600	14.9	118	5	150	6		Chilcapite		1.50	62.3	0.23	1.36	0.87	CUMPLE
24340	124+600	132+000	20.9	96	4	150	6		Chilcapite		1.50	62.3	0.23	1.36	0.87	CUMPLE
24340	100+000	124+600	14.9	118	5	150	6		Chilcapite		2.00	76.1	0.26	1.54	0.87	CUMPLE
24340	124+600	132+000	20.9	96	4	150	6		Chilcapite		2.00	76.1	0.26	1.54	0.87	CUMPLE
24340	132+000	156+343	20.9	96	4	150	6			Mantaro	1.00	18.9	0.13	0.77	0.87	NO CUMPLE
24340	132+000	156+343	20.9	96	4	151	6			Mantaro	1.50	30.4	0.16	0.95	0.87	CUMPLE
24340	132+000	156+343	20.9	96	4	152	6			Mantaro	2.00	49.1	0.21	1.26	0.87	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Para la obtención del parámetro  $a_2$ , se utilizó la Figura 2.8 de la Guía AASHTO del 93. (Figura 127)

Figura 127. Variación de los coeficientes de capa “ $a_2$ ”, en Bases tratados con cemento



Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

Para dar cumplimiento a los niveles de servicio exigidos al pavimento se debe de cumplir con un número estructural mayor de  $SN=0.87$ .

Los tramos que resultan por encima del valor admisible con un SN de 1.00 y 1.10 se recomienda establecer un espesor de 15 cm con uso de recargas de las canteras Municipio y Chilcapite, para un consumo de cemento portland de 1%.

Para el uso de la cantera Mantaro se tiene un valor de SN 0.95, se recomienda establecer un espesor de 15 cm en su tramo de influencia, para un consumo de cemento portland de 1.5%.

#### 4.2.7 Método AASHTO 93

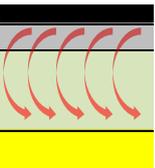
Desarrollando por el Método AASHTO 93, Ver Figura 128 y 129.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN_r + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN_r + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures 1993.

Figura 128. Método AASHTO con CBR de diseño 14.9

R =	<b>65%</b>	Nivel de Confiabilidad para el período de análisis
Z <sub>R</sub> =	<b>-0.385</b>	Desviación Estandar Normal
S <sub>o</sub> =	<b>0.45</b>	Variabilidad
W <sub>18</sub> =	<b>2.43E+04</b>	EAL para el periodo de diseño
P <sub>o</sub> =	<b>3.8</b>	Serviciabilidad inicial
P <sub>f</sub> =	<b>2</b>	Serviciabilidad final
ΔPSI =	<b>1.8</b>	Perdida de serviciabilidad (P <sub>f</sub> - P <sub>o</sub> )
CBR =	<b>14.9</b>	CBR de diseño
M <sub>R</sub> =	<b>14395.6</b>	Modulo resiliente
SN <sub>req</sub> =	<b>1.19</b>	Numero estructural requerido

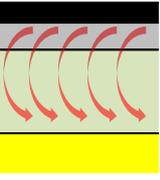
ESTRUCTURA PROPUESTA			
	CAPA	ESPESOR (PULG.)	ESPESOR (cm)
	M.A.C.	<b>0.4</b>	1
	Reciclado y % de Cemento	<b>8</b>	20
	S.R.	-	-
CAPA 1 Micropavimento	a <sub>1</sub> =	0.000	1/pulg
	m <sub>1</sub> =	1.00	
	D <sub>1</sub> =	0.40	pulg
	SN <sub>1</sub> =	0.00	
CAPA 2 Base Reciclada con Cemento Portland	a <sub>2</sub> =	0.170	1/pulg
	m <sub>2</sub> =	1.00	
	D <sub>2</sub> =	8.00	pulg
	SN <sub>2</sub> =	1.36	
<b>SN<sub>prop</sub> =</b>		<b>1.36</b>	

Cumple SN prop >= SN req, con un espesor de Suelo-Cemento: 20.0 cm

Fuente: Elaboración Propia

Figura 129. Método AASHTO con CBR de diseño 20.9

R =	65%	Nivel de Confiabilidad para el período de análisis
Z <sub>R</sub> =	-0.385	Desviación Estandar Normal
S <sub>o</sub> =	0.45	Variabilidad
W <sub>18</sub> =	2.43E+04	EAL para el periodo de diseño
P <sub>o</sub> =	3.8	Serviciabilidad inicial
P <sub>f</sub> =	2	Serviciabilidad final
ΔPSI =	1.8	Perdida de serviciabilidad (P <sub>f</sub> - P <sub>o</sub> )
CBR =	20.9	CBR de diseño
M <sub>R</sub> =	17876.6	Modulo resiliente
SN <sub>req</sub> =	1.08	Numero estructural requerido

ESTRUCTURA PROPUESTA														
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #ADD8E6;"> <th style="padding: 2px;">CAPA</th> <th style="padding: 2px;">ESPESOR (PULG.)</th> <th style="padding: 2px;">ESPESOR (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">M.A.C.</td> <td style="text-align: center; color: red; padding: 2px;">0.4</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">1</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Reciclado y % de Cemento</td> <td style="text-align: center; color: red; padding: 2px;">7</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">17.5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">S.R.</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">-</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">-</td> </tr> </tbody> </table>	CAPA	ESPESOR (PULG.)	ESPESOR (cm)	M.A.C.	0.4	1	Reciclado y % de Cemento	7	17.5	S.R.	-	-	
CAPA	ESPESOR (PULG.)	ESPESOR (cm)												
M.A.C.	0.4	1												
Reciclado y % de Cemento	7	17.5												
S.R.	-	-												
<b>CAPA 1</b> Micropavimento	$a_1 = 0.000$ 1/pulg $m_1 = 1.00$ $D_1 = 0.40$ pulg <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $SN_1 = 0.00$													
<b>CAPA 2</b> Base Reciclada con Cemento Portland	$a_2 = 0.170$ 1/pulg $m_2 = 1.00$ $D_2 = 7.00$ pulg <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $SN_2 = 1.19$													

<b>SN<sub>prop</sub> = 1.19</b>
---------------------------------

Cumple SN prop >= SN req, con un espesor de Suelo-Cemento: 17.5 cm

Fuente: Elaboración Propia

Luego procedemos con el diseño para los tres subtramos, ver Cuadro 31.

Cuadro 31. Método AASHTO 93

MÉTODO AASHTO 93													
TRÁFICO (EJES EQUIVALENTES)	TRAMOS		CBR (al 95% MDS) Terreno de Fundación	MR	SN req.	RESULTADOS SUELO - CEMENTO			ESPESOR CONSTRUCCIÓN (mínimo)		VERIFICACIÓN DEL SN		
	DE (km)	A (km)				Porcentaje de Cemento (%)	f'c (kg/cm2)	a2	cm	pulg	SN prop.	SN de T.D.R.	STATUS
24340	92+135	100+000	14.9	14395.6	1.19	1.00	33.8	0.17	20	8	1.36	0.87	CUMPLE
24340	100+000	124+600	14.9	14395.6	1.19	1.00	43.9	0.19	20	8	1.36	0.87	CUMPLE
24340	124+600	132+000	20.9	17876.6	1.08	1.00	43.9	0.19	17.5	7	1.19	0.87	CUMPLE
24340	132+000	156+343	20.9	17876.6	1.08	1.50	30.4	0.16	17.5	7	1.19	0.87	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

El método AASHTO cumple con los requerimientos mínimos de los Términos de Referencia, un número estructural mayor a 0.87, pero desafortunadamente los espesores propuestos para satisfacer el número estructural requerido son mayores a los establecidos por el Método NAASRA, por lo cual el pavimento básico-económico a ejecutar vendría ser respaldado por el Método NAASRA.

### **4.3 Contratación de hipótesis**

**Las técnicas de diseño de pavimentos básicos incorporadas en una conservación vial influyen dentro del ámbito económico e innovador del tramo V de la carretera Acobamba-Puente Alcomachay.**

Al evaluar las diferentes técnicas de diseño de pavimentos podemos determinar que cada una tiene diferentes soluciones, diferentes espesores que incrementan los gastos de ejecución y dificultan los trabajos en campo.

Por ello se evaluó dos técnicas de diseño NAASRA y AASHTO 93 de las cuales se obtuvo un espesor de pavimento económico por el método NAASRA, este pavimento cumple con las características mínimas exigidas por las variables introducidas como la carga de vehículos y la capacidad de carga del suelo, sin olvidar los requerimientos mínimos exigidos por los términos de referencia.

Este pavimento básico económico, por poseer un espesor ideal, se puede avanzar con los trabajos rápidamente con una tecnología innovadora que es el reciclado en frío. Técnicamente la dosificación en estas recicladoras modernas es medida con precisión sin necesidad de preocuparnos por las cantidades a adicionar, de esta forma es posible conseguir altos niveles de compactación, en el menor tiempo posible.

**Los criterios geotécnicos determinan las características de suelo y los espesores del diseño de pavimento básico.**

En el presente trabajo de investigación se mencionan los diferentes estudios que se hizo a los materiales conseguidos de cada calicata realizadas en todo el tramo de análisis, obteniendo así parámetros importantes de los estudios de suelos como la cantidad de finos y gruesos, los límites de plasticidad, la humedad natural, densidad máxima seca y la humedad óptima para determinar los ensayos de CBR y el moldeo de cuerpos de suelo-cemento.

De los cuales se llega a los datos más significativos como la resistencia del terreno de fundación por cada kilómetro y además de la resistencia de los

cuerpos de suelo-cemento que fueron puestos a compresión, estos datos primordiales nos sirvieron como referencias de entrada para la evaluación de las diferentes técnicas de diseños de pavimentos y poder determinar los diferentes espesores que se adecua para cada valor de resistencia de terreno de fundación y de suelo-cemento.

**La adición del cemento en el suelo reciclado produce una adecuada resistencia al pavimento básico.**

La implementación de cemento al suelo reciclado cumple la función de estabilizarlo mejorando sus componentes físicos y químicos, Este fue agregado en porcentajes según los subtramos a ejecutar en función a una cantera cercana.

En los ensayos de materiales, se adicionó cemento a la combinación de agregados (material existente de la vía más el material de recarga proveniente de cantera) en porcentajes según el peso al 1.00%, 1.50% y 2.00%, de los cuales se realizaron después de 7 días, los ensayos de resistencia en la Prensa Marshall.

Se obtuvo valores de resistencia ascendentes para cada porcentaje de cemento adicionado (SubTramo km 92+135 – km 100+000, se obtuvo resistencias de 33.8, 53.4 y 61.2kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente), lo cual aumenta la resistencia del pavimento básico y todas cumplen con los requerimientos mínimos establecidos para el tramo V, carretera Acobamba-Puente Alcomachay

**El número estructural propuesto es un parámetro fundamental en el diseño de pavimento básico para la conservación vial.**

La influencia del número estructural en los trabajos periódicos de una conservación vial, es significativa sino se realiza la evaluación respectiva de las diferentes técnicas.

En la presente tesis, mencionamos dos técnicas de diseño de pavimentos NAASRA y AASHTO 93, de las cuales se obtienen números estructurales uno

mayor que otro, definiendo que por cada número estructural se obtiene un espesor de pavimento básico.

Los números estructurales propuestos (SNprop) por cada técnica deben satisfacer al número estructural requerido (SNreq.) como al número estructural mínimo (SN) indicado por los términos de referencia.

Una vez cumplida esta condición se debe de evaluar cada técnica de diseño verificando que uno de los SNprop sea el menor posible cumpliendo la condición anterior.

Para la presente tesis se determinó que la técnica de diseño de pavimento NAASRA cumple con estas condiciones minimizando la cantidad de material a emplazar en el tramo de estudio, ya que si optáramos por el método AASHTO 93, también cumpliríamos con los requerimientos mínimos, pero tendríamos un mayor espesor de pavimento básico lo cual nos generaría mayores gastos en la ejecución del tramo.

#### 4.4 Discusiones

**Establecer los criterios geotécnicos para determinar las características del suelo y los espesores para diseñar el pavimento básico del tramo a evaluar.**

Se realizó diferentes ensayos que sirvieron como base para el diseño de pavimento básico: granulometría, contenido de humedad, límites de consistencia, proctor modificado, CBR, moldeo de suelo cemento y determinación de la resistencia a compresión de suelo-cemento.

Estos ensayos sirvieron para determinar los parámetros del suelo y el espesor del pavimento existente

A partir de los resultados de los ensayos se definieron los siguientes criterios geotécnicos:

- Conformación de un pavimento existente de afirmado que tiene un espesor con variaciones de 5 cm a un máximo de 22 cm, promedio 12 cm. Teniendo un 91% de Gravas y 9% de Arenas.
- Conformación de la subrasante 82% de Gravas, 10% de Arenas y 8% de finos.
- Espesor mínimo del nuevo pavimento básico a diseñar de 15 cm
- Utilización de material existente de plataforma 10 cm y 5 cm de material de recarga de canteras.
- Porcentajes utilizados en los ensayos de suelos para las muestras: Material existente de plataforma 67% y material de recarga de canteras 33%.
- Tramos homogéneos según las características del suelo y disponibilidad de material de recarga de cantera.
  - Del km 92+135 al km 100+000, con recarga de la Cantera Municipio.
  - Del km 100+000 al km 132+000, con recarga de la Cantera Chilcapite.
  - Del km 132+000 al km 156+000, con recarga de la Cantera Río Mantaro.
- Manejo de los datos de CBR (obtenidos cada kilómetro), utilizando el método de diferencias acumuladas, AASHTO 93 apéndice J.
- Cantidad de cemento a utilizar por cada tramo
  - Del km 92+135 al km 100+000, porcentaje de cemento 1.00%.

- Del km 100+000 al km 132+000, porcentaje de cemento 1.00%.
  - Del km 132+000 al km 156+000, porcentaje de cemento 1.50%.
- Utilización de los parámetros de resistencia de los moldes de suelo cemento para determinar el coeficiente estructural que sirve como insumo para el diseño de pavimento básico. Ver figura 127.

**Determinar la cantidad de cemento a adicionar al suelo reciclado para mejorar la resistencia en el pavimento básico del tramo a evaluar.**

Para determinar la cantidad de cemento se realizó muestreos por cada subtramo. Comentaremos sobre el trabajo en un subtramo homogéneo. Se realizó tres ensayos, cada una de ellas con un porcentaje de cemento de 1.00%, 1.50% y 2.00% respecto al peso de la muestra, a su vez se adicionó agua para alcanzar la humedad óptima. (Los trabajos realizados se detallan en el acápite 4.1.7.5).

Terminada la mezcla se moldeó y realizó el curado durante 7 días, luego se procedió en colocar los moldes en la prensa Marshall donde se obtuvo las resistencias a la compresión de cada uno de ellos, según el porcentaje de cemento (Ver cuadro 30).

Se puede verificar que a mayor cantidad de cemento adicionado a la muestra (laboratorio) y/o suelo reciclado (Campo, Material existente + Material de recarga de cantera), la resistencia aumenta mejorando las características físicas del nuevo pavimento básico.

**Determinar el número estructural propuesto para efectuar el diseño de pavimento básico en la conservación vial.**

Se determinó los números estructurales para ambas técnicas de diseño de pavimento: AASHTO 93 y NAASRA, que sirvieron para dimensionar los espesores del pavimento.

Para la técnica NAASRA se utilizó como espesor de diseño 15 cm, espesor mínimo establecido por esta técnica. Además se utilizó la resistencia a la

compresión de la muestra de suelo cemento, para hallar el coeficiente estructural.

Teniendo estos dos parámetros se procedió con hallar el número estructural de cada tramo cumpliendo los niveles de servicio exigidos por los términos de referencia, un número estructural mayor a  $SN=0.87$ . Ver cuadro 30.

Para la técnica de AASHTO 93 se determinó el número estructural propuesto en base a los CBR de diseño. Ver cuadro 31.

Donde nos proporciona un número estructural de 1.36 para un CBR de diseño de 14.9 y un número estructural de diseño de 1.19 para un CBR de diseño de 20.9. De los cuales el método AASHTO 93 cumple con los requerimientos mínimos de los Términos de Referencia, números estructurales mayores a  $SN=0.87$ .

Para un número estructural de 1.36 nos ofrece un espesor de pavimento de 20.00 cm y Para un número estructural de 1.19 nos ofrece un espesor de pavimento de 17.50 cm.

Para cumplir con nuestro objetivo, las técnicas fueron analizadas y desarrolladas llegando a un resultado, los espesores del pavimento establecidos por el Método AASHTO 93 son mayores en 2.50 cm y 5.00 cm, a los señalados por el Método NAASRA, por lo cual el pavimento básico-económico a emplazar vendría ser respaldado por el Método NAASRA.

## CONCLUSIONES

1. De los estudios de suelos se establece que el espesor del pavimento existente de material granular, tiene variaciones de 5 cm hasta los 22 cm, en promedio 12 cm de material existente con un 90% de gravas y un 10% de arenas.
2. El tramo V en estudio se dividió en tres subtramos en función a las canteras existentes de la zona: Cantera Municipio, Cantera Chilcapite, Cantera Río Mantaro, con la finalidad de minimizar el costo de transporte del material de recarga. Los subtramos definidos son: Del km 92+135 al km 100+000, km 132+000 al km 156+000, km 132+000 al km 156+000.
3. Una aceptable manejabilidad de datos de gran envergadura como son los CBR (obtenidos cada kilómetro), es la utilización del método de diferencias acumuladas, método probabilístico que cumple la función de agrupar datos o tramos homogéneos para su mejor distribución. Se encuentra en la Guía AASHTO 93 apéndice J.
4. Aplicando el método de diferencias acumuladas se aprecia en el desarrollo un punto de inflexión en el progresivo km 124+600, prevaleciendo a partir de este punto dos tramos homogéneos, en los cuales los datos de CBR son promediados con la finalidad de obtener dos datos de CBR de diseño. Obteniendo un primer CBR de diseño de 14.9 entre las progresivas km 92+600 hasta el km 124+600 y un segundo CBR de diseño de 20.9 entre las progresivas km 124+600 hasta el km 155+600.
5. El porcentaje de cemento a utilizar se determinó mediante ensayos en laboratorio teniendo como alternativas muestras de 1.00%, 1.50% y 2.00%. Por cada muestra se obtuvo una resistencia a la compresión, dato con el cual se determinó el coeficiente estructural (Figura 127) y se obtuvo como resultado un número estructural para cada muestra. Se optaron por

aquellos números estructurales mayores que el número estructural mínimo (SN= 0.87) y a su vez se escogieron los que contiene menor porcentaje de cemento con el fin de economizar la demanda de insumos en el tramo a evaluar.

6. Se tomó el criterio de la reutilización de 10 cm de material existente y colocación de 5 cm de recarga estructural de canteras, que están en la relación de 66.7% y 33.7% respectivamente, porcentajes que se utilizaron para los diferentes ensayos de laboratorio.
7. Desarrollando el método NAASRA en los tramos homogéneos tenemos que:
  - Del km 92+135 al km 100+000, se tiene un espesor por emplazar de 15 cm (10 cm de afirmado existente y 5 cm de recarga de la Cantera Municipio) con 1.00% de Cemento, el número estructural obtenido para esta dosificación cumple con el requerimiento mínimo establecido por los términos de referencia.
  - Del km 100+000 al km 132+000, se tiene un espesor por emplazar de 15 cm (10 cm de afirmado existente y 5 cm de recarga de la Cantera Chilcapite) con 1.00% de Cemento, el número estructural obtenido para esta dosificación cumple con el requerimiento mínimo establecido por los términos de referencia.
  - Del km 132+000 al km 156+000, se tiene un espesor por emplazar de 15 cm (10 cm de afirmado existente y 5 cm de recarga de la Cantera Río Mantaro) con 1.50% de Cemento, el número estructural obtenido para esta dosificación cumple con el requerimiento mínimo establecido por los términos de referencia.

8. Desarrollando el Método AASHTO 93
- Se obtuvo un número estructural requerido mayor al mínimo establecido por los términos de referencia, pero el espesor propuesto para un CBR de diseño de 14.9 es de 20.00 cm, 5 cm mayor al desarrollado por el método NAASRA.
  - Con CBR de diseño de 20.9 se obtiene un espesor propuesto de 17.50 cm, 2.5 cm mayor a lo establecido al método NAASRA.
  - Motivos por los cuales técnicamente y económicamente mejor es recomendable el método NAASRA.
9. Se determinó los números estructurales (SN) para cada técnica de diseño, los cuales cumplen con el número estructural mínimo (SN= 0.87) y son:  
NAASRA, SN= 1.00, 1.10 y 0.95 para cada tramo, todas con un espesor de pavimento de 15 cm.  
AASHTO 93, SN= 1.36 y 1.19 para cada CBR de diseño, todas con un espesor de pavimento de 20.00 cm y 17.50 cm respectivamente.
10. Los ejes equivalentes obtenidos del tramo evaluado son:  
Sentido Acobamba-Puente Alcomachay: 24340 EE  
Sentido Puente Alcomachay-Acobamba: 9275 EE.  
Siendo conservadores se ha utilizado para el diseño de pavimento el sentido de mayor circulación con una cantidad de 24340 EE.
11. Los contratos de conservación vial por niveles de servicio tiene la finalidad de que el contratista realice trabajos en función a ciertos niveles e innove soluciones con resultados óptimos que dure el contrato, dándole al contratista el poder de gestionar extensos corredores viales para su desenvolvimiento en campo.

12. Estos contratos le dan la posibilidad al contratista que opte por varias alternativas de pavimentos, el cual conlleva a realizar varios ensayos escogiendo en algunas ocasiones la más económica y técnicamente posible, con la finalidad de mejorar la servicialidad y confort de los usuarios que transitan por los corredores viales.
  
13. El reciclado en frío es una técnica moderna para reconstruir el pavimento con materiales existentes del mismo, tomando esta metodología no es necesario escarificar la capa de afirmado y acopiar y seguir con la secuencia de una construcción convencional, esta técnica permite realizar en una sola pasada el escarificado, adición de insumos con precisión y el emplazamiento del nuevo paquete estructural.
  
14. La entidad en este caso PROVIAS NACIONAL recomienda colocar un mortero asfáltico con polímeros (e= 1 cm) en todo el ancho de la calzada. Se optó por un revestimiento superficial del suelo estabilizado denominado micropavimento que es una mezcla asfáltica de alto rendimiento para la pavimentación y de baja susceptibilidad del ligante a los cambios térmicos de la vía.

## RECOMENDACIONES

1. Es importante mencionar, que las indicadas soluciones económicas y básicas no deben compararse con las soluciones que adoptan para la ejecución de carreteras pavimentadas, y por tanto, tienen sus limitaciones y en muchos casos pueden generar problemas de seguridad vial, por estar orientadas básicamente a la mejora de la capa de rodadura sin mayor modificación o mejora de las características geométricas de las carreteras existentes, muchas de las cuales por ejemplo, no cuentan con ancho suficiente para el cruce o sobre paso de los vehículos, y por ello, las intervenciones a realizar deben ser cuidadosamente evaluadas.
2. Recomendamos a futuras investigaciones proponer nuevas soluciones en los pavimentos básicos y la utilización de otros métodos de diseño existentes en la actualidad de mayor precisión, con la finalidad de obtener espesores y dosificaciones más precisas para la vida útil del pavimento a su vez de darle el nivel de confort para los usuarios que recorren estos corredores viales.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima, Perú.
- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. USA, American Association of State Highway and Transportation.
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2013). *Ingeniería de Pavimentos: Materiales y Variables de Diseño*. Lima-Perú.
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2013). *Ingeniería de Pavimentos: Diseño y Gestión de Pavimentos*. Lima-Perú.
- José Céspedes Abanto. (2013). *Los pavimentos en las vías terrestres: Calles, Carreteras y Aeropistas*. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013*. Lima, Perú.
- Ing. Néstor Huamán Guerrero. (2011). *Apuntes de clases: Pavimentos*. URP. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2007). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras*. N°051-2007- MTC. Lima, Perú.
- Wirtgen Group (2004). *Wirtgen- Manual de Reciclado en Frio*. Segunda Edición.

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2012). *Términos de Referencia -Servicio de Gestión y Conservación Vial por niveles de servicio del corredor vial Huancavelica – Lircay- Emp. PE 3S (Huallapampa) y Emp. PE 3S (Puente Alcomachay)*. Lima, Perú.
- Ing. Guillermo Lazo Lázaro, Magister en Ingeniería Geotécnica (2015). *Pavimentos con bases estabilizadas tecnología de Reciclado*. Lima Perú.
- Del Águila, P.M. (1998) “*Criterios para el diseño y construcción de pavimentos en zonas de altura*”. Memorias del II Congreso Nacional del Asfalto. Asociación Peruana de Caminos. Lima, Perú.
- Ing. Civil Marcelo Gonzales (2010). *Caminos Básicos y reciclado de pavimentos con la tecnología del asfalto espumado*. Centro de Ingeniería e Investigación Vial. Universidad Católica de Chile.
- Cosapi SAC (2014). *Programa de gestión vial. Base reciclada suelo-cemento*. Anexo CV-6. Lima, Perú.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Tesis: Diseño de la carretera a nivel de afirmado entre las localidades de Macabi Bajo- La Pampa – La Garita en la Libertad. Publicado en Marzo 2015.Extraído de: <http://es.slideshare.net/KeivinFlorindez/tesis-diseo-de-carretera-a-nivel-de-afirmado-distrito-de-razuri-ascop>
- Clase: proyecto de la investigación y el problema. Publicado en Marzo 2015.Extraído de: <http://es.slideshare.net/gonzaramirezq/cmo-plantear-el-problema-de-investigacin-45667313>
- Tema: Geotecnia aplicada a la Ingeniería. Publicado en Noviembre 2013.Extraído de: <https://prezi.com/-sur6q5-vsfv/geotecnia-aplicada-a-carreteras/>
- Conservación vial por niveles de servicio. Publicado 2015. Extraído de: [http://www.academia.edu/6288437/LA\\_CONSERVACION\\_VIAL\\_POR\\_NIVELES\\_DE\\_SERVICIO](http://www.academia.edu/6288437/LA_CONSERVACION_VIAL_POR_NIVELES_DE_SERVICIO)
- Suelo con recicladora de suelo cemento en Concepción- Pozo Colorado. Publicado en Marzo 2010.Extraído de: <https://www.youtube.com/watch?v=8dnp17c7-tl>

