



UNIVERSIDAD
SAN IGNACIO
DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Carrera de Ingeniería Civil

**INFLUENCIA DE LA CORRECCIÓN DEL CBR DEL
TERRENO DE FUNDACIÓN VIAL EN EL DISEÑO DE
PAVIMENTOS PARA EL PROYECTO DE
CONSERVACIÓN VIAL SANTA ROSA TRAMO DV.
HUMAJALSO – HUAYTIRE**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

JOSE LUIS PANTOJA GALVAN

**Asesor:
MSc. Ing. Guillermo Lazo Lázaro**

**Lima - Perú
2019**

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Pilar Rocío Galván Salazar y a José Luis Pantoja Chávez que siempre me apoyaron incondicionalmente de manera moral y económica en la elaboración de esta investigación. Padres, ahora estoy en camino de recompensarles toda la ayuda que me brindaron.

Y a Doménica Alessandra Pantoja Galván, mi hermana, mi gran motivo de cumplir mis metas.

Agradecimiento

En primer lugar, quisiera expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a mi asesor MSc. Ing. Guillermo Lazo Lázaro por haberse interesado en mi trabajo, por las sugerencias recibidas, el seguimiento y la supervisión continua de la misma.

Agradecer de manera especial a mis padres por haberme guiado correctamente hasta llegar a esta anhelada etapa de mi vida.

Y finalmente, a todos mis amigos por su compañía y los buenos momentos que pasamos juntos participando de este proyecto, en especial a Gabriela Puente.

Índice de Contenido

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Resumen.....	xvii
Introducción	1
Problema de Investigación	1
Planteamiento del problema	1
Formulación del problema.....	2
Justificación del problema.....	2
Marco Referencial	4
Antecedentes.....	4
Marco teórico.....	6
Pavimento Flexible.	6
Definición.....	6
Partes constitutivas.....	7
Terreno de fundación vial.	10
Definición.....	10
Características fundamentales.....	10
Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Laboratorio.....	12
Definición.....	12
Simulación campo-laboratorio.	13
Equipos y aparatos.	14
Procedimiento.....	15

Corrección del Ensayo CBR de Laboratorio.	22
Tipos según naturaleza.	23
Método de la tangente.	30
Escenarios.....	32
Diseño de Pavimento Flexible - Método AASHTO 93.	33
Determinación del Número Estructural Requerido (SN_{req}).	33
Método de las Diferencias Acumuladas.....	40
Estudio de Tráfico.	43
Determinación del Número Estructural Propuesto (SN_{prop}).	55
Pavimento solución del Tramo 1 “Dv. Humajalso – Huaytire”.....	58
Problemática de pavimentos flexibles ejecutados en altura.	58
Mezcla Asfáltica Tibia.	59
Beneficios de la Mezcla Asfáltica Tibia.	60
Comparación entre Mezclas Asfálticas Tibias y Mezcla Asfáltica en Caliente.....	61
Reciclado en frío in situ estabilizado mecánicamente.	61
Determinación del pavimento solución.	62
Conservación Vial Por Niveles de Servicio.....	65
Conservación Vial.	65
Conservación Periódica.....	65
Conservación Rutinaria.	66
Modalidades del Contrato.	66
Niveles de servicio.	67
Proyecto Perú.	68

Objetivos e hipótesis	70
Objetivos.....	70
Objetivo general.....	70
Objetivos específicos.	70
Hipótesis	71
Método	72
Tipo y diseño de investigación.....	72
Tipo de investigación.	72
Diseño de investigación.....	72
Variables.....	74
Muestra.....	75
Instrumentos de investigación.....	77
Procedimientos de recolección de datos.....	78
Plan de análisis	80
Resultados	81
Presentación de resultados	81
Exploración geotécnica.....	81
Registro de Calicatas.....	82
Ensayos de Clasificación de Suelos.....	88
Ensayos Proctor Modificado y CBR de Laboratorio.	98
Cálculo de Tráfico.	108
Estación E1 - Huaytire (Conteo y Clasificación Vehicular).....	108
Conteos diarios.....	108

IMDS	109
IMDA	110
Análisis de la variación horaria E1 – Huaytire.	111
Análisis de la variación diaria E1 – Huaytire.....	112
Análisis de la composición del tipo de flujo vehicular E1 – Huaytire.....	114
Estación E3 - Mazocruz (Censo de Carga).	116
Vehículos pesados a Mazocruz.	116
Vehículos pesados a Huaytire.	118
Factores Vehículo Pesado y Presión de Neumático.	120
Ejes Equivalentes por tipo de vehículo pesado.....	123
Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 t.....	124
Diseño Estructural	127
Con corrección.	127
Número Estructural Requerido.....	127
Número Estructural Propuesto.	136
Sin corrección.	144
Número Estructural Requerido.....	144
Número Estructural Propuesto.	153
Diseño Económico.....	161
Con corrección.	161
Análisis de Precios Unitarios (APU).....	161
Sección Transversal.....	165
Metrado.	165

Presupuesto.....	166
Sin corrección	168
Análisis de Precios Unitarios (APU).....	168
Sección Transversal.....	172
Metrado.	172
Presupuesto.....	173
Discusión.....	175
Conclusiones y consideraciones finales	183
Recomendaciones.....	187
Referencias.....	189
ANEXOS	191

Índice de Tablas

Tabla 1 Criterios del Ensayo California Bearing Ratio (CBR).....	12
Tabla 2 Equivalencias en mm y pulg.....	19
Tabla 3 Cargas patrón para 0.1" y 0.2" de penetración.....	20
Tabla 4 Interpretación del Coeficiente de Pearson	24
Tabla 5 Valores recomendados de nivel de confiabilidad según rango de tráfico.....	35
Tabla 6 Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico.....	36
Tabla 7 Valores de serviciabilidad según rango de tráfico.	37
Tabla 8 Características de las estaciones instaladas.	46
Tabla 9 Factores de Corrección Estacional para vehículos pesados del Peaje Punta Perdida.	51
Tabla 10 Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño.	52
Tabla 11 Relación de Factores de Carga Equivalente según configuración vehicular para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos.	53
Tabla 12 Factor de ajuste por presión de neumáticos (Fp).	54
Tabla 13 Calidad del drenaje.	56
Tabla 14 Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje m para bases y subbases granulares no tratadas en pavimentos flexibles.	57
Tabla 15 Definición conceptual y operacional de las variables.....	74
Tabla 16 Tramificación de la Carretera Binacional.	75
Tabla 17 Registro de Instrumentos de Investigación.	77
Tabla 18 Identificación de calicatas.....	82

Tabla 19 Resultados de Ensayos de Clasificación de Suelos.....	88
Tabla 20 Resultados de Ensayos Proctor Modificado y CBR de Laboratorio.....	98
Tabla 21 Conteo en Estación E1 - Huaytire.....	108
Tabla 22 Determinación del IMDS (veh/día) en Estación E1 - Huaytire.....	109
Tabla 23 Determinación del IMDA (veh/día) en Estación E1 - Huaytire.	110
Tabla 24 Vehículos controlados sentido a Mazocruz en E3 – Mazocruz.....	116
Tabla 25 Vehículos controlados a Huaytire en E3 – Mazocruz.....	118
Tabla 26 Factores de Vehículo Pesado y Presión de Neumático.....	120
Tabla 27 Ejes Equivalentes por tipo de vehículo pesado.....	124
Tabla 28 Calculo de CBR Compuesto de la subrasante (Diseño con corrección).....	128
Tabla 29 Método Diferencias Acumuladas para CBR de subrasante (Diseño con corrección). ..	129
Tabla 30 Sectores homogéneos, CBRs diseño y Módulos Resilientes (Diseño con corrección).	133
Tabla 31 Números Estructurales Requeridos (Diseño con corrección).....	135
Tabla 32 Coeficientes del Número Estructural Propuesto (Diseño con corrección). ..	142
Tabla 33 Verificación del diseño estructural del pavimento flexible (Diseño con corrección)..	143
Tabla 34 Calculo de CBR Compuesto de la subrasante (Diseño sin corrección).....	145
Tabla 35 Método Diferencias Acumuladas para CBR de subrasante (Diseño sin corrección) ..	146
Tabla 36 Sectores homogéneos, CBRs diseño y Módulos Resilientes (Diseño sin corrección). ..	150
Tabla 37 Números Estructurales Requeridos (Diseño sin corrección) ..	152
Tabla 38 Coeficientes del Número Estructural Propuesto (Diseño sin corrección) ..	159
Tabla 39 Verificación del diseño estructural del pavimento flexible (Diseño sin corrección)...	160
Tabla 40 Metrado de partidas en pavimento solución (Diseño con corrección).....	165

Tabla 41 Metrado de partidas en pavimento solución (Diseño sin corrección).....	172
Tabla 42 Decremento del CBR debido a inexistente corrección de Curvas Carga-Penetración.	176
Tabla 43 Valores del Número Estructural Requerido en ambos escenarios de corrección.	177
Tabla 44 Impacto estructural y económico en ambos escenarios de corrección.	182
Tabla 45 Propuesta de diseño estructural alternativa.....	192

Índice de Figuras

Figura 1. Corrección de origen físico del Ensayo CBR in situ.....	4
Figura 2. Propagación de la presión de carga de rueda a través de la estructura de un pavimento flexible.	6
Figura 3. Sección transversal típica de un pavimento flexible en una sección en balcón.	8
Figura 4. Corrección de Curvas Carga-Penetración.	22
Figura 5. Curvas Carga-Penetración ajustadas por ecuaciones polinómicas de tercer grado para cada energía de compactación del Ensayo CBR de Laboratorio.	25
Figura 6. Corrección por concavidad hacia arriba de una Curva Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio para una energía de compactación de 25 golpes/capa.....	27
Figura 7. Corrección por irregularidades superficiales de una Curva Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio para una energía de compactación de 10 golpes/capa.	28
Figura 8. Inexistencia de correcciones por concavidad hacia arriba e irregularidades superficiales en una Curva Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio para una energía de compactación de 56 golpes/capa.....	29
Figura 9. Método de ajuste para corregir por concavidad hacia arriba e irregularidades superficiales.	31
Figura 10. Escenarios de corrección en pavimento existente.	32
Figura 11. Interfaz de software Ecuación AASHTO 93.....	39
Figura 12. Diagrama de estaciones de estudio de tráfico del proyecto.....	44
Figura 13. Diagrama de estaciones de estudio de tráfico incidentes al tramo 1 del proyecto.	45
Figura 14. Presencia de piel de cocodrilo y ahuellamiento en pavimento existente.....	63
Figura 15. Conformación estructural del pavimento solución.....	64
Figura 16. Trazo del Corredor del Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa.....	75

Figura 17. Variación Horaria Promedio Vehicular E1 - Huaytire.....	111
Figura 18. Variación Diaria Total Vehículos E1 - Huaytire.....	112
Figura 19. Conteo Vehicular E1 - Huaytire.....	113
Figura 20. Clasificación Vehicular Promedio E1 - Huaytire.....	114
Figura 21. Distribución Porcentual Tipo Vehículo E1 - Huaytire.....	115
Figura 22. Distribución de Vehículos Pesados a Mazocruz en E3 - Mazocruz.....	117
Figura 23. Distribución de vehículos pesados a Huaytire en E3 - Mazocruz.....	119
Figura 24. Factor Vehículo Pesado (F_{vp}) registrado en Estación E3 - Mazocruz.....	121
Figura 25. Factor Presión de Neumáticos (F_p) registrado en Estación E3 - Mazocruz.....	122
Figura 26. Producto Bruto Interno, según departamento: 2007-2014 (Base 2007).....	125
Figura 27. Gráfico de Progresiva vs. Zx para CBR de subrasante (Diseño con corrección).....	131
Figura 28. Gráfico de Progresiva vs. CBR% de subrasante (Diseño con corrección).....	132
Figura 29. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 1 con valor de Módulo Resiliente de 30069.4 psi (Diseño con corrección).....	133
Figura 30. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 2 con valor de Módulo Resiliente de 28535.4 psi (Diseño con corrección).....	134
Figura 31. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 3 con valor de Módulo Resiliente de 33013.0 psi (Diseño con corrección).....	134
Figura 32. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 4 con valor de Módulo Resiliente de 25497.4 psi (Diseño con corrección).....	135
Figura 33. Valor de Coeficiente Estructural para una Mezcla de Concreto Asfáltico a partir de un Módulo de Elasticidad de 430000 psi (Diseño con corrección).....	137

Figura 34. Valor de Coeficiente Estructural para Base Reciclada con CBR de 78.1% (Diseño con corrección)	138
Figura 35. Valor de Coeficiente Estructural para Base Granular no-tratada con CBR de 131.9% (Diseño con corrección).....	139
Figura 36. Valor de Coeficiente Estructural para Subbase Granular no-tratada con CBR de 130.0% (Diseño con corrección).....	140
Figura 37. Gráfico de Progresiva vs. Zx para CBR de subrasante (Diseño sin corrección).....	148
Figura 38. Gráfico de Progresiva vs. CBR% de subrasante (Diseño sin corrección).....	149
Figura 39. Cálculo del SN _{req} en el sector homogéneo 1 con valor de Módulo Resiliente de 27386.2 psi (Diseño sin corrección).	150
Figura 40. Cálculo del SN _{req} en el sector homogéneo 2 con valor de Módulo Resiliente de 25899.1 psi (Diseño sin corrección).	151
Figura 41. Cálculo del SN _{req} en el sector homogéneo 3 con valor de Módulo Resiliente de 29370.2 psi (Diseño sin corrección).	151
Figura 42. Cálculo del SN _{req} en el sector homogéneo 4 con valor de Módulo Resiliente de 22721.1 psi (Diseño sin corrección).	152
Figura 43. Valor de Coeficiente Estructural para una Mezcla de Concreto Asfáltico a partir de un Módulo de Elasticidad de 430000 psi (Diseño sin corrección).	154
Figura 44. Valor de Coeficiente Estructural para Base Reciclada con CBR de 78.1% (Diseño sin corrección)	155
Figura 45. Valor de Coeficiente Estructural para Base Granular no-tratada con CBR de 131.9% (Diseño sin corrección).	156

Figura 46. Valor de Coeficiente Estructural para Subbase Granular no-tratada con CBR de 130.0% (Diseño sin corrección).....	157
Figura 47. APU de partida Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente $e=0.15\text{ m}$ (Diseño con corrección).....	161
Figura 48. APU de partida Imprimación Asfáltica (Diseño con corrección).	162
Figura 49. APU de subpartida Transporte de Arena de Imprimación (Diseño con corrección). 162	
Figura 50. APU de subpartida Arena Zarandeada (Diseño con corrección).....	162
Figura 51. APU de partida Recapado Asfáltico $e=0.025\text{ m}$ (Diseño con corrección).....	163
Figura 52. APU de subpartida Mezcla Asfáltica Tibia para Recapeo (Diseño con corrección). 163	
Figura 53. APU de subpartida Piedra Chancada para Asfalto (Diseño con corrección).	164
Figura 54. APU de subpartida Arena Chancada para Asfalto (Diseño con corrección).....	164
Figura 55. APU de subpartida Transporte de Mezcla Asfáltica Tibia (Diseño con corrección). 164	
Figura 56. Sección transversal del pavimento solución (Diseño con corrección).	165
Figura 57. Presupuesto de la construcción del pavimento solución (Diseño con corrección)....	166
Figura 58. Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo del pavimento solución (Diseño con corrección).....	167
Figura 59. APU de partida Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente $e=0.15\text{ m}$ (Diseño sin corrección).....	168
Figura 60. APU de partida Imprimación Asfáltica (Diseño sin corrección).....	169
Figura 61. APU de subpartida Transporte de Arena de Imprimación (Diseño sin corrección)..	169
Figura 62. APU de subpartida Arena Zarandeada (Diseño sin corrección).....	169
Figura 63. APU de partida Recapado Asfáltico $e=0.030\text{ m}$ (Diseño sin corrección).	170
Figura 64. APU de subpartida Mezcla Asfáltica Tibia para Recapeo (Diseño sin corrección)..	170

Figura 65. APU de subpartida Piedra Chancada para Asfalto (Diseño sin corrección).	171
Figura 66. APU de subpartida Arena Chancada para Asfalto (Diseño sin corrección).....	171
Figura 67. APU de subpartida Transporte de Mezcla Asfáltica Tibia (Diseño sin Corrección). 171	
Figura 68. Sección transversal del pavimento solución (Diseño sin corrección). 172	
Figura 69. Presupuesto de la construcción del pavimento solución (Diseño sin corrección).... 173	
Figura 70. Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo del pavimento solución (Diseño sin corrección)..... 174	
Figura 71. Conformación estructural de pavimento existente - pavimento solución (Diseño con corrección). 177	
Figura 72. Conformación estructural de pavimento existente - pavimento solución (Diseño sin corrección). 178	

Índice de Anexos

Anexo A. Matriz de consistencia	191
Anexo B. Propuesta estructural con y sin corrección como nueva alternativa de diseño.....	192
Anexo C. Ficha de Ensayo Análisis Granulométrico por Tamizado.....	193
Anexo D. Ficha de Ensayo Humedad Natural.....	194
Anexo E. Ficha de Ensayo Límites de Consistencia.....	195
Anexo F. Ficha de Ensayo Proctor Modificado.....	196
Anexo G. Ficha de Ensayo California CBR (Datos CBR).	197
Anexo H. Ficha de Ensayo California CBR (Gráficos CBR).....	198
Anexo I. Ficha de Ensayo California CBR (Corrección CBR 1).	199
Anexo J. Ficha de Ensayo California CBR (Corrección CBR 2).	200
Anexo K. Tabla de pesos y medidas máximas permitidas por configuración vehicular.	201
Anexo L. Ábaco de Nomograma para Diseño de Pavimentos Flexibles.....	208
Anexo M. Ábaco de valores de Coeficiente Estructural para mezclas de Concreto Asfáltico a partir del Módulo de Elasticidad.....	209
Anexo N. Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Bases Granulares no-tratadas....	210
Anexo O. Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Subbases Granulares no-tratadas.	
.....	211

Resumen

El proyecto de la presente investigación está regido por el contrato de Conservación Vial Santa Rosa denominado “Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz” ubicado en los departamentos de Moquegua - Tacna - Puno (Perú), conformado por el Consorcio COSAPI S.A. y MOTA-ENGIL S.A. Este contrato busca preservar las inversiones efectuadas en la construcción, rehabilitación y mantenimiento periódico de los caminos, así como garantizar la transitabilidad permanente con comodidad, seguridad y economía de los 421.25 km de carretera en un plazo de 6 años.

Según D.S. Nº 012-2013-MTC, el corredor se dividió en 2 ejes: el primero desde Dv. Humajalso hasta Desaguadero localizado en la ruta PE-36A y el segundo desde Tacna hasta Mazocruz ubicado en la ruta PE-38. El tramo evaluado del trabajo de tesis fue el primer tramo del primer eje denominado “Dv. Humajalso - Huaytire” con una longitud de 30 km.

Enmarcada la tesis, esta tuvo como objetivo manifestar la importancia de corregir las curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio en el terreno de fundación vial del pavimento existente apoyándose de la norma ASTM D1883-16, la cual contempla 3 correcciones a realizar. Asimismo, hace énfasis en la condición de resistencia estructural que debe cumplir el terreno de fundación ya que al desarrollar la batería de correcciones se estaría midiendo de mejor manera la capacidad de soporte en la condición compacta a la densidad de especificación. Entre todas las capas conformantes del pavimento que se estudia, la discusión de la importancia de las correcciones va específicamente en las capas del terreno de fundación. Recordando que, para un pavimento flexible, como el que nos ocupa, la subrasante y fundación serán finalmente las capas

responsables del equilibrio principal de esfuerzos transmitidos por las cargas dinámicas al terraplén de pavimentos, lo que constituye de especial utilidad su medición en resistencia estructural, vista también como resistencia al cortante.

Importante se constituye, por lo tanto, el desarrollo de un análisis exhaustivo de la importancia e impactos técnico-económicos que se suscitan a nivel de diseño y ejecución partiendo de la interpretación de los resultados del CBR de laboratorio (condición crítica) de la fundación con y sin corrección, justamente para diseño. Para este cometido se han establecido dos escenarios de diseño: el primero, un paquete de pavimentos reciclado y rehabilitado el paquete existente y corrigiendo los valores de las curvas carga-penetración del CBR del terreno de fundación vial y el segundo, el mismo paquete de pavimentos reciclado y rehabilitado sin utilizar la corrección de las curvas carga-penetración del CBR de la fundación, discutiéndose y valorándose los impactos generados.

Introducción

Hoy por hoy, a pesar de sus limitaciones, el ensayo CBR es uno de los ensayos más extendidos y aceptados en el mundo debido al relativo bajo costo de ejecución y a que está asociado a un número de correlaciones y métodos semiempíricos de diseño de pavimentos.

Siendo este ensayo fundamental en el diseño de pavimentos ya que permite medir la calidad de un material de subrasante, subbase o base en términos de resistencia estructural, se debe tener la debida consideración a las etapas de ejecución del ensayo como son: preparación de la muestra, elaboración de especímenes, inmersión, penetración, cálculos y expansión, en especial a la etapa de cálculos donde se realiza la construcción de las Curvas Carga-Penetración.

Problema de Investigación

Planteamiento del problema.

La identificación del problema se ve envuelta en una situación de contacto con la literatura sobre los temas de abordaje. Se encontró, después de indagar en revisiones bibliográficas acerca del diseño de pavimentos y ensayos vinculados, una distorsión reflejada en la elaboración de las curvas de la gráfica Carga-Penetración en el ensayo de resistencia al esfuerzo cortante llamado California Bearing Ratio conocido como CBR.

El Ensayo CBR de Laboratorio (ASTM D1883-16) consta de diferentes etapas en su elaboración. En la penúltima etapa donde se interpretan las gráficas Carga-Penetración, con frecuencia suele evidenciarse una alteración que afecta principalmente a los suelos granulares o friccionantes. Sucedé que, en el momento de apisonar la superficie de la muestra de suelo contenida en el molde cilíndrico debido al giro de la manivela, se genera un reacomodo de partículas logrando que solo las pequeñas gravas localizadas en la parte superior del molde se asienten. Consecuentemente, la penetración seguirá incrementándose mientras que la carga se

detendrá considerablemente hasta que las gravillas se hayan asentado en su totalidad. Este fenómeno proveniente de la naturaleza del ensayo, desencadenará medidas falsas en la obtención del Índice CBR, impactando estructuralmente en el diseño del pavimento.

El presente problema de investigación existe desde que se conoce información, y que, al margen de su solidez, aún no es validado en un contexto o población determinada. Es decir, se sabe que se debe hacer una corrección de las curvas en la gráfica Carga-Penetración para cada espécimen del ensayo en las diferentes capas del pavimento; sin embargo, no se ha analizado a fondo cuál sería el impacto que provocaría el hecho de no realizar una corrección de las curvas en el terreno de fundación vial para el Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa tramo Dv. Humajalso - Huaytire, tramo inicial de la obra vial de aproximadamente 194 km de longitud en el sureste del Perú, la Carretera Binacional.

Formulación del problema.

¿La implementación o no del proceso de corrección de las Curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio en el terreno de fundación para el Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa Tramo Dv. Humajalso - Huaytire de la Carretera Binacional Perú - Bolivia tendrá influencia significativa en el diseño estructural del pavimento y en el costo directo estrechamente relacionado a la etapa de construcción del pavimento?

Justificación del problema.

Rico y Del Castillo sostienen que:

La primera condición que debe cumplir el pavimento es soportar las cargas impuestas por el tránsito dentro del nivel de deterioro y paulatina destrucción previstos por el proyecto. Las cargas de tránsito producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura. La metodología teórica para el análisis de la resistencia de los pavimentos es proporcionada por

la Mecánica de Suelos y es sabido que en ese campo las teorías de falla de mayor aceptación hoy son las de esfuerzo cortante; como consecuencia, en el estudio de los pavimentos flexibles suele considerarse a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural; correspondientemente, la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos resulta ser la propiedad fundamental (1999, pág. 102).

He aquí el punto más importante en este estudio, la resistencia estructural de las capas del pavimento. En caso que no se haga una debida corrección de las curvas se estaría disminuyendo al material localizado debajo de la subrasante, un cierto porcentaje de capacidad de soporte, lo que indicaría que el terreno de fundación se encuentra en condiciones por debajo de lo real.

Asimismo, no solo se vería afectado el diseño estructural, sino también existiría un impacto económico centrado en la restauración de la carretera. Rico y Del Castillo afirman que:

Como todas las estructuras de ingeniería un pavimento representa un balance entre la satisfacción de requisitos de resistencia y estabilidad en general, por un lado y el costo, por otro. Un diseño correcto será el que llegue a cumplir los requerimientos necesarios del servicio a costo mínimo. (1999, pág. 104)

Es evidente que, si se analiza el terreno de fundación sin un proceso de ajuste de curvas, se necesitará un espesor mayor en las capas que conforman la construcción del pavimento solución; consecuentemente, el proyecto se hará más costoso viéndose reflejado en el presupuesto de obra.

Cabe recalcar que ese error producto de no corregir las curvas generadas en las gráficas Carga-Penetración, se verá reflejado en cada Ensayo CBR de Laboratorio. Si se cuenta con el tramo Dv. Humajalso - Huaytire que posee 30 km de longitud aproximadamente, el impacto será considerable y de gran importancia para el estudio de la presente investigación.

Marco Referencial

Antecedentes.

Se tiene que, en 2001 fue presentado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, el trabajo de tesis por Carlos Alberto Tupia Córdova denominado “Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un equipo dinámico”, como requisito para optar el título de Ingeniero Civil. Tuvo como objetivo establecer una correlación matemática entre el CBR in situ y el PDC in situ que permitió evaluar las condiciones del terreno de fundación de las vías de nuestro territorio y determinar parámetros locales. Además, se habló del método de corrección de CBR in situ, que es equivalente a la corrección del Ensayo CBR de Laboratorio. A continuación, se muestra la Curva Carga-Penetración de un Ensayo CBR in situ que necesitó de la corrección de naturaleza física en aquella investigación:

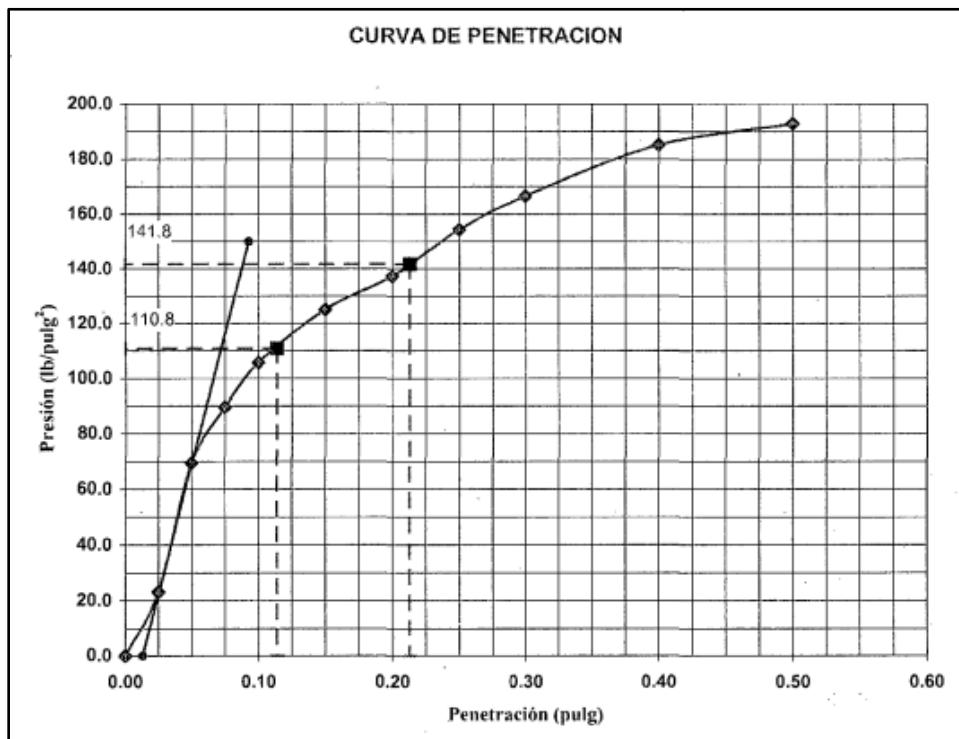


Figura 1. Corrección de origen físico del Ensayo CBR in situ.

Fuente: Tupia, C. (2001). Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un equipo dinámico.

En esta misma labor de investigación y consulta, se indagó en organizaciones de normas internacionales como: American Society for Testing and Materials (ASTM) específicamente en la norma ASTM D1883-16 (2016) denominada *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils* y American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en la norma AASHTO T 193-13 (2017) llamada *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio* que informan de todas las implicancias en el Ensayo CBR de Laboratorio. De la misma manera, estas normas americanas respaldan íntegramente el método de la corrección de dicho ensayo y los tipos de corrección que se deben realizar a los suelos ensayados una vez ploteadas las Curvas Carga-Penetración. Ambas normas son registros actuales elaboradas por consenso y creadas con la participación de todas las partes que tienen intereses en el desarrollo o uso de estas.

Marco teórico

Pavimento Flexible.

Definición. La función de un pavimento es la de proveer una superficie de rodamiento al tránsito y distribuir las cargas aplicadas por el mismo, sin que se sobrepasen las tensiones admisibles de las distintas capas del pavimento y de los suelos de fundación. La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Éstas se colocan en orden descendente en capacidad de carga. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior. Por lo tanto, la capa más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga. De ese modo lo que se pretende es poder soportar la carga total en el conjunto de capas.

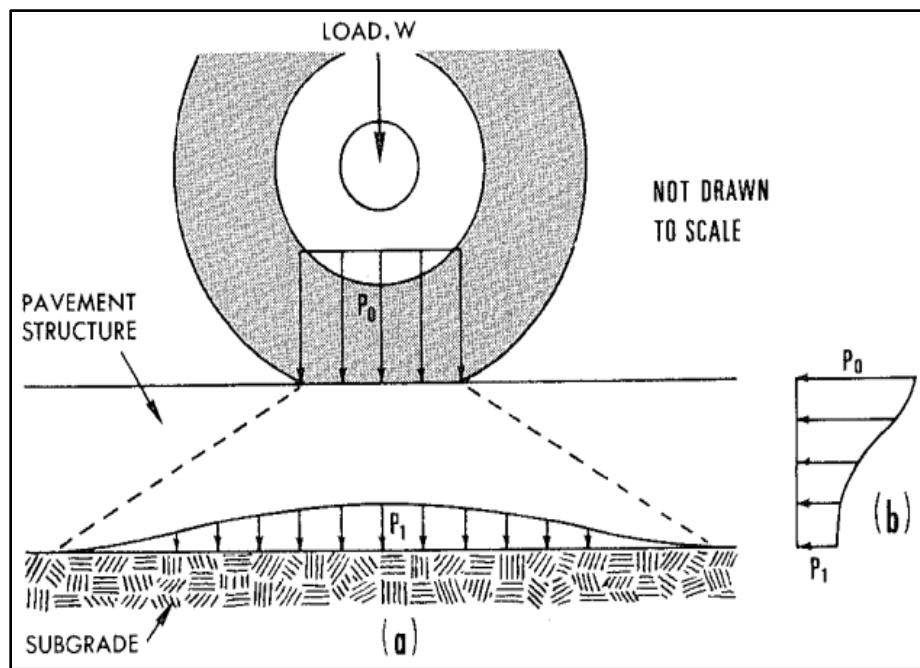


Figura 2. Propagación de la presión de carga de rueda a través de la estructura de un pavimento flexible.

Fuente: The Asphalt Institute (1970). Thickness Design-Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets. Manual Series No. 1 (MS-1).

Como se observa en la Figura 1: (a) La carga puntual vertical W de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través del neumático como una carga distribuida vertical P_0 . La estructura del pavimento luego extiende los esfuerzos de carga, reduciendo así sus intensidades hasta la superficie de la subrasante donde la presión vertical tiene una intensidad P_1 . (b) Se ilustra la manera general en que la máxima presión vertical decrece con la profundidad, de P_0 a P_1 . Con una adecuada selección de los materiales del pavimento y una adecuada profundidad y fuerza de la estructura, P_1 será lo suficientemente pequeña para ser fácilmente soportada por la subrasante.

Partes constitutivas. Se puede encontrar las siguientes capas estructurales:

Subbase granular. Capa localizada entre la capa base y la capa subrasante. Encargada de transmitir las cargas dinámicas de una manera adecuada a la subrasante. Debido a que está sometida a menores esfuerzos que la base, su calidad puede ser inferior y generalmente está constituida por materiales granulares zarandeados. Impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante. Además, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen disminuyendo su calidad. Algunos cambios volumétricos de la subrasante, asociados a expansiones, o cambios por heladas la subbase puede absorberlas evitando se reflejen en la superficie. En muchos casos la subbase debe drenar agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, impidiendo también la ascensión capilar.

Base granular. Capa que se encuentra bajo la capa de rodadura de un pavimento asfáltico. Su función principal es proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tráfico en una intensidad apropiada. Debido a su proximidad con la superficie, debe poseer alta resistencia a la deformación, para soportar las

altas presiones que recibe. Se construye con materiales granulares procesados o estabilizados y, eventualmente, con algunos materiales marginales. Encima de ella se coloca una aplicación de asfalto de baja viscosidad llamada imprimación asfáltica, la cual es diseñada para cumplir las siguientes funciones: puente de adherencia entre la base y carpeta, película impermeabilizadora, selladora de vacíos capilares y endurecedora de la superficie.

Carpeta asfáltica. La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir. Tiene la función estructural principal de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. También debe poseer la menor permeabilidad posible, con el fin de que el agua superficial drene en su mayor parte sobre ésta, reduciendo la cantidad de agua que llegue a la base.

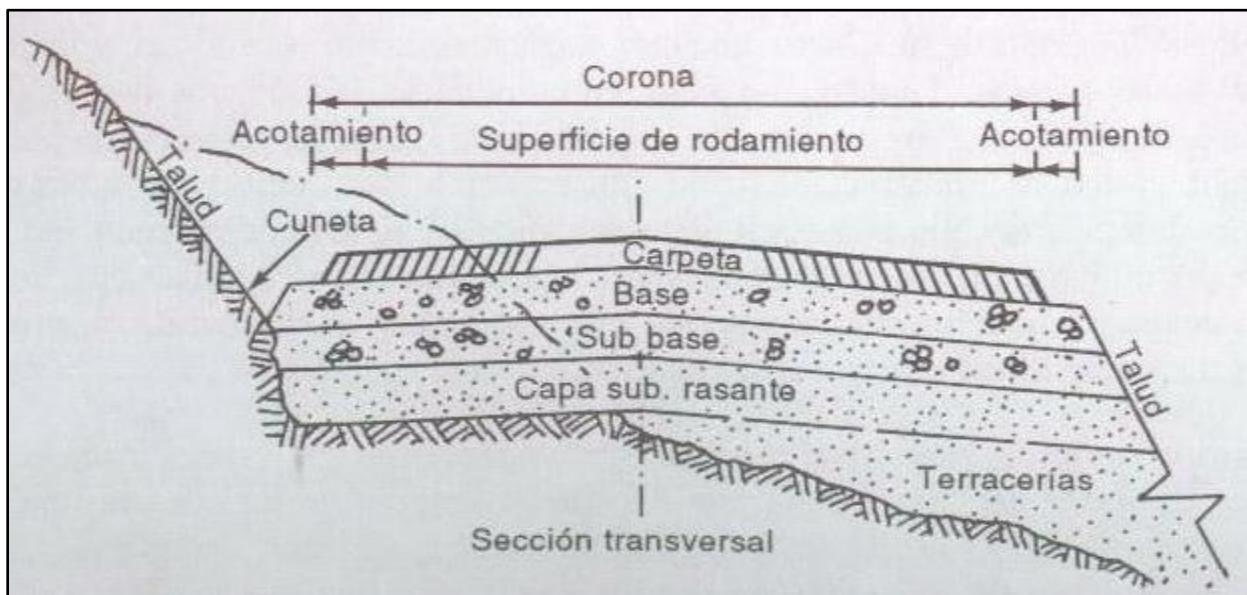


Figura 3. Sección transversal típica de un pavimento flexible en una sección en balcón.
Fuente: Rico y Del Castillo (1998). La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas. Volumen 2.

En pavimentos rígidos, más del 90% de las cargas dinámicas provenientes de las llantas la soporta la losa hidráulica, teniendo muy poca labor estructural las capas subbase y subrasante. Mientras que, en los pavimentos flexibles, la capa que toma la responsabilidad final de la absorción de cargas dinámicas es la subrasante, es decir, el inicio del terreno de fundación del pavimento.

Siendo la subrasante la que toma las cargas finales, esta investigación se enfocó en la importancia del estudio de ésta como capa estructural para que responda a una condición satisfactoria de desempeño una vez construido el paquete de pavimentos. Tomando en consideración lo anterior, se evaluó la capa subrasante, que hace parte del terreno de fundación, teniendo en cuenta que debe ser resistente, poco deformable y que estas características anteriores prevalezcan al paso de los años.

Terreno de fundación vial.

Definición. Se denomina terreno de fundación vial a la capa del suelo bajo la estructura del pavimento, preparada y compactada como fundación para el pavimento. Se trata del terreno natural o la última capa del relleno de la plataforma sobre la que se asienta el pavimento (Burgos, 2015, pág. 1). Comprende la capa subrasante y los rellenos hasta una profundidad de incidencia de las cargas dinámicas como bulbo de presiones. De su capacidad de soporte, depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible, rígido o semirrígido.

Características fundamentales. Para un pavimento flexible, las siguientes se consideran como las cualidades primordiales que debe cumplir el terreno de fundación:

Resistencia estructural. Se consideran dos aspectos de la resistencia estructural: la capacidad de carga que pueden desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito y la capacidad de carga de la capa subrasante, que constituye el nexo de unión entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir, a su vez, esfuerzos a la terracería a niveles convenientes. Una subrasante resistente será capaz de tolerar niveles de esfuerzo relativamente altos, con lo que, podrán usarse sobre ella espesores reducidos sin comprometer la estabilidad general. El parámetro medidor de la resistencia estructural en las capas del pavimento se conoce como Módulo Resiliente o Módulo de Resiliencia.

Deformabilidad. Es un requisito básico para la aceptación o rechazo de un material de fundación, condicionando su buen comportamiento como soporte en un pavimento.

Al respecto Rico y Del Castillo sostienen que:

Con respecto a la deformación, dada la naturaleza de los materiales que forman las capas del pavimento, la deformabilidad suele crecer mucho hacia abajo y la terracería es mucho más

deformable que el pavimento propiamente dicho y dentro de éste, la subrasante, capa inferior, es mucho más deformable que las capas superiores. Desde este punto de vista la deformabilidad interesa sobre todo a niveles relativamente profundos, pues es relativamente fácil que las capas superiores tengan niveles de deformación tolerables aun para los altos esfuerzos que en ellas actúan (1999, pág. 103).

Durabilidad. Esta condición implica que las dos condiciones anteriores deben preservarse en el tiempo. Evidentemente que está ligada a una serie de factores económicos y sociales del propio camino; en una obra maestra, la duración del pavimento puede ser mucho menor que la del camino, con tal de que la serie de reconstrucciones que entonces se requieran valgan menos que el costo inicial de un pavimento mucho más durable, más el valor que pueda darse a las interrupciones de servicio a que las reconstrucciones den lugar; por el contrario en obras de muy alto tránsito y gran importancia económica se requerirán pavimentos muy duraderos a fin de no tener que recurrir a costosas interrupciones de un tránsito importante.

Es necesario aclarar que la condición de enfoque será la Resistencia Estructural, teniendo como objetivo la obtención del Módulo de Resiliencia. Este puede ser hallado directamente con el Ensayo Triaxial Dinámico o indirectamente con correlaciones aplicadas al Índice CBR conseguido gracias al Ensayo CBR de Laboratorio.

Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de Laboratorio.

Definición. “Este ensayo está destinado a estimar la capacidad de carga de un suelo bajo las ruedas, es decir, su aptitud para soportar en una determinada estructura de la carretera las cargas móviles que deberán recorrerla” (Arquie, 1978, pág. 50). El ensayo es aplicado a suelo de la subrasante, subbase y base bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

La respuesta del ensayo es el Índice CBR, definido como la relación entre la carga unitaria en el pistón requerida para penetrar 0.1” (2.54 mm) y 0.2” (5.08 mm) en el suelo ensayado, y la carga unitaria requerida para penetrar la misma cantidad en un material estándar, comúnmente grava triturada de buena gradación; expresando esta relación en porcentaje.

Según la norma AASHTO T 193-13 publicada en 2017 titulada *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio* los valores de esfuerzo deben ser determinados y corregidos para cada espécimen a 2.54 y 5.08 mm (0.1 y 0.2 in) de penetración. Posteriormente, los valores de Relación de Soporte de California son obtenidos en porcentaje al dividir los esfuerzos corregidos a 2.54 y 5.08 mm entre los esfuerzos estándares de 6.9 y 10.3 MPa (1000 y 1500 psi), respectivamente, y multiplicadas estas proporciones por 100.

$$CBR = \frac{\text{Valor de esfuerzo corregido}}{\text{Valor de esfuerzo estándar}} \times 100$$

Ahora se muestran algunas consideraciones al efectuar dicho ensayo:

Tabla 1
Criterios del Ensayo California Bearing Ratio (CBR).

Diámetro del molde (pulg.)	6		
Peso del martillo (lb)	10		
N.º de capas	5		
N.º golpes/capa	10	25	56
Velocidad de giro de manivela (mm/min)	1.7		

Fuente: Elaboración Propia.

Simulación campo-laboratorio. El Ensayo CBR tiene como objetivo principal obtener la resistencia al cortante del suelo en laboratorio simulando su comportamiento bajo condiciones encontradas en campo.

El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un período de 4 días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

Las condiciones de simulación campo-laboratorio del Ensayo CBR son las siguientes:

Una de ellas es el confinamiento, el suelo en campo está sometido a presiones de confinamiento y de igual manera lo está en la prueba de laboratorio al ser encerrado mediante un molde cilíndrico metálico.

El CBR generalmente se obtiene para condiciones críticas saturadas, por esta razón, se introduce en una poza de curado. Sin embargo, en el mayor de los casos los cambios climáticos, sistemas de drenaje, y otros factores no permiten que el suelo llegue a las condiciones de saturación (situación crítica), es por esto que si existe la posibilidad de realizar el ensayo CBR en las condiciones más similares al lugar en donde se está realizando la construcción.

El suelo de subrasante en campo debe estar idealmente compactado al 95% de la Máxima Densidad Seca. Debido a la simulación campo-laboratorio del ensayo, el Indice CBR obtenido en el Ensayo CBR de Laboratorio debería contemplar la misma condición de compactación.

Las sobrecargas son en realidad masas convertidas a fuerza. En cuanto al procedimiento de colocación, se introducen los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2.27 kg correspondientes a una pesa. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde aproximadamente a 4.54 kg de sobrecarga. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg.

Equipos y aparatos. Estos son los dispositivos para las pruebas de compactación, expansión y penetración del Ensayo CBR de Laboratorio:

Prensa CBR. Debe estar provisto con un dispositivo indicador de carga con lecturas. Su capacidad mínima es de 44.0 kg y la velocidad de giro de la manivela tendrá el valor de 1.27mm/min.

Pistón de carga. Pistón de penetración metálico de 50 mm de diámetro y no menor de 100 mm de largo. Área de pistón equivalente a 19.35 cm².

Moldes. Tres moldes metálicos cilíndricos de diámetro interior de 6" y altura 7". Cada uno tendrá un collarín de extensión de 2" de altura y una placa de base metálica de 9.5 mm de espesor, con perforaciones de diámetro menor o igual a 1.60 mm.

Disco espaciador. Disco metálico, cilíndrico de 150.8 mm de diámetro y 61.4 mm. de altura.

Pisón metálico. Pisón con una cara circular de 50 mm de diámetro y con una masa de 10 lb. Su caída debe comprender 1.5 pie de altura controlada por una guía tubular.

Sobrecargas. Una sobrecarga anular y varias ranuradas. Cada tipo de sobrecarga con una masa de 2.27 kg (5lb) cada una, 149.2 mm de diámetro exterior y con 54 mm de diámetro en el orificio central. La cantidad de sobrecargas a usar depende del espesor de la estructura del pavimento. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg (10lb).

Placa metálica con vástago. Placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1.6 mm de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura.

Trípode con dial. Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujetado en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001").

Tanque. Con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

Horno. Termostáticamente controlado, regulable a 110°C. Para control de humedad de los suelos ensayados en los 3 moldes.

Balanzas. De 20 kg y de 1000 g de capacidad con sensibilidades de 5 g y 0.1 g respectivamente.

Misceláneos. De uso general, como cuarteador, mezclador, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

Procedimiento. Este ensayo posee diferentes etapas en su realización como son: preparación de la muestra, elaboración de especímenes, inmersión, penetración y cálculos.

Preparación de la muestra. Cuando más del 75% en peso de la muestra pase por el tamiz de 19.1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19.1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices 3/4" y N°4, obtenida tamizando otra porción de la muestra. De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. En este caso se utilizará la del Proctor Modificado. De esta forma, se puede estudiar la variación de la relación de soporte con estos dos factores que son los que la afectan principalmente. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la norma MTC E 108 denominada “Método de ensayo para determinar la humedad de un suelo”. Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

Elaboración de especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collarín y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro. Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación, pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas.

Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 10, 25 y 56 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 10, 25 y 56 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500 g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del suelo.

Terminada la compactación, se retira el collarín y se enrasta el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Cualquier depresión producida al eliminar partículas gruesas durante el enraste, se llenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula. Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base y finalmente se anota el peso.

Inmersión. Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2.27 kg correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4.54 kg. A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación o por algún método aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde aproximadamente a 4.54 kg de sobrecarga.

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) con el nivel de agua aproximadamente constante. Es admisible también un período de inmersión más corto si se

trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados.

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura puede retirarse, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso del numeral siguiente.

Penetración. Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento, con 2.27 kg de aproximación, pero no menor de 4.54 kg. Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra. Llévese el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añade el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella.

Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50 N (5 kg) para que el pistón asiente. Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración. Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura

del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm/min. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro.

Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

Tabla 2
Equivalencias en mm y pulg.

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

Cálculos. Como cálculo principal se obtiene el Índice CBR y como complementario, la expansión.

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro para las penetraciones de 0.1" y 0.2" y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva.

Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Tabla 3

Cargas patrón para 0.1" y 0.2" de penetración.

Penetración		Presión		
mm	pulg	MN/m ²	kgf/cm ²	psi
2.54	0.1	6.90	70.31	1000
5.08	0.2	10.35	105.46	1500

Fuente: Elaboración Propia.

Se dibuja una curva que relacione las presiones o esfuerzos (ordenadas) y las penetraciones o deformaciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta algún punto de inflexión. En caso que no presente punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 0.1" y 0.2" de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto corta el eje de abscisas en otro punto llamado 0 corregido, que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2.54 y 5.08 mm.

De la curva corregida se toman los valores de esfuerzo-penetración para las penetraciones de 2.54 y 5.08 mm y se calculan los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos patrón 6.90 MPa (1000 psi) y 10.35 MPa (1500 psi) respectivamente, multiplicados por 100.

Usando los datos obtenidos de los tres especímenes, se dibuja la curva Densidad Seca vs. CBR. El CBR de diseño puede, entonces, ser determinado al porcentaje deseado de la máxima densidad seca, se analizará al 95% de la MDS para la subrasante y 100% de la MDS para la base y subbase granular.

Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm. Es decir:

$$E = \left(\frac{L_2 - L_1}{127} \right) \times 100$$

Donde:

E: Expansión (%).

L_2 : Lectura final (mm).

L_1 : Lectura final (mm).

Corrección del Ensayo CBR de Laboratorio.

En la etapa de Cálculos, se encuentra la construcción de las Curvas Carga-Penetración. Es aquí donde se deben corregir los desplazamientos producidos debido al reacomodo de partículas generado por el apisonador en el inicio de la penetración del Ensayo CBR de Laboratorio.

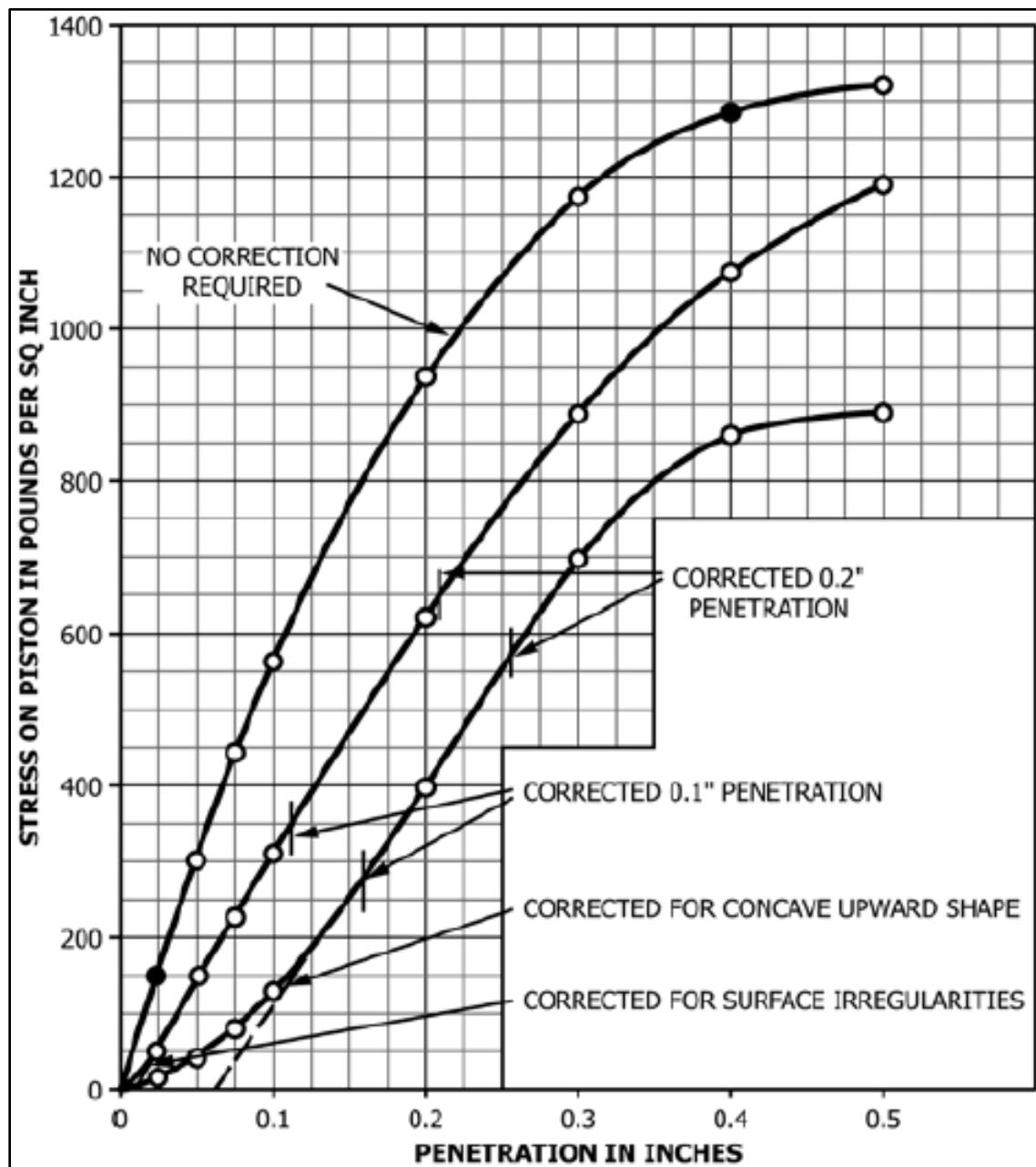


Figura 4. Corrección de Curvas Carga-Penetración.

Fuente: ASTM D1883-16. Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.

Tipos según naturaleza. De acuerdo a la norma ASTM D1883-16 existen 2 tipos de corrección a ejecutar en las Curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio. Estos son de naturaleza estadística y física:

De naturaleza estadística. Consiste en la implementación de un procedimiento de construcción polinómica llamado Regresión Polinomial, el cual permite ajustar por Mínimos Cuadrados (técnica de análisis numérico que intenta disminuir la suma de cuadrados de las diferencias en las ordenadas entre los puntos generados por la función elegida y los correspondientes valores en los datos) una nube de puntos mediante un polinomio de grado superior a 1.

Para la utilización del método, se dibuja los puntos obtenidos después de la etapa de penetración representándolos en un gráfico de dispersión x-y para cada tipo de energía de compactación. Acto seguido, por Mínimos Cuadrados se construye la ecuación polinómica que satisfaga de mejor manera a los puntos dibujados.

Los valores de las cargas registradas en el lector digital de la prensa CBR correspondientes a las penetraciones establecidas del ensayo no guardan relación con los valores de las cargas generadas debido a la construcción de la ecuación polinomial. Esto significa que, si no se corrige por el presente método estadístico se estaría eligiendo valores erróneos para las cargas, las cuales posteriormente también deben ser corregidas por factores físicos, arrastrando el error aún más.

Podría resultar útil disponer de alguna indicación precisa del grado en el que la ecuación se ajusta a la nube de puntos. Así pues, aunque siempre resulta posible obtener la ecuación mínimocuadrática cualquiera que sea la nube de puntos, se necesita información adicional para determinar el grado de fidelidad con que esa ecuación describe la pauta de relación existente en los datos. He aquí entra el concepto de Coeficiente de Correlación de Pearson.

Una medida de ajuste que ha recibido gran aceptación en el contexto del análisis de regresión es el coeficiente de determinación R^2 : el cuadrado del coeficiente de correlación múltiple. Este coeficiente posee una interpretación muy intuitiva: representa el grado de ganancia que podemos obtener al predecir unas variables basándonos en el conocimiento que tenemos de otra u otras variables (Pardo, 2005, pág. 341)

Para la interpretación del Coeficiente de Correlación de Pearson se sugieren la escala que se presenta a continuación:

Tabla 4
Interpretación del Coeficiente de Pearson.

Valor	Tipo de correlación
-1.00	Negativa perfecta.
-0.90	Negativa muy fuerte.
-0.75	Negativa considerable.
-0.50	Negativa media.
-0.25	Negativa débil.
-0.10	Muy débil.
0.00	No existe correlación alguna.
0.10	Muy débil.
0.25	Positiva débil.
0.50	Positiva media.
0.75	Positiva considerable.
0.90	Positiva muy fuerte.
1.00	Positiva perfecta.

Fuente: Hernández, Fernández y Baptista (2010).

Por un lado, la línea de tendencia de la ecuación polinómica debe agrupar los puntos Carga-Penetración de la mejor manera posible incluyendo el concepto del Coeficiente de Pearson y, por otro lado, las Curvas Carga-Penetración no deben perder la concavidad esperada del Ensayo CBR de Laboratorio.

Bajo esa premisa, se diseñó la ecuación polinómica para los grados 3 y 4 con el método propuesto. Resulta que los valores de R^2 de los polinomios de ambos grados arrojaron números muy cercanos a una correlación de tipo positiva perfecta como se observa en la Tabla 4, generando muy poca variación entre estos.

Finalmente, se determinó que todos los puntos conocidos, los pares (x, y) fueron recogidos perfectamente en el polinomio de grado 3, por lo que no fue necesario aumentar el grado del polinomio.

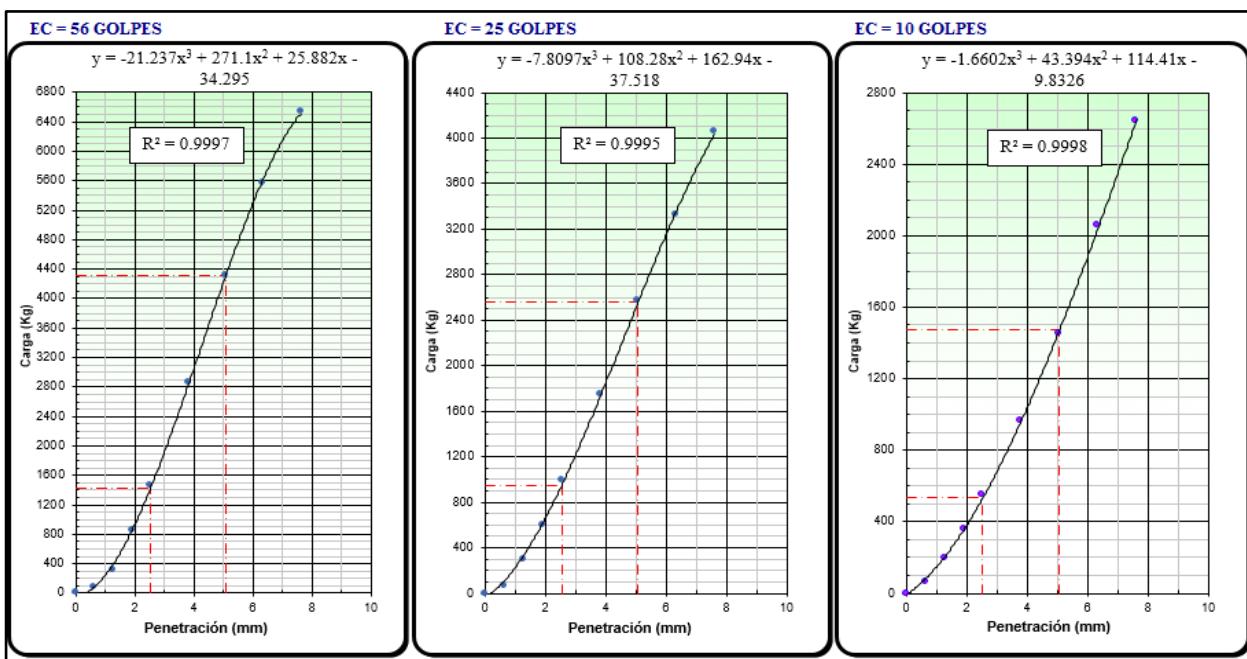


Figura 5. Curvas Carga-Penetración ajustadas por ecuaciones polinómicas de tercer grado para cada energía de compactación del Ensayo CBR de Laboratorio.
Fuente: Elaboración Propia.

De naturaleza física. Solucionadas por el método de la tangente. Este ajuste se realiza al observar que en el inicio de la curva de la gráfica Carga-Penetración se presenta una notoria concavidad hacia arriba hasta encontrar el punto de inflexión el cual genera que la curva tome la concavidad deseada (hacia abajo) del ensayo.

La naturaleza de esta distorsión principalmente presenciada en suelos granulares es de origen totalmente físico. Ocurre que las gravillas de la muestra de suelo situadas en la superficie

del molde sufren un reacomodo de partículas debido al contacto pisón – gravilla en la prensa CBR. Este fenómeno permite que las penetraciones sigan su curso a velocidad constante de giro de manivela y que las cargas se estanquen hasta que las gravillas se asienten en su totalidad. Es decir, la distorsión origina que las penetraciones objetivo no se relacionen correctamente con las cargas reales que soportaría el suelo.

Las correcciones de índole física pueden impactar en magnitudes de mayor a menor:

- Corrección por concavidad hacia arriba.
- Corrección por irregularidades superficiales.

Para poder corregir por concavidad hacia arriba (o convexidad) se utiliza una hoja de cálculo basada en los principios de la norma ASTM D1883-16. Una vez realizado el ajuste estadístico Carga-Penetración de las curvas observadas en la Figura 5, se añaden en cada una de ellas dos rectas que tienen como propósito simular la verdadera intercepción de la curva con el eje de las penetraciones por medio de una recta tangente a un punto de contacto y arrojar los nuevos valores de carga para las penetraciones objetivo respectivamente.

La primera recta (de color rojo) se construye de la siguiente manera:

Primero, se obtiene la derivada de la ecuación polinómica de tercer grado. Esta derivada significa la existencia de infinitas rectas tangentes a esta, por lo tanto, infinitas pendientes. Para que se pueda encontrar una sola recta pendiente, se reemplaza en la derivada un punto de contacto de la ecuación polinómica y se obtiene la pendiente para dicho punto.

Luego, teniendo una pendiente “m” conocida para un punto (x, y) conocido de la ecuación, se puede hallar la ecuación de la recta tangente. Después, se reemplaza $y=0$ en la ecuación hallada para obtener la distancia que hay entre el origen y la intersección de la recta tangente con

el eje de las abscisas. Esta distancia viene a ser el desplazamiento necesario para añadir a las penetraciones.

Finalmente, la recta tangente es introducida a la gráfica con dos puntos conocidos (punto de contacto de la ecuación polinómica y punto de intercepción cuando $y=0$) y automatiza la aparición de diferentes rectas pendientes cada vez que se modifique la abscisa de contacto “x”.

La segunda recta (de color azul) se añade de la siguiente manera:

Conocida la distancia “x” a desplazar, esta se añade a las penetraciones 2.54 y 5.08 mm creando nuevas penetraciones, las cuales se reemplazan en la ecuación polinómica de tercer grado obteniéndose dos nuevas cargas. Se añade esta recta gracias a la construcción de esos dos nuevos puntos (nuevas penetraciones y nuevas cargas). Esta recta sirve para mostrar las nuevas cargas para las nuevas penetraciones de 0.1” y 0.2”.

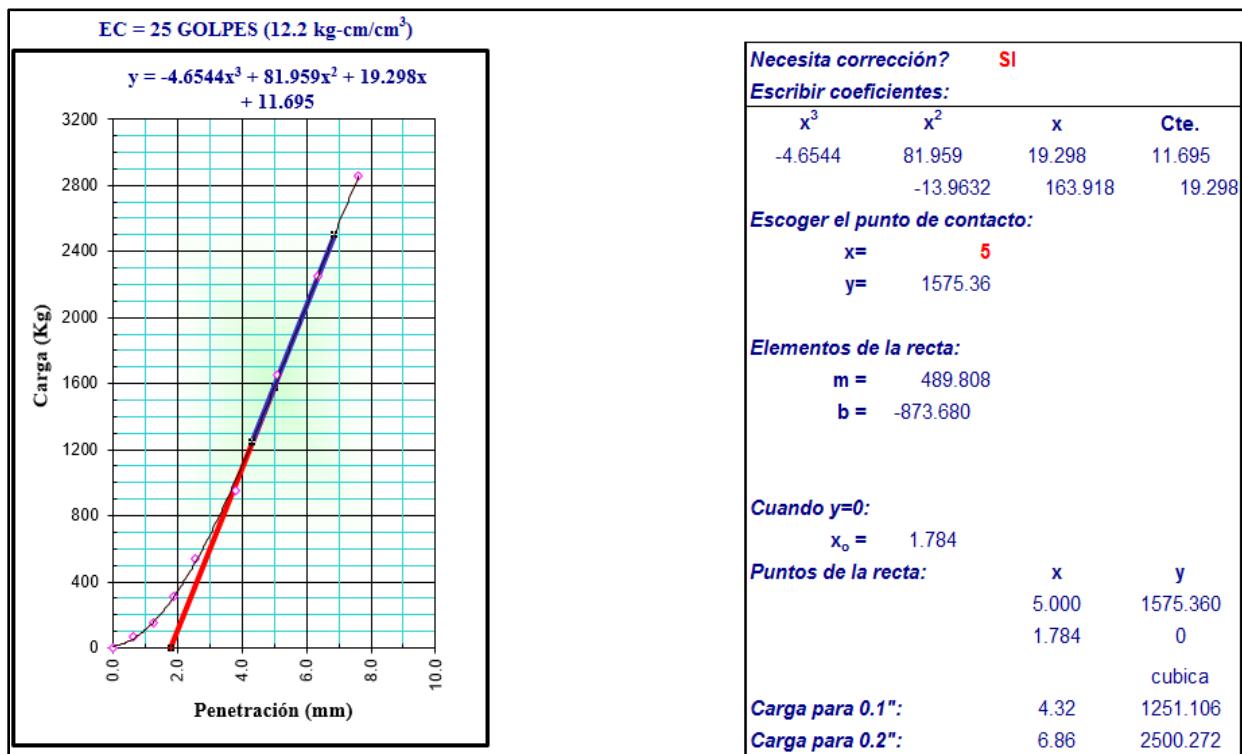


Figura 6. Corrección por concavidad hacia arriba de una Curva Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio para una energía de compactación de 25 golpes/capa.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6, el desplazamiento en el eje de las penetraciones para la carga de 0.1" no permanece en 2.54 mm como era inicialmente, ahora incrementó a 4.32 mm debido a la corrección por concavidad hacia arriba. Esto significa que la nueva distancia 0.1" se encuentra a 4.32 mm del origen de la Curva Carga-Penetración. Además, se puede notar que a 4.32 mm la carga incrementa a 1251.106 kg. De la misma forma, el desplazamiento en el eje de las abscisas para la carga de 0.2" pasa de 5.08 mm a 6.86 mm registrándose una carga de 2500.272 kg.

Las pequeñas gravas localizadas en la superficie del molde cilíndrico vienen a ser las irregularidades superficiales de la que habla la segunda corrección. La única diferencia con respecto a la corrección anterior es la magnitud del fenómeno; es decir, la presente distorsión se manifiesta en menor grado de aportación. Esta modificación se realiza al observar que en el inicio de la Curva Carga-Penetración se presenta una pequeña convexidad debido al mínimo reacomodo de partículas del Ensayo CBR de Laboratorio. De manera similar, se debe eliminar esa minúscula convexidad como se haría en una corrección por concavidad hacia arriba.

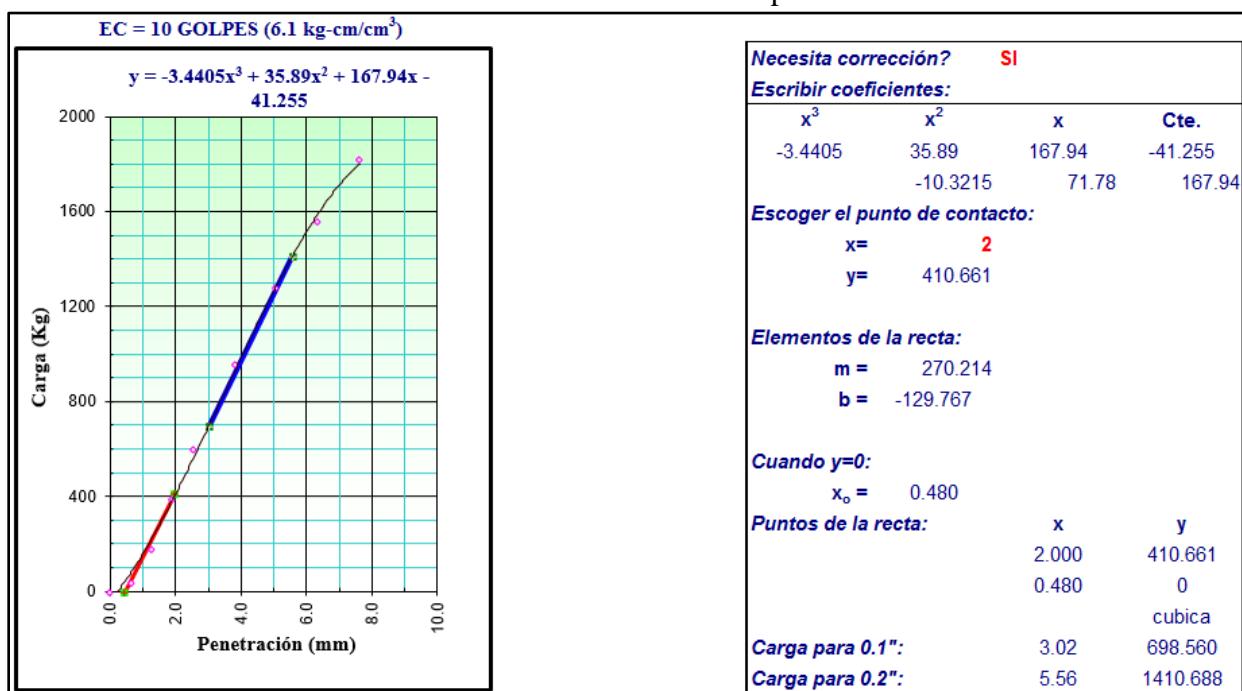


Figura 7. Corrección por irregularidades superficiales de una Curva Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio para una energía de compactación de 10 golpes/capa.
Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en el cuadro de corrección de la Figura 7, el desplazamiento en el eje de las penetraciones para la carga de 0.1" no permanece en 2.54 mm, sino que ahora incrementó a 3.02 mm. Esto significa que la nueva distancia 0.1" se encuentra a 3.02 mm del origen de la Curva Carga-Penetración. Además, se puede notar que a 3.02 mm la carga incrementa a 698.560 kg. De la misma forma, el desplazamiento en el eje de las abscisas para la carga de 0.2" pasa de 5.08 mm a 5.56 mm registrándose una carga de 1410.688 kg.

A pesar de que se tiene gran cantidad de material granular a lo largo de la carretera en inspección, existen muy pocas curvas que son libres de correcciones por concavidad e irregularidad superficial; por consecuencia, aquellas no deberán ser corregidas por estos ajustes.

En caso que se encuentre la situación mencionada anteriormente:

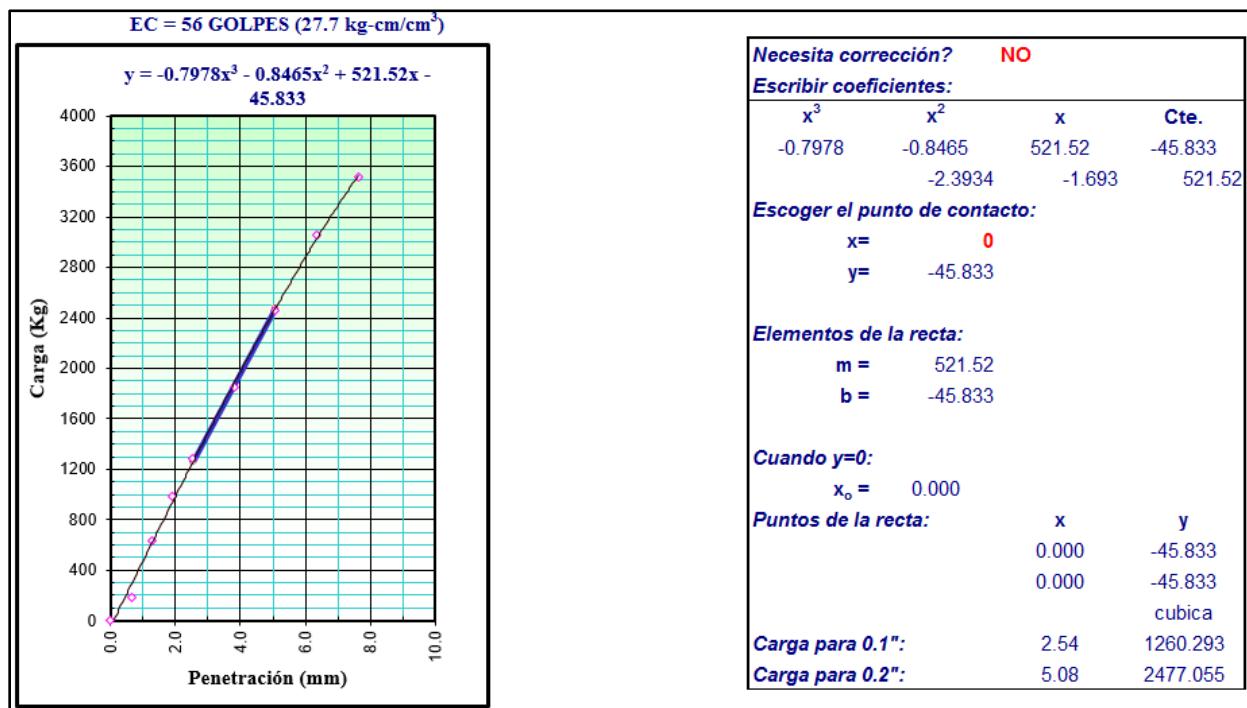


Figura 8. Inexistencia de correcciones por concavidad hacia arriba e irregularidades superficiales en una Curva Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio para una energía de compactación de 56 golpes/capa.
Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en el cuadro de corrección de la Figura 8, el desplazamiento en el eje de las penetraciones para la carga de 0.1" permanece en 2.54 mm. Además, a esa distancia la carga

arroja un valor de 1260.293 kg. De la misma forma, el desplazamiento en el eje de las abscisas para la carga de 0.2" continua en 5.08 mm registrándose una carga de 2477.055 kg. Esto implica que no se ha corregido por concavidad ni por irregularidad superficial en la curva.

Método de la tangente. En el presente estudio se utilizó un método propuesto por la norma ASTM D1883-16 capaz de eliminar las concavidades mostradas en la Figura 4, errores producidos por la propia naturaleza del ensayo.

A nivel de ensayo se propone dejar una carga inicial suave durante un rato para que la superficie se asiente y podamos comenzar el ensayo sin falsas mediciones, pero al final, estas medidas falsas afloran, y si se observa la Figura 4 se suele ver que la curva no siempre va a terminar en el origen de la gráfica, así que al final, se debe calcular ese "desplazamiento del origen" y sumarlo en todas las medidas de penetraciones posteriores para generar una curva más exacta.

Todas las normas existentes proponen hacerlo detectando el punto de inflexión de la gráfica y usarlo para calcular el corte de la gráfica con el origen, a imagen de la norma ASTM (American Society of Testing Materials), esto implica que en la práctica no es posible usar ese método de forma automatizada, ya que se basa en la intuición del investigador en varios aspectos. Por un lado, lo normal es tener varios puntos de inflexión, pero la norma solo contempla la existencia de uno, por lo que el investigador debe elegir uno intuitivamente.

Entonces una vez escogido el punto de inflexión, se debe crear una recta tangente que pase por ese punto y a la vez que cruce el eje de las abscisas. Se mide la distancia "x" entre el origen y la intersección. La distancia "x" se añade a 0.1" y 0.2" y esto origina nuevas penetraciones ($0.1 + x$)" y ($0.2 + x$)". Luego se proyecta hacia arriba unas líneas punteadas desde esas nuevas penetraciones hasta que estas intercepten la Curva Carga-Penetración y luego se seleccionan los

valores de carga apropiados que correspondan a esas nuevas penetraciones. Viéndolo de otro modo, la intercepción de la recta tangente con el eje de las penetraciones es el nuevo origen. La curva nace ahí y a lo largo de su recorrido siempre tendrá una concavidad hacia abajo.

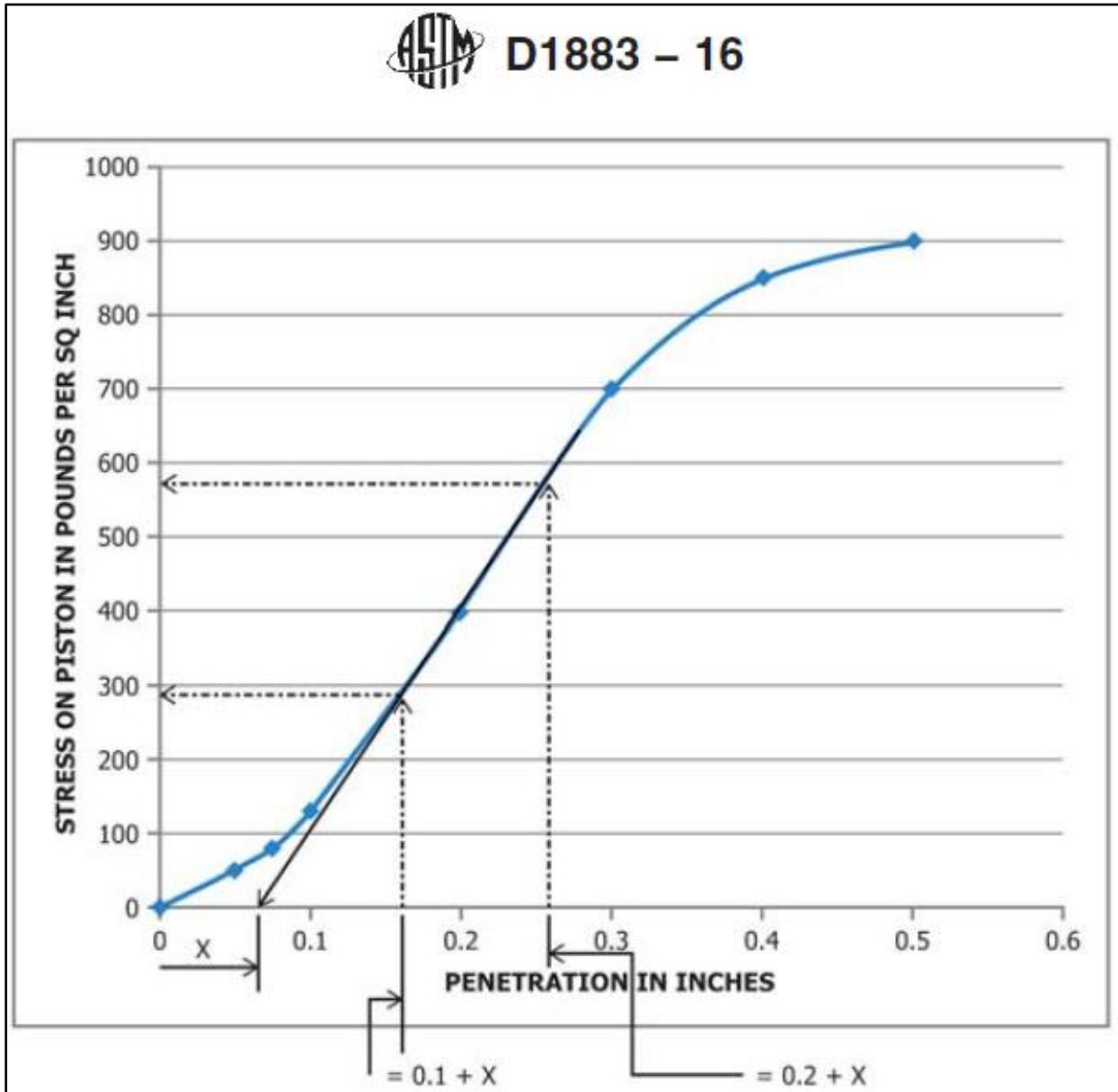


Figura 9. Método de ajuste para corregir por concavidad hacia arriba e irregularidades superficiales.

Fuente: ASTM D1883-16. Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.

Escenarios. Es importante establecer los conceptos y escenarios de corrección de las Curvas Carga-Penetración para la presente investigación:

En cuanto al concepto, al mencionarse el término “sin corrección” este implica que se realiza la corrección de naturaleza estadística más no se llevan a cabo las correcciones de naturaleza física; mientras que, cada vez que se indique el término “con corrección” se refiere a que se realizan ambos tipos de correcciones.

Con respecto a los escenarios de corrección, estos son dos: en el primero, se tiene un paquete de pavimento con corrección y una subrasante con corrección; y en el segundo, el mismo paquete de pavimento con corrección y una subrasante sin corrección.

Cabe señalar que las correcciones de ajuste estadístico y físico se realizaron para todo suelo del paquete de pavimentos y de fundación. Realizadas las correcciones por concavidad y cálculos de soporte del suelo, se halló el Indice CBR reportado en la nueva penetración de 0.1” para una máxima energía de compactación a la máxima densidad seca deseada de acuerdo al diseño de la capa del pavimento como lo señala el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos que se aplica en la ingeniería de pavimentos y en proyectos actuales de cualquier carretera validado por las supervisiones representantes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Carpeta Asfáltica Colapsada		3"		Carpeta Asfáltica Colapsada		3"	
Base Granular Existente	6"	CON CORRECCION		Base Granular Existente	6"	CON CORRECCION	
Subbase Existente	6"	CON CORRECCION		Subbase Existente	6"	CON CORRECCION	
Subrasante		CON CORRECCION		Subrasante		SIN CORRECCION	
ESCENARIO 1		ESCENARIO 2					

Figura 10. Escenarios de corrección en pavimento existente.
Fuente: Elaboración Propia.

Diseño de Pavimento Flexible - Método AASHTO 93.

El diseño del pavimento, utilizando el Método AASHTO, versión 1993 (GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURE 1993) basado en AASHTO Road Test obtenido en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos publicado en abril del 2014, consiste en determinar por un lado el Número Estructural Requerido (SN_{req}) en función del Módulo Resiliente de la subrasante (Mr), Número de Ejes Equivalentes (EE), Confiabilidad ($R\%$), Desviación Standard Total (S_0), Pérdida de Serviciabilidad (PSI). Por otro lado, se determina el Número Estructural Propuesto (SN_{prop}) en función de los espesores (Di), Coeficientes de Aporte Estructural (Ai) y Coeficientes de Drenaje de la estructura del pavimento propuesto (Mi). Conociendo tanto el SN_{req} como el SN_{prop} , se verifica si la estructura del pavimento propuesto es suficiente para atender las solicitudes que se presentarán para el periodo de diseño.

La filosofía de diseño de un pavimento flexible por La Guía AASHTO 93 se rige mediante esta ecuación:

$$SN_{prop} \geq SN_{req}$$

Donde:

SN_{prop} : Número Estructural Propuesto.

SN_{req} : Número Estructural Requerido.

Determinación del Número Estructural Requerido (SN_{req}). Típicamente el diseño de los pavimentos es mayormente influenciado por tres factores que terminan siendo operacionalizados para obtener un número estructural requerido: Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, es decir, el número de ejes equivalentes de 8.2 t que pasarán en la vida útil del proyecto; el terreno de fundación visto desde la respuesta en términos de resistencia estructural

en condición compacta medido mediante el Ensayo CBR de laboratorio transformado a Módulo Resiliente y la serviciabilidad relacionada al confort controlado por la pérdida de serviciabilidad.

Para la determinación del SN_{req} se parte de la ecuación general propuesta en la Guía AASHTO 1993, la cual se presenta a continuación:

$$Log(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 8.07$$

Donde:

W_{18} : Número Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 8.2t para el periodo de diseño.

Z_R : Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal.

S_o : Desviación Estándar Combinada.

SN : Número Estructural Requerido.

ΔPSI : Pérdida de Serviciabilidad.

M_R : Módulo Resiliente de la subrasante (psi)

Cada parámetro mostrado en la ecuación se detallará a continuación:

Número de Ejes Equivalentes (W_{18}). Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento, están expresadas en ESALs, Equivalent Single Axle Loads 18000 lb o 80 kN o 8.2 t que en el presente estudio se denominan Ejes Equivalentes (EE). La sumatoria de ESALs durante el periodo de diseño es referida como W_{18} . Para el dimensionamiento de un pavimento es necesario determinar los efectos que las cargas de estos vehículos causarán sobre el pavimento, por lo cual se debe conocer el número y tipo de vehículos que circularán por una vía, así como la intensidad de la carga y la configuración del eje que la aplica.

Confiabilidad (R%). La confiabilidad es la probabilidad de que una sección del pavimento diseñada mediante el método indicado se comporte satisfactoriamente durante el período de diseño bajo las condiciones de tráfico determinadas.

De acuerdo a la Guía AASHTO es suficientemente aproximado considerar que el comportamiento del pavimento con el tráfico, sigue una ley de distribución normal, en consecuencia pueden aplicarse conceptos estadísticos para lograr una confiabilidad determinada; por ejemplo, 90% o 95%, significa que solamente un 10% o 5% del tramo pavimentado, se encontrará con un índice de serviciabilidad inferior al previsto; es decir que el modelo de comportamiento está basado en criterios de serviciabilidad y no en un determinado mecanismo de falla. En consecuencia, a mayor nivel de confiabilidad se incrementará el espesor de la estructura del pavimento a diseñar.

Tabla 5

Valores recomendados de nivel de confiabilidad según rango de tráfico.

Tipos de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados	Nivel de Confiability (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75000	150000 65%
	T _{P1}	150001	300000 70%
	T _{P2}	300001	500000 75%
	T _{P3}	500001	750000 80%
	T _{P4}	750001	1000000 80%
Resto de Caminos	T _{P5}	1000001	1500000 85%
	T _{P6}	1500001	3000000 85%
	T _{P7}	3000001	5000000 85%
	T _{P8}	5000001	7500000 90%
	T _{P9}	7500001	1000000 90%
	T _{P10}	10000001	1250000 90%
	T _{P11}	12500001	1500000 90%
	T _{P12}	15000001	2000000 95%
	T _{P13}	20000001	2500000 95%
	T _{P14}	25000001	3000000 95%
	T _{P15}	>30000000	95%

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos, en base a la Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

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).

Desviación Estándar Normal (Z_R). El coeficiente estadístico de Desviación Normal (Z_R) representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal. Aquí se muestran algunos valores en el siguiente cuadro:

Tabla 6

Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico.

Tipos de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados	Desviación Estándar Normal (Z_R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	75000	-0.385
	T_{P1}	150001	-0.524
	T_{P2}	300001	-0.674
	T_{P3}	500001	-0.842
	T_{P4}	750001	-0.842
Resto de Caminos	T_{P5}	1000001	-1.036
	T_{P6}	1500001	-1.036
	T_{P7}	3000001	-1.036
	T_{P8}	5000001	-1.282
	T_{P9}	7500001	-1.282
	T_{P10}	10000001	-1.282
	T_{P11}	12500001	-1.282
	T_{P12}	15000001	-1.645
	T_{P13}	20000001	-1.645
	T_{P14}	25000001	-1.645
	T_{P15}	>30000000	-1.645

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos, en base a la Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Desviación Estándar Combinada (S_o). 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. La Guía AASHTO

recomienda para pavimentos flexibles valores entre 0.40 y 0.50. Se adoptará el valor promedio de 0.45.

Serviciabilidad. La serviciabilidad de un pavimento es su capacidad de servir al tipo de tráfico que usa la vía (ligero y pesado). La medida de serviciabilidad es el Índice de Serviciabilidad presente (psi) que varía entre 0 (carretera intransitable) y 5 (carretera en perfectas condiciones). Así como existe una Serviciabilidad Inicial (P_i) que es la condición de una vía recientemente construida también hay una Serviciabilidad Final (P_t) que indica que la vía ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o construcción.

Se tiene una tabla la cual resume los valores de serviciabilidad según el tráfico:

Tabla 7
Valores de serviciabilidad según rango de tráfico.

Tipos de Caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados	Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i)	Índice de Serviciabilidad Final (P_t)	Pérdida de Serviciabilidad (ΔP_{SI})
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150001 - 300000	3.80	2.00	1.80
	T_{P2}	300001 - 500000	3.80	2.00	1.80
	T_{P3}	500001 - 750000	3.80	2.00	1.80
	T_{P4}	750001 - 1000000	3.80	2.00	1.80
Resto de Caminos	T_{P5}	1000001 - 1500000	4.00	2.50	1.50
	T_{P6}	1500001 - 3000000	4.00	2.50	1.50
	T_{P7}	3000001 - 5000000	4.00	2.50	1.50
	T_{P8}	5000001 - 7500000	4.00	2.50	1.50
	T_{P9}	7500001 - 1000000	4.00	2.50	1.50
	T_{P10}	10000001 - 1250000	4.00	2.50	1.50
	T_{P11}	12500001 - 1500000	4.00	2.50	1.50
	T_{P12}	15000001 - 2000000	4.20	3.00	1.20
	T_{P13}	20000001 - 2500000	4.20	3.00	1.20
	T_{P14}	25000001 - 3000000	4.20	3.00	1.20
	T_{P15}	>30000000	4.20	3.00	1.20

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos, en base a la Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Módulo Resiliente. El método de diseño de pavimentos flexibles AASHTO 93, contempla el M_R , como parámetro para representar la capacidad de soporte de los materiales de la subrasante.

La exploración geotécnica determinó sectores en donde existían más de un suelo de fundación; debido a esto, se utilizó el concepto del CBR Compuesto que permitió conocer el CBR del terreno de fundación involucrando los valores de CBR de los diferentes estratos con sus respectivos espesores.

$$CBR_{compuesto} = \sum_{i=1}^n \frac{CBR_i * e_i^3}{e_i^3}$$

Donde:

CBR_i = CBR del suelo de fundación i.

e_i = espesor del suelo de fundación i.

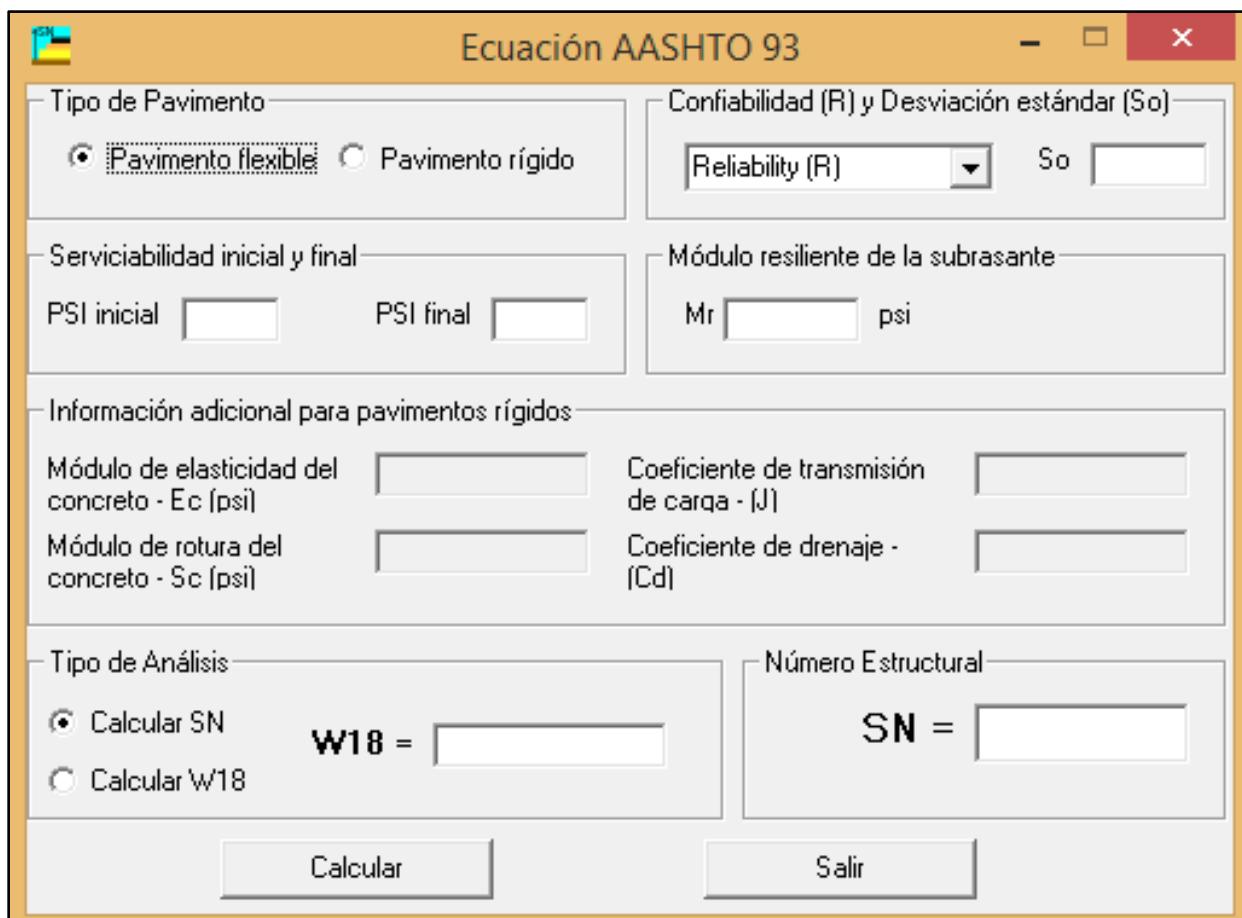
Se puede hallar el M_R mediante una fórmula empírica relacionada al ensayo de CBR. El Método AASHTO 2002 propone una fórmula de correlación del Módulo de Resiliencia con el CBR que rige para todos los casos:

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

Considerándose que los valores de los Módulos de Resiliencia obtenidos mediante la fórmula propuesta por el Método AASHTO 2002 son más afines a las propiedades de los suelos, en el presente estudio se usó esta correlación.

El SN_{req} no solo es estrictamente obtenido por la Ecuación General AASHTO 1993, de manera que también se logra conseguir ese valor por el Nomograma para Diseño de Pavimentos Flexibles propuesto por la Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993 (Ver Anexo L). Además de los dos métodos anteriores, el SN_{req} se puede hallar mediante un software llamado Ecuación AASHTO 93.

Se desarrolló esta aplicación computacional con el propósito de resolver las ecuaciones de los nomogramas de diseño de pavimentos del Método AASHTO 93 para calcular: El SN_{req} para pavimentos flexibles, el espesor de la losa de concreto hidráulico para pavimentos rígidos y el número de ejes equivalentes de 8.2t (W_{18}) que puede soportar una configuración cualquiera de los dos tipos de pavimentos mencionados. Para fines de esta investigación, se utilizó el programa para hallar el SN_{req} en un pavimento flexible. Entonces se necesitó valores de entrada como Confiabilidad, Desviación Estándar Combinada, PSI inicial y final, Módulo Resiliente de la subrasante y tráfico esperado para el período de diseño.



*Figura 11. Interfaz de software Ecuación AASHTO 93.
Fuente: Software AASHTO 93.*

Método de las Diferencias Acumuladas. Método estadístico encontrado en AASHTO 1993 apéndice J de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos, para establecer secciones homogéneas.

La metodología se basa en los siguientes procedimientos:

Se diseña una hoja de cálculo en donde la primera columna denota la abscisa del ensayo correspondiente. En este caso la abscisa se consideró la progresiva.

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$$

Siendo:

X_1 : Primera progresiva.

X_2 : Segunda progresiva.

X_3 : Tercera progresiva.

X_n : Enésima progresiva.

Para fines de esta investigación, la segunda columna muestra los Índices CBR de la subrasante desde X_1 hasta X_n . La columna se llama CBR%.

La tercera columna especifica el N° Intervalo.

Para X_1 corresponde 1.

Para X_2 corresponde 2.

Para X_3 corresponde 3.

Para X_n corresponde n.

La cuarta columna llamada Distancia Entre Intervalos mostrará la diferencia entre las progresivas de la columna 1, longitud expresada en metros.

$$\Delta X_1 = X_1 - X_2$$

$$\Delta X_2 = X_2 - X_1$$

$$\Delta X_3 = X_3 - X_2$$

$$\Delta X_n = X_{n+1} - X_n$$

La quinta columna denominada Distancia Acumulada Entre Intervalos es el cálculo del acumulado de las distancias de la columna 4.

$$\Sigma \Delta X_1 = \Delta X_1$$

$$\Sigma \Delta X_2 = \Sigma \Delta X_1 + \Delta X_2$$

$$\Sigma \Delta X_3 = \Sigma \Delta X_2 + \Delta X_3$$

$$\Sigma \Delta X_n = \Sigma \Delta X_{n-1} + \Delta X_n$$

La sexta columna se llama Intervalo Promedio y expresa la respuesta (\bar{r}) del pavimento (Índice CBR) y se comporta de la siguiente manera:

$$\bar{r}_1 = r_1$$

$$\bar{r}_2 = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

$$\bar{r}_3 = \frac{r_2 + r_3}{2}$$

$$\bar{r}_n = \frac{r_{n-1} + r_n}{2}$$

La séptima columna se llama Área del Intervalo y se expresa como se muestra a continuación:

$$A_1 = \Delta X_1 \cdot \bar{r}_1$$

$$A_2 = \Delta X_2 \cdot \bar{r}_2$$

$$A_3 = \Delta X_3 \cdot \bar{r}_3$$

$$A_n = \Delta X_n \cdot \bar{r}_n$$

La octava columna tiene por nombre Área Acumulada y se determina:

$$\Sigma A_1 = A_1$$

$$\Sigma A_2 = \Sigma A_1 + A_2$$

$$\Sigma A_3 = \Sigma A_2 + A_3$$

$$\Sigma A_n = \Sigma A_{n-1} + A_n$$

En la parte final de esta columna se evalúan 2 valores hallados previamente, con los cuales se procede a hallar el Factor de Diferencia con la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\Sigma A_n}{\Sigma \Delta X_n}$$

Donde:

F : Factor de Diferencia.

ΣA_n : Sumatoria del Área Acumulada del Intervalo.

$\Sigma \Delta X_n$: Sumatoria de la Distancia Acumulada entre Intervalo.

La novena columna se denomina Zx la cual se entiende por Diferencia Acumulada. Se halla con las siguientes expresiones:

$$Zx_1 = \Sigma A_1 - (F * \Sigma \Delta X_1)$$

$$Zx_2 = \Sigma A_2 - (F * \Sigma \Delta X_2)$$

$$Zx_3 = \Sigma A_3 - (F * \Sigma \Delta X_3)$$

$$Zx_n = \Sigma A_n - (F * \Sigma \Delta X_n)$$

Se grafica Progresiva vs. Zx donde para visualizar los sectores homogéneos. En teoría, cada vez que el gráfico cambie de pendiente, se estaría hablando de una nueva sección.

De igual manera se grafica Progresiva vs. CBR% y se observa los Índices CBR agrupados para cada sector homogéneo.

La décima y última columna se denomina “Sub-Tramos CBR Prom. %” la cual mostrará el CBR promedio (%) por sector. Esto permite la tramificación de la vía en estudio en términos de resistencia estructural.

Estudio de Tráfico. El presente estudio de tráfico tiene como meta evaluar el flujo vehicular y las características del mismo, en los diversos tramos del corredor vial conformado por la carretera Dv. Humajalso – Mazocruz – Desaguadero y carretera Tacna – Tarata – Capaso – Mazocruz en las regiones Tacna, Moquegua y Puno.

Para llevar adelante las actividades de campo se programaron 11 estaciones de conteo y clasificación vehicular, 3 estaciones de encuestas origen - destino y 3 estaciones de censo de carga, con la finalidad de determinar la mejor toma de muestras del tráfico, usos y costumbres de los usuarios de la vía.

Estación E1 - Huaytire, ubicada en el tramo Dv. Humajalso – Km 30, detectando vehículos del 20 al 26 de abril del 2016.

Estación E2 - Mazocruz 1, ubicada en el tramo Km 30 – Mazocruz al ingreso de la localidad de Mazocruz, detectando el paso de vehículos en ambos sentidos; operó del 12 al 18 de abril del 2016.

Estación E3 - Mazocruz 2, ubicada a la salida de la localidad de Mazocruz en dirección a Tarata en el tramo Capazo - Mazocruz, operó del 12 al 18 de abril del 2016.

Estación E4 - Huacullani 1, ubicada en el desvío al poblado de Huacullani, caracterizó el flujo vehicular en el tramo Mazocruz Dv. Huacullani, detectando vehículos, del 13 al 19 de abril del 2016.

Estación E5 - Huacullani 2, ubicada en el desvío al poblado de Huacullani caracterizo el flujo vehicular en el tramo de Dv. Huacullani – Desaguadero, detectó a los vehículos del 13 al 19 de abril del 2016.

Estación E6 - Desaguadero 1 se ubicó en el ingreso a la localidad de Desaguadero desde Mazocruz, detectando vehículos del 13 al 19 de abril del 2016.

Estación E7 - Desaguadero 2 ubicada en el desvío al ingreso del puente internacional con la República de Bolivia a la altura del control de SUNAT, operó del 14 al 20 de abril del 2016.

Estación E8 - Tacna, ubicada a la altura del 6+500 del tramo Tacna – Km 18 en el asentamiento humano Alta Tacna, detectando vehículos del 12 al 18 de abril del 2016.

Estación E9 - Tarata, ubicada en el ingreso a la ciudad de Tarata a la altura de la progresiva 85+980, caracterizo los vehículos que circulaban en el tramo Km 18 - Tarata, detectando vehículos del 01 al 07 de abril del 2016.

Estación E10 - Challapalca 1, ubicada antes del ingreso al caserío Challapalca desde Tarata, detectando vehículos del 02 al 08 de abril del 2016.

Estación E11 - Challapalca2, ubicada en la salida del caserío de Challapalca hacia Capazo y Mazocruz; detectando vehículos del 02 al 08 de abril del 2016.

Se muestra la ubicación de las estaciones del Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa:

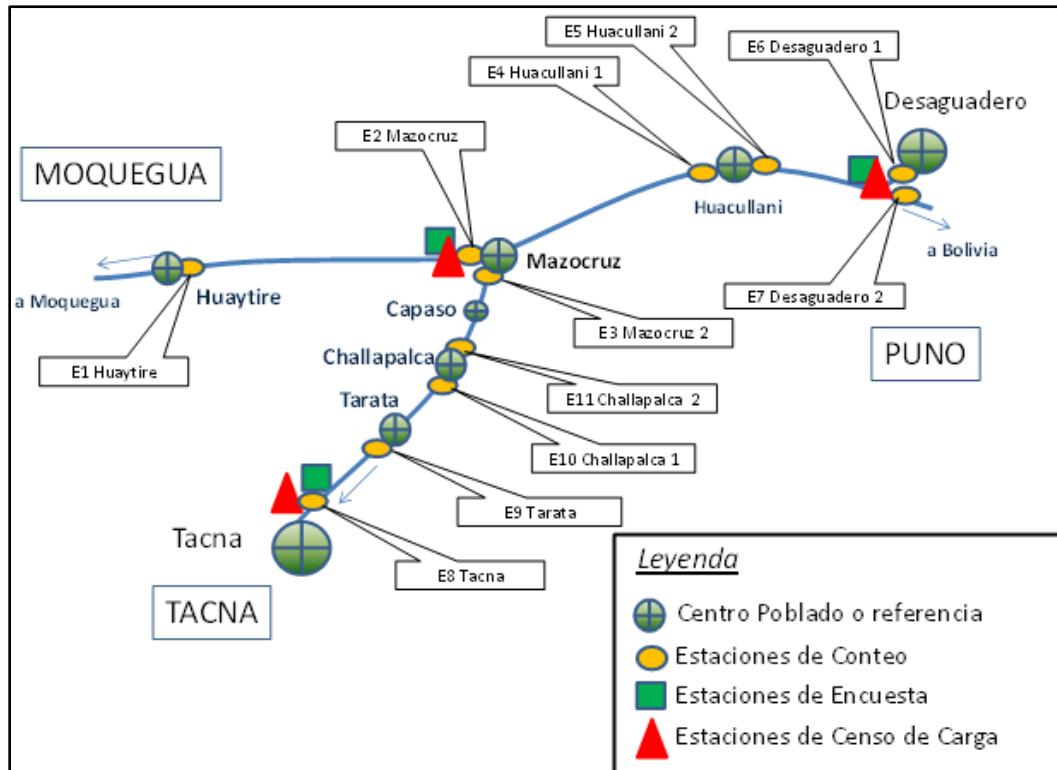


Figura 12. Diagrama de estaciones de estudio de tráfico del proyecto.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

De esta información, sólo se evaluó estaciones incidentes al tramo 1. En este caso se seleccionó 1 estación de conteo y clasificación vehicular y 1 estación de censo de carga.

A continuación, se muestran los alcances del estudio de tráfico:

- Efectuar los conteos de tráfico en ubicaciones preestablecidas, para caracterizar el flujo vehicular.
- Los conteos son volumétricos y clasificados por tipo de vehículo, se efectuaron en estaciones principales durante 7 días continuos.
- La evaluación de censo de carga se hizo durante 2 días continuos.
- Establecimiento del Índice Medio Diario Anual (IMDA) empleando el factor estacional correspondiente según el tramo vinculado a la estación de conteo correspondiente.

Ahora se muestra el diagrama de estaciones incidentes al tramo de evaluación:

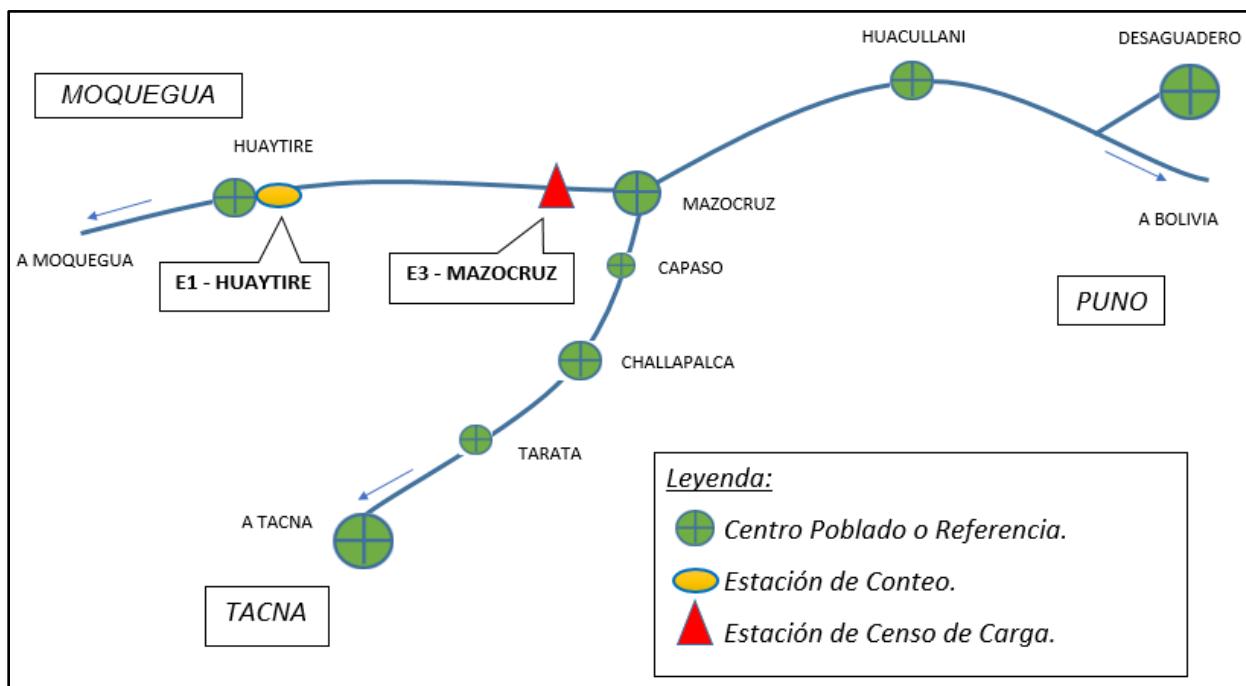


Figura 13. Diagrama de estaciones de estudio de tráfico incidentes al tramo 1 del proyecto.
Fuente: Elaboración Propia.

Como primera tarea del estudio se realizó el Conteo de Vehículos para determinar el volumen y clasificación vehicular del tramo 1 (Dv. Humajalso – Huaytire) de la Carretera Binacional. Aquí se determinó el Índice Medio Diario Semanal (IMDS), que posteriormente fue transformado por medio de un Factor de Corrección Estacional para conseguir el Índice Medio Diario Anual (IMDA). Luego, se calcularon los Ejes Equivalentes (EE) por tipo de vehículo pesado y finalmente, gracias al valor del Factor de Crecimiento Acumulado se pudo obtener como producto final del estudio el W₁₈ que son los ejes equivalentes de 8.2 t que circularon para el periodo de diseño de 6 años.

Metodología de trabajo en campo. Los métodos empleados para realizar el presente estudio de tráfico se describen a continuación:

Determinación de tramos. El tramo a evaluar es Dv. Humajalso – Huaytire (km. 30). La estación de conteo y clasificación vehicular que caracteriza el flujo vehicular en este tramo se denominó “E-1”, con la referencia para su ubicación, el ingreso a Huaytire desde Mazocruz. Se incluye también una estación de censo de carga en Mazocruz.

Conteo y clasificación. Las estaciones de conteo y clasificación vehicular se han asignado por cada tramo del estudio mientras que la estacion de censo de carga se ha ubicado en las rutas de vehículos pesados de carga y pasajeros que permite caracterizar a los vehículos de la carretera.

Tabla 8
Características de las estaciones instaladas.

Estación	Tipo	Ubicación	Cobertura
E1 - Huaytire	Conteo y Clasificación Vehicular	Huaytire	Dv. Humajalso - Huaytire (km.30)
E3 - Mazocruz	Censo de Carga	Mazocruz	Dv. Humajalso - Mazocruz

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

El conteo vehicular se realizó observando los parámetros establecidos en el Manual para Estudio de Tráfico de la Oficina General de Presupuesto y Planificación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (OPP-MTC). El método empleado fue el Método Manual, donde cada clasificador anotaba el paso de cada vehículo y por hora, llenando un formato especial. En cada locación, por el volumen de tráfico se empleó al menos un clasificador por cada sentido de tráfico. Además, las tareas de conteo se realizaron ininterrumpidamente las 24 horas del día, desde el inicio al fin en el plazo establecido en 7 días continuos. Cada ubicación elegida permitió una visibilidad adecuada y reunía los requisitos logísticos necesarios para llevar adelante esta tarea.

Para el conteo, los vehículos fueron clasificados según su tamaño y número de líneas de rotación (ejes), de acuerdo a la configuración vehicular aprobada en el Reglamento Nacional de Vehículos, Decreto Supremo N°058-2003-MTC (Ver Anexo K), así:

Buses: Buses de 2, 3 y 4 ejes (B2, B3 y B4).

C2: Camión de 2 ejes (2 ejes simples).

C3: Camión de 3 ejes (1 eje simple y 1 eje doble).

C4: Camión de 4 ejes (1 eje simple y 1 eje triple).

T2S1 (2S1): Semitrailer (3 ejes simples).

T2S2 (2S2): Semitrailer (3 ejes, 2 simples y 1 eje doble).

T2S3 (2S3): Semitrailer (3 ejes, 2 simples y 1 eje triple).

T3S2 (3S2): Semitrailer (3 ejes, 1 simples y 2 ejes dobles).

T3S3 (3S3): Semitrailer (3 ejes, 1 simple, 1 eje doble y 1 eje triple).

C3R2 (3T2): Tráiler (Camión C2 + carreta de 2 ejes simples).

C3R3 (3T3): Tráiler (Camión C2 + carreta de 2 ejes, uno simple y otro doble).

C4R2 (4T2): Tráiler (Camión C4 + carreta de 2 eje simples).

E7: Vehículos especiales con 7 ejes (doble semirremolque).

El censo de cargas y pesaje por ejes en modo dinámico se realizó durante 48 horas en dos días consecutivos, el proceso de pesaje consistió en usar un equipo de pesaje dinámico (pesaje en movimiento) con el cual se determina el peso por ejes, peso bruto vehicular y presión de inflado de neumático. El margen de error de las mediciones oscila en un +/- 5% a un promedio de velocidad no mayor de 5 km/h.

Metodología de trabajo de gabinete. Luego de concluido el trabajo en campo, se inició el desarrollo de los trabajos de gabinete.

Número de Ejes Equivalentes (W_{18}). Para el cálculo del tráfico W_{18} o Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño propuesto de la Guía AASHTO 93, encontrado en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos publicado en abril del 2014, se usará la siguiente expresión:

$$W_{18} = \Sigma(EE_i) \times Fca \times 365$$

Donde:

W_{18} : Número Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 8.2 t para el periodo de diseño.

EE_i : Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado para el carril de diseño.

Fca : Factor de Crecimiento Acumulado.

A continuación, se explican los elementos de la ecuación anterior:

Ejes Equivalentes por tipo de vehículo pesado para el carril de diseño (EEi). Resulta del Índice Medio Diario Anual para 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 ecuación:

$$EE_i = IMDA_i \times Fd \times Fc \times Fvp_i \times Fp_i$$

Siendo:

EE_i: Ejes Equivalentes por tipo de vehículo pesado

IMDA_i: Índice Medio Diario Anual para cada tipo de vehículo pesado.

Fd: Factor Direccional.

Fc: Factor Carril de Diseño.

Fvp_i: Factor Vehículo Pesado por tipo.

Fp_i: Factor Presión de Neumático por tipo de vehículo pesado.

Factor de Crecimiento Acumulado (Fca). Factor relacionado con el periodo de diseño en años (n) y la tasa anual de crecimiento del tránsito (r). Normalmente se asocia 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). Generalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%. La siguiente fórmula permite encontrar el Factor de Crecimiento Acumulado para el periodo de diseño, considerando la tasa anual de crecimiento y el periodo de análisis en años:

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

Índice Medio Diario Anual por tipo de vehículo pesado (IMDA_i). Teniendo en cuenta los registros de tránsito vehicular realizados para este estudio del miércoles 20 de abril al martes 26 de abril del 2016 para la Estación E-1 y del martes 12 de abril al 18 de abril del 2016 para la Estación E-2, se puede hallar el Índice Medio Diario Semanal para cada tipo de vehículo pesado (IMDS_i) para cada tramo en estudio con la siguiente fórmula:

$$IMDS_i = \frac{V_{DIA\ 1} + V_{DIA\ 2} + V_{DIA\ 3} + V_{DIA\ 4} + V_{DIA\ 5} + V_{DIA\ 6} + V_{DIA\ 7}}{7}$$

Siendo:

$IMDS_i$: Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos.

$V_{DIA\ 1}$: Volumen vehicular por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos en el día 1.

$V_{DIA\ 2}$: Volumen vehicular por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos en el día 2.

$V_{DIA\ 3}$: Volumen vehicular por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos en el día 3.

$V_{DIA\ 4}$: Volumen vehicular por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos en el día 4.

$V_{DIA\ 5}$: Volumen vehicular por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos en el día 5.

$V_{DIA\ 6}$: Volumen vehicular por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos en el día 6.

$V_{DIA\ 7}$: Volumen vehicular por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos en el día 7.

Para obtener el $IMDA_i$, el $IMDS_i$ se debe corregir por un Factor de Corrección Estacional.

Factor de Corrección Estacional (FC). La aplicación del Factor de Corrección tiene por objeto eliminar el factor de estacionalidad que afecta los movimientos de carga y pasajeros. El factor de estacionalidad depende de una diversidad de factores exógenos como son: las épocas de vacaciones para el caso de movimientos de pasajeros; las épocas de cosecha y los factores climáticos para el transporte de productos agropecuarios; la época navideña para la demanda de todo tipo de bienes.

La determinación de la estacionalidad del tráfico debe ser analizado con atención para definir la época en la cual se están realizando los aforos y encuestas y poder expandir o proyectar los tráficos y expresarlos en términos de un tráfico promedio diario anual (IMDA), de tal forma que se eliminen los picos altos y bajos que podrían presentarse al momento de tomar la información. Con la información de conteos recopilada en campo y las series históricas de tránsito de las estaciones de peaje ubicadas en la red de análisis, es posible caracterizar este comportamiento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

Para obtener dicho factor, se ha tomado la información obtenida de Proviñas Nacional - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (PVN- MTC), correspondiente a la estación de peaje Punta Perdida del mes de Abril (mes en el que se realizó el conteo vehicular) en el periodo 2012-2014. Los Factores de Corrección Estacional que se recogieron son:

Tabla 9

Factores de Corrección Estacional para vehículos pesados del Peaje Punta Perdida.

	Año 2012	Año 2013	Año 2014
Mes de Abril	1.084	1.083	0.965
		1.044 ^a	

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

^a Promedio de los Factores Correccionales de los años 2012,2013 y 2014.

Índice Medio Diario Anual (IMDA). Valor numérico estimado del tráfico vehicular en un determinado tramo de la red vial en un año. El IMDA es el resultado de los conteos volumétricos y clasificación vehicular en campo en una semana, y un factor de corrección que estime el comportamiento anualizado del tráfico de pasajeros y mercancías.

Finalmente, se tendría la siguiente expresión:

$$IMDA_i = IMDS_i \times FC$$

Donde:

IMDA_i: Índice Medio Diario Anual por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos.

IMDS_i: Índice Medio Diario Semanal por tipo de vehículo pesado para ambos sentidos.

FC: Factor de Corrección Estacional para vehículos pesados - Peaje Punta Perdida.

Factor Direccional (Fd). 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.

Factor Carril de Diseño (Fc). También 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.

Se muestra una tabla donde se muestran los valores de los factores de dirección y de carril:

Tabla 10

Factores de distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en el carril de diseño.

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	F. Direccional (Fd)	F. Carril (Fc)	Fd x Fc para carril de diseño
1 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 sentidos	1	0.5	1.00	0.50
2 calzadas con separador central	2 sentidos	2	0.5	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.5	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.5	0.50	0.25

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos, en base a la Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Factor Vehículo Pesado (Fvpi). Es el efecto destructivo de un vehículo pesado expresado en un número equivalente de repeticiones de ejes simples estándar de 8.2 t de peso. Factor vehículo pesado del tipo seleccionado 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 factores de carga equivalente (FCE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total del tipo de vehículo pesado seleccionado.

Para el cálculo de los FCE se utilizaron las siguientes relaciones simplificadas que resultaron de correlacionar los valores de las tablas del apéndice D de la Guía AASHTO 93, para las diferentes configuraciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y tipo de pavimento obtenidas del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos publicado en abril del 2014, las cuales son las siguientes:

Tabla 11

Relación de Factores de Carga Equivalente según configuración vehicular para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos.

Tipo de Eje	Factor de Carga Equivalente (FCE _{8.2i})
Eje Simple de ruedas simples (FCE _{S1})	$FCE_{S1} = (P/6.6)^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (FCE _{S2})	$FCE_{S2} = (P/8.2)^{4.0}$
Eje Tándem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (FCE _{TA1})	$FCE_{TA1} = (P/14.8)^{4.0}$
Eje Tándem (2 ejes de ruedas dobles) (FCE _{TA2})	$FCE_{TA2} = (P/15.1)^{4.0}$
Eje Trídem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (FCE _{TR1})	$FCE_{TR1} = (P/20.7)^{3.9}$
Eje Trídem (3 ejes de ruedas dobles) (FCE _{TR2})	$FCE_{TR2} = (P/20.7)^{3.9}$

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección: Suelos y Pavimentos, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del Apéndice D de la Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Nota: P=Peso real por eje en toneladas.

El cálculo de los FCE para cada tipo de vehículo pesado se efectuó utilizando las cargas reales por eje de los vehículos pesados encuestados en el censo de cargas.

Factor de presión de neumáticos por tipo de vehículo pesado (Fpi). Se tomó en cuenta para el cálculo de los EEi, 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. Para la determinación de los factores de presión de neumáticos se utilizaron datos que han sido obtenidos de correlacionar los valores de la Figura IV-4 EAL Adjustment Factor for Tire Pressures del Manual MS-1 del Instituto del Asfalto (valores intermedios se interpolan):

Tabla 12
Factor de ajuste por presión de neumáticos (F_p).

Espesor de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contacto del Neumático ^a (PCN)						
	$PCN = 0.90 \times [\text{Presión de Inflado del Neumático}^b] (\text{psi})$						
Rodadura (mm)	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.13	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	108	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Fuente: Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos, en base a correlaciones con la figura IV-4 EAL Adjustment Factor for The Tire Pressures del Manual MS-1 del Instituto del Asfalto.

^a Presión de Inflado del Neumático: está referido al promedio de presiones de inflado de neumático por tipo de vehículo pesado.

^b Presión de Contacto del Neumático: igual al 90% del promedio de presiones de inflado del neumático por tipo de vehículo pesado.

Determinación del Número Estructural Propuesto (SN_{prop}). Una vez calculado el número estructural requerido, el siguiente paso es identificar la combinación apropiada de capas estructurales que proporcionará la capacidad de soporte deseada. El número requerido debe ser atendido por una propuesta, la cual lleva a la obtención del Número Estructural Propuesto. Se ofrece una propuesta y si aquella satisface los requerimientos, entonces se estaría hablando de la existencia de un pavimento solución. En esta etapa de diseño intervienen 4 factores: número de capas, espesor por capa, materiales por capa, y procedimientos constructivos por capa.

En general, se utiliza el criterio de coeficientes de capa y la ecuación general para el cálculo del número estructural propuesto para un pavimento flexible típico:

$$SN_{prop} = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3$$

Donde:

a_1 : Coeficiente estructural de carpeta asfáltica (1/pulg).

a_2 : Coeficiente estructural de base granular (1/pulg).

a_3 : Coeficiente estructural de subbase granular (1/pulg).

d_1 : Espesor de carpeta asfáltica (pulg).

d_2 : Espesor de base granular (pulg).

d_3 : Espesor de subbase granular (pulg).

m_2 : Coeficiente de drenaje de base granular (adimensional).

m_3 : Coeficiente de drenaje de subbase granular (adimensional).

Coeficiente de Aporte Estructural (ai). Tal como fue definido en el Método AASHTO 1972, se trata de una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material/mezcla determinado, para servir como un componente estructural de un pavimento. Por ejemplo: 2 cm de un material con un coeficiente estructural de 0.20 (/pulg), proporcionan la misma

contribución estructural que 1cm de otro material cuyo coeficiente estructural sea de 0.40 (1/pulg). Los coeficientes de aporte estructural considerados para cada capa en el cálculo del SNprop fueron considerados de acuerdo a lo indicado en la Guía AASHTO 93, y a los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

Para un Módulo Elástico ideal del Concreto Asfáltico de 430000psi se tiene un Coeficiente de Aporte Estructural en Carpeta Asfáltica de 0.43/pulg según el Ábaco de valores de Coeficiente Estructural para mezclas de Concreto Asfáltico a partir del Módulo de Elasticidad (Ver Anexo M).

Para obtener el Coeficiente de Aporte Estructural de la base granular se debe relacionar con la escala de valores del CBR en el Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Bases Granulares no-tratadas (Ver Anexo N).

De la misma forma, para obtener el Coeficiente de Aporte Estructural de la subbase granular se debe relacionar con la escala de valores del CBR en el Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Subbases Granulares no-tratadas (Ver Anexo O).

Coeficiente de Drenaje (mi). El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son: la calidad del drenaje y exposición a la saturación (porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación).

Tabla 13
Calidad del drenaje.

Calidad del drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy Malo	El agua no evaca

Fuente: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Tabla 14

Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje m para bases y subbases granulares no tratadas en pavimentos flexibles.

Calidad del Drenaje	P=% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos 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: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Pavimento solución del Tramo 1 “Dv. Humajalso – Huaytire”.

Problemática de pavimentos flexibles ejecutados en altura. A la altitud de obra (cotas mayores a 3000msnm), las condiciones climáticas se tornan severas, principalmente a bajas temperaturas, tal como sucede en el tramo en evaluación, en las que se llega a -20°C en épocas de friaje durante las madrugadas. En un solo día se producen cambios térmicos bruscos desde -20°C (madrugada) a 15°C (medio día). Adicionalmente al tema de bajas temperaturas, se tiene el problema de mayor incidencia de radiación ultravioleta y presencia de fuertes vientos helados, condiciones que deben incluirse en el diseño, fabricación y colocación de mezclas asfálticas, a fin de que la misma pueda ofrecer una buena performance durante la vida útil de proyecto.

Con estas temperaturas, principalmente las más bajas, la carpeta asfáltica en servicio sufre un aumento significativo en su módulo de rigidez, de tal modo que ante solicitudes de carga se desarrollan flexiones en la carpeta, generando tracciones, las cuales pueden desencadenar en fracturas.

Otro de los riesgos a los que se ve sometido una carpeta en altura, tal como se mencionó, es la mayor radiación ultravioleta proveniente de los rayos solares cuya intensidad es de 4 a 5 veces mayor que la correspondiente al litoral, lo que provoca un envejecimiento prematuro de la carpeta asfáltica por su acción catalizadora sobre agentes externos que aceleran el proceso de oxidación del ligante asfáltico. La literatura señala que mediciones efectuadas a 4000msnm indican una radiación de 5.5×10^6 cal/m²/día, es decir, severa, la que en zonas de altura promueve evaporaciones de las fracciones blandas del asfalto, generando un ambiente propicio para la oxidación y envejecimiento de las estructuras asfálticas. Siendo así, la radiación solar provoca la decoloración inmediata de la superficie asfáltica, la pérdida del material fino de la mezcla (peladuras).

Por otro lado, las temperaturas bajas afectan las propiedades reológicas del asfalto, influyendo en las propiedades físicas de la mezcla, provocando, como se dijo, fisuramiento de la carpeta por contracción térmica y/o por el incremento de la rigidez con la acción combinada del tráfico pesado, condiciones todas a las que se verá sometida la carpeta asfáltica de esta obra durante el tiempo de su funcionamiento.

Las condiciones climáticas anteriormente señaladas indican la necesidad de contar con una mezcla asfáltica tibia, que garantice condiciones de resistencia y durabilidad, para lo cual es necesario conocer las características físico mecánicas de los materiales pétreos, así como las propiedades que pueda ofrecer el material bituminoso a utilizar y los refuerzos que puede otorgar un filler. Serán importantes todos los cuidados que se le otorguen a las condiciones de diseño, fabricación, colocación y compactación de la mezcla asfáltica.

Mezcla Asfáltica Tibia. Es una mezcla en la cual el agregado pétreo y el asfalto son calentados hasta una temperatura de alrededor de los 120°C, a la cual se le añade aditivo (según el tipo de tecnología) que ayude a que el asfalto recubra completamente el agregado durante la etapa de mezclado y que permita extender y compactar fácilmente la mezcla.

Uno de los problemas a cometer, es la temperatura mínima permitida para que una mezcla asfáltica en caliente pueda ser colocada en pista, siendo este de 105°C, de acuerdo a publicaciones técnicas del Instituto del Asfalto Americano y de otros organismos de investigación. Evidentemente, una mezcla a esta temperatura deberá ser compactada muy rápidamente para poder lograr las densidades deseadas en obra, y evitar agrietamientos de la capa de rodadura.

Beneficios de la Mezcla Asfáltica Tibia. Según Rodríguez, J (2014). *Análisis de Desempeño de Mezclas Asfálticas Tibias:*

Consumo de energía. La reducción del consumo de energía es el beneficio más obvio de las mezclas tibias y es discutido en la literatura como uno de los dos principales beneficios de ésta. Los estudios han demostrado que la reducción del consumo de energía de alrededor de 30% se puede lograr mediante la reducción de las temperaturas de producción en la planta de asfalto. La reducción en el consumo de energía reduce a su vez el costo de la producción de la mezcla, pero puede haber también un añadido por reducción en los costos involucrados en el uso del proceso de mezcla tibia, es decir, para los aditivos y/o equipos de modificación. Otro beneficio adicional de la reducción de las temperaturas de producción que a veces se menciona es el menor desgaste de la planta de asfalto.

Emisiones. Otra de las ventajas de la mezcla tibia es la reducción de las emisiones debido a la reducida temperatura de producción. De acuerdo a la literatura, la producción de mezcla tibia reduce significativamente las emisiones de gas carbónico y los olores, en comparación con la producción de mezclas en caliente.

Viscosidad. La funcionalidad de las tecnologías de las Mezclas Asfálticas Tibias (MAT) se basa en la reducción de la viscosidad del asfalto. La viscosidad reducida permite al agregado ser totalmente cubierto a una temperatura inferior a lo que tradicionalmente se requiere en las mezclas de producción en caliente. Debido a la viscosidad reducida, los procesos de mezcla tibia pueden funcionar como una ayuda en la compactación y algunos beneficios relacionados con este son mencionados a menudo en relación con este tipo de mezclas.

Técnicos. Producción, colocación y compactación a temperaturas más frías, lo cual genera un control de densidades más eficaz. Aumento en las distancias de transporte, dado que por la

menor temperatura de producción hay una mayor conservación de la energía de compactación de los equipos, por tanto, se requiere menos esfuerzo para obtener las densidades requeridas, en otras palabras, los menores requerimientos de temperatura para la compactación de la mezcla, agilizan el trabajo aumentando las distancias de cobertura de la mezcla asfáltica lo que se traduce en una disminución de los costos.

Comparación entre Mezclas Asfálticas Tibias y Mezcla Asfáltica en Caliente.

La Mezcla Asfáltica Tibia:

- Reduce las temperaturas de colocación y compactación en comparación con las temperaturas convencionales.
- Posee menores velocidades de enfriamiento, lo que permite distancias más largas de transporte.
- Puede colocarse en climas fríos o en las noches donde baja más la temperatura del ambiente.
- Presenta una mayor resistencia al fisuramiento por temperatura que la Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC).
- Presenta una mayor flexibilidad en la colocación y compactación que la Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC).

Reciclado en frío in situ estabilizado mecánicamente. Proceso por el cual se reutiliza los materiales que forman parte de alguna de las capas estructurales de un pavimento existente que ha estado en servicio; y denominado “en frío” por las actividades que no involucran variaciones drásticas o considerables de temperatura. Esta estabilización es generalmente empleada en pavimentos viejos o con avanzado deterioro.

Según Restrepo, H y Stephens, S (2015). *Estudio de las Ventajas Económicas del Reciclado en frío in situ de Pavimentos Asfálticos:*

El reciclaje en frío constituye un procedimiento de construcción internacionalmente reconocido desde el punto de vista ecológico, económico y técnico, pues posee, por una parte, características de rapidez en su ejecución debido al avance tecnológico de las máquinas disponibles en la actualidad y, por otro lado, contribuye significativamente en el manejo ambiental al reducir la explotación de canteras fuentes de agregados pétreos. Además, disminuye el ítem del transporte de materiales y permite conseguir un material nuevo de características muy similares al material original, es decir, aquel que se reutiliza, permitiendo también la reducción de los costos finales de mantenimiento.

Determinación del pavimento solución. Según AASHTO la ecuación del SN_{prop} no tiene una solución única, es decir hay muchas combinaciones de espesores de cada capa que dan una solución satisfactoria, pero se escogió la más eficiente para los fines del proyecto. El diseño del pavimento solución debe optimizar los criterios de dimensionamiento, es decir se debe identificar que el SN_{prop} al ser atendido por el SN_{req} no intervenga en problemas de subdimensionamiento y sobredimensionamiento.

La idea del pavimento solución surgió a raíz de que el proyecto se veía condicionado a tres situaciones relevantes:

- El proyecto obedece a un Contrato de Conservación Vial por Niveles de Servicio regido por un Sistema de Gestión Vial llamado Proyecto Perú. Este tipo de contrato transfiere el riesgo a la entidad contratista de tal manera que se asegure la transitabilidad de la vía y desafortunadamente no incluye la elaboración de costos por partidas con metrados y precios unitarios, es decir tiene restricciones presupuestales.

- El área comprometida en el proyecto se ubica en diferentes regiones, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su “Geografía del Perú”) se puede señalar que el tramo Dv. Humajalso - Huaytire se encuentra en la región Puna (4000m.s.n.m. a 4800 m.s.n.m.) donde la temperatura media anual es superior a 0°C e inferior a 15°C. y las temperaturas mínimas absolutas, entre mayo y agosto oscilan entre -9°C y -25°C. La precipitación fluctúa entre 200mm y 1000mm al año.
- Por otro lado, se contaba con una carretera con diferentes niveles de envejecimiento. Los tipos de falla correspondían a formación de bloques, piel de cocodrilo, ahuellamiento longitudinal, grietas transversales y grietas en forma de raíces. Lo que indicaba que sería inviable tratarlas superficialmente.



Figura 14. Presencia de piel de cocodrilo y ahuellamiento en pavimento existente.
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Bajo las condiciones mencionadas, se optó por la reutilización del material existente estabilizándolo mecánicamente mediante el procedimiento de reciclado en frío in situ añadiéndole una carpeta con mezcla asfáltica tibia.

A continuación, se muestra la configuración:



Figura 15. Conformación estructural del pavimento solución.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Conservación Vial Por Niveles de Servicio.

Según el Manual de Carreteras de Conservación Vial Volumen Nº1 publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el 2013 se dan a conocer los siguientes conceptos que ayudan a enmarcar y limitar la investigación:

Conservación Vial. La conservación vial consiste en un conglomerado de tareas técnicas dedicadas a mantener en forma constante y uniforme el buen estado de la infraestructura vial, de manera que se avale un servicio óptimo al usufructuario.

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 deberá 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 plurianuales este 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 oficiales.

La conservación vial puede ser de naturaleza rutinaria o periódica:

Conservación Periódica. Es el conjunto de actividades, programables cada cierto periodo, que se realizan en las vías para recuperar sus condiciones de servicio estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a: i) reposición de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello, ii) reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores

del pavimento, iii) reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje, iv) reposición o instalación de elementos de seguridad vial y señalización, v) reparación o reconstrucción puntual de la plataforma de carretera y vi) reparación o reconstrucción puntual de los componentes de los puentes tanto de la superestructura como de la subestructura y pintado general del puente.

Conservación Rutinaria. Es el conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de ser servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; así como limpieza o reparación de señales y/o elementos de seguridad, limpieza o reparación de juntas de dilatación, elementos de apoyo, pintura de elementos específicos de puentes y drenaje en la superestructura y subestructura de los puentes.

Modalidades del Contrato. La conservación vial de las carreteras o caminos públicos es básicamente una materia de responsabilidad de las entidades competentes en el sector vial, esto es: El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los Gobiernos Regionales y las Municipalidades.

Para su ejecución cada una de estas entidades en uso de su autonomía en su responsabilidad frente a las leyes y a su respectiva reglamentación nacional, pueden realizar la conservación vial bajo las siguientes modalidades, según juzguen y justifiquen adecuadamente, como 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 otros organismos públicos;
- y c) por contratos

con empresas o entidades privadas mediante licitaciones públicas de conformidad a la legislación respectiva.

En el caso de los contratos con empresas o entidades privadas, puede optarse por aplicar modalidades permitidas por las leyes, como son, 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” que tiene mucha aplicación internacional en el mundo; otros tipos de contratos de conservación que sean convenientes, tal el caso de la aplicación de modalidad establecida en el “Proyecto Perú”; y
- 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.

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 varían 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 el trabajo se realiza para cumplir los estándares admisibles y no por el volumen de trabajo ejecutado. Es obligación del ejecutor de la conservación vial tener la carretera en

perfectas condiciones los 365 días del año, en tal sentido el criterio de pago es el buen estado de las vías, de esta manera se asegura la preservación del buen estado de las vías.

Proyecto Perú. Según Cabello, S. y Limonchi, D. (2015). *Análisis e Implementación del “CCVNS” para el proyecto: Corredor Vial Huancavelica - Lircay - EMP. PE-3S (Huallapampa) Y EMP. PE-3S (La Mejorada) - Acobamba – EMP. PE-3S (Puente Alcomachay):*

En el año 2007, se crea en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones: “Proyecto Perú”, como un Programa de conservación y desarrollo de Infraestructura Vial que implementa un nuevo Sistema de Gestión Vial en el país; entendiéndose por Gestión Vial, la Construcción, Rehabilitación, Mejoramiento, Conservación, Atención de Emergencias Viales, Relevamiento de Información y Operación de la Red Vial Nacional. El Programa “Proyecto Perú” fue diseñado para poner en servicio y asegurar el funcionamiento permanente de las carreteras de alto y bajo volumen de tránsito, buscando la consolidación de “corredores económicos”, a través de la intervención en Corredores Viales que favorezcan el desarrollo sostenido y la mejora en el nivel de competitividad de las diversas poblaciones del interior del País en carreteras.

Los contratos de servicios de conservación vial que viene implementando el Ministerio de transportes y Comunicaciones (MTC) a través PROVIAS Nacional, específicamente mediante el Programa de Infraestructura Vial Proyecto Perú, se realiza en grandes Corredores Viales (entre 200 a 400 Km. de longitud), los cuales son supervisados por niveles de servicio (es decir, se paga por resultados y no por actividades ejecutadas). Ello se da así bajo una óptica de transferencia del riesgo del Estado al contratista, pues es este último quien plantea a la Institución Contratante un plan de conservación que tiene que cumplir por el tiempo que dure el contrato, debiendo ejecutar el plan propuesto. Los niveles de servicio son estándares mínimos que la vía tiene que tener y de

no cumplirse con estos estándares, se castiga en los pagos mensuales que se realizan a los contratistas, siendo las evaluaciones de forma mensual y aleatoria.

Objetivos e hipótesis

Objetivos. Los objetivos se dividieron en general y específicos, como se muestra a continuación:

Objetivo general.

- Evaluar los impactos que influirían en el diseño estructural del pavimento y costo directo del diseño del pavimento debido a una inexistente corrección de las Curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio en el terreno de fundación vial del Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa tramo Dv. Humajalso - Huaytire.

Objetivos específicos.

- Realizar el diseño de pavimentos para el Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa tramo Dv. Humajalso - Huaytire con la Metodología AASHTO 1993 en dos situaciones particulares: CBR del terreno de fundación vial con corrección y CBR del terreno de fundación vial sin corrección. En ambas proponiendo reciclar un RAP+ parte de la base granular existente, subyaciendo a una mezcla asfáltica que resultó siendo necesaria en tibio.
- Efectuar el presupuesto de obra relacionado al diseño del pavimento para el Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa tramo Dv. Humajalso - Huaytire con el software S10 en dos situaciones particulares: CBR del terreno de fundación vial con corrección y CBR del terreno de fundación vial sin corrección.

Hipótesis

Las siguientes hipótesis de investigación de tipo correlativas son:

- H_1 : Se evidenciará una diferencia significativa de capacidad de soporte (Índice CBR) en el diseño estructural del pavimento sin corrección al no hacer la corrección de las Curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio en el terreno de fundación vial para el tramo Dv. Humajalso - Huaytire.
- H_2 : El presupuesto de obra estrechamente relacionado al costo directo del diseño del pavimento disminuirá convenientemente en términos económicos (nuevos soles) si se corrige las curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio en el terreno de fundación vial para el tramo Dv. Humajalso - Huaytire.

Método

Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación.

Se puede afirmar que el presente estudio emplea un análisis cuantitativo ya que genera datos o información numérica que puede ser convertida en números, elabora el diseño y los instrumentos de la investigación y recolecta los datos numéricos de los objetos, fenómenos o sujetos, los mismos que se estudian y analizan mediante procedimientos estadísticos.

Según el nivel de complejidad se considera una investigación de alcance correlacional. Este tipo de estudio tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones solo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables.

Diseño de investigación.

Un diseño de investigación puede ser clasificado como experimental y no experimental. A su vez la primera puede dividirse de acuerdo con las clásicas categorías de Campbell & Stanley en: pre experimentos, experimentos “puros” y cuasi experimentos. Asimismo, la investigación no experimental la subdividimos en diseños transversales y longitudinales. Conforme a lo planteado, este estudio corresponde a un diseño de investigación cuasi experimental.

Estos diseños manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, solo que difieren de los experimentos “puros” en el grado de seguridad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos. Se define este diseño cuasi experimental como un plan de trabajo con el que se pretende estudiar el impacto del tratamiento y/o proceso de cambio (Corrección de las Curvas Carga-Penetración

del terreno de fundación vial del Ensayo CBR de laboratorio), en situaciones donde los sujetos o unidades de observación (subrasantes de los tramos Dv. Humajalso-Huaytire) no han sido asignados de acuerdo con un criterio, es decir, no se escogen al azar ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están conformados antes del experimento: son grupos intactos (la razón por la que surgen y la manera como se integraron es independiente o aparte del experimento).

Variables

Tabla 15

Definición conceptual y operacional de las variables.

Variable	Tipo	Definición	
		Conceptual	Operacional
Corrección de las curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio	Independiente	Modificación de las curvas de las gráficas Carga-Penetración, específicamente en la capa subrasante del Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa tramo Dv. Humajalso - Huaytire.	Norma Americana ASTM D1883-16, que regula 2 tipos de correcciones según su naturaleza: Naturaleza estadística (Corrección puntos Carga-Penetración) y Naturaleza física (Corrección por Concavidad Hacia Arriba y Corrección por Irregularidades Superficiales). El primer tipo de corrección es realizado mediante la Regresión Polinomial y el segundo a través del método de la tangente.
Diseño estructural del pavimento	Dependiente	Confección de las capas apoyadas sobre el terreno de fundación vial que soportarán las cargas dinámicas producto del paso vehicular.	La filosofía de diseño para pavimentos flexibles de la Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.
Costos directos de la construcción del pavimento	Dependiente	Gastos que están directamente relacionados con la obra de construcción, en este caso, la confección del pavimento solución.	Software S10 Costos y Presupuestos.

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra

El Corredor Vial Dv. Humajalso - Pte. Internacional comprende lo que hoy en día es la llamada Carretera Binacional (Perú – Bolivia).



Figura 16. Trazo del Corredor del Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa.
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Dicha carretera contiene los siguientes tramos:

Tabla 16
Tramificación de la Carretera Binacional.

Tramo	Ruta	Inicio	Km	Fin	Km	Long. (km.)	Región
1	PE-36A	Dv. Humajalso	0+000	Huaytire	30+000	30	Moquegua - Tacna
2	PE-36A	Huaytire	30+000	Mazocruz	99+000	69	Moquegua - Puno
3	PE-36A	Mazocruz	99+000	Desaguadero	189+000	90	Puno
4	S/N	Desaguadero	189+000	Lomo de Toro	194+000	5	Puno

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

El primer tramo (Dv Humajalso – Huaytire) de la Carretera Binacional fue considerado como la población en estudio, por consecuencia la muestra fue el terreno de fundación de dicho tramo. Es así que la exploración geotécnica se hizo únicamente en el tramo mencionado. Al momento de extraer el material se colocó inmediatamente en costales, los cuales mantuvieron la humedad de campo, que posteriormente fue evaluada en laboratorio.

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2018) clasifica a las carreteras según demanda y condiciones orográficas; el tramo de la carretera en estudio pertenece a una carretera de tercera clase y de terreno ondulado respectivamente.

Instrumentos de investigación

La herramienta utilizada por el investigador para recolectar información de la muestra seleccionada y lograr resolver el problema de investigación fue el ensayo. Los ensayos de suelos, normados por ASTM, ASSHTO y MTC son de gran nivel de confianza y validez para sustentar un proyecto de esta envergadura. A continuación, se muestran los instrumentos que se usaron:

Tabla 17

Registro de Instrumentos de Investigación.

Nombre del ensayo	Uso	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Muestra	Propósito
Análisis Granulométrico por Tamizado	Clasificación	E-107 E-204	D-422	T-27 T-88	5.00kg.	Para determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo.
Contenido de humedad	Clasificación	E-108	D-2216	T-86	2.50kg.	Determina el contenido de humedad del suelo.
Límite Líquido	Clasificación	E-110	D-423	T-89	2.50kg.	Hallar el contenido de agua entre los estados líquido y plástico.
Límite Plástico	Clasificación	E-111	D-424	T-90	2.50kg.	Hallar el contenido de agua entre los estados plásticos y semisólido.
Índice de Plasticidad	Clasificación	-	-	-	2.50kg.	Hallar el rango de contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico.
Compactación Proctor Modificado	Diseño de espesores de pavimento	E-115	D-1557	T-180	45kg.	Determina la relación entre el contenido de agua y peso unitario de los suelos (Curva de compactación)
CBR	Diseño de espesores de pavimento	E-132	D-1883	T-193	45kg.	Determinar la capacidad de carga. Permite inferir el módulo resiliente a través de correlaciones con el Índice CBR.

Fuente: Elaboración Propia.

Procedimientos de recolección de datos

El levantamiento de información para este proyecto se ejecutó en la propia Carretera Binacional, específicamente en la subrasante a lo largo del primer tramo que comprende 30km de longitud. Se alquilaron dos retroexcavadoras con sus respectivos operadores, las cuales extrajeron el material desde Dv. Humajalso hasta Mazocruz (punto medio del trazo de la carretera Binacional), donde se localizó el Laboratorio de Suelos y Pavimentos. Asimismo, cada retroexcavadora estuvo acompañada de una camioneta 4x4 con tolva para el recojo del material a lo largo del área de extracción. Dentro del vehículo, viajó un Ing. Especialista en Suelos y Pavimentos, un Técnico de Laboratorio y chofer.

Criterios de extracción de las muestras recogidas:

- Limitación de la zona de trabajo.
- Que los equipos estén en buenas condiciones operacionales, que no ofrezcan riesgos al operador, ni a las instalaciones, ni a los empleados, ni al público.
- Está prohibido la permanencia de personas dentro de la excavación durante la operación de la máquina.
- Se recomienda marcar el ángulo de giro de la retroexcavadora.
- Según su forma de obtención, se trata de muestras alteradas porque conservan sólo algunas de las propiedades del terreno en su estado natural.
- La excavación en las partes inferiores de los taludes está prohibida, debido al gran riesgo de desmoronamiento.
- Uso de palas para introducir el material dentro de los costales.
- Se consideró recolectar el material en un periodo establecido por la mañana, de 7:00am a 3:00pm, ya que solía haber precipitaciones en la tarde.

- Cada costal llevó identificación de la progresiva y margen de extracción, fecha y hora de marcado con plumón indeleble negro.
- Los elementos del Equipo de Protección Personal (EPP) a utilizar en la exploración geotécnica fueron cascos, chaleco, lentes de protección y zapatos punta de acero.

Se trabajó un 90% de las muestras recogidas en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos ubicado en Mazocruz, Provincia de El Collao, Departamento de Puno. El resto fue enviado mediante un camión de carga desde Juliaca a Lima, exactamente al Laboratorio de Estudios Avanzados de Ingeniería Civil (LEACIV) de la Universidad San Ignacio de Loyola (USIL) ubicado en Av. Manuel Valle, Sección B Parcela 1, S/N Fnd. La Carolina, Pachacamac.

Plan de análisis

Ya en laboratorio, se cuarteó el suelo para generar una muestra representativa. Luego, se dividió el material en diferentes pesos para que sigan diferentes ramas de ensayos como Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D-422), Contenido de humedad (ASTM D-2216), Determinación de límite líquido (ASTM D-423), Determinación del límite plástico (ASTM D-424), Proctor Modificado (ASTM D-1557) y CBR de Laboratorio (ASTM D-1883). Cada ensayo a realizar tuvo un formato donde se pudo anotar los datos que se fueron obteniendo. Estos datos en papel fueron trasladados a un programa computacional, el cual permitió ordenarlos, codificarlos y corregirlos para la interpretación de los mismos.

Para poder escoger un CBR que represente de mejor manera la capa subrasante se utilizó el Método de las Diferencias Acumuladas sugerido por AASHTO 1993 en el Anexo J, el cual permitió tramificar por sectores homogéneos del mismo CBR a la carretera en estudio.

Posteriormente, con los CBR promedio del pavimento existente transformados a Módulo Resiliente se procedió a diseñar el pavimento solución para dos tipos de situaciones particulares: CBR del terreno de fundación con corrección y CBR del terreno de fundación sin corrección. Finalmente, se dieron a conocer los impactos debido a una existencia o no del proceso de corrección de las curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio gracias al análisis de programas especializados como AASHTO93 y S10.

Resultados

Presentación de resultados

Exploración geotécnica

Según la Norma MTC E 101 “Muestreo de Suelos y Rocas” se afirma que la profundidad de calicatas o perforaciones para carreteras, aeropuertos, o áreas de estacionamiento, deberá ser al menos de 1.5m (5 pies) por debajo del nivel proyectado para la subrasante, pero circunstancias especiales pueden aumentar o disminuir esa profundidad.

Los Ensayos de Clasificación de Suelos se realizaron mediante calicatas cada 500m mientras que los Ensayos Proctor Modificado y CBR de Laboratorio fueron cada 1000m a lo largo del tramo 1 de la Carretera Binacional.

Cada calicata fue identificada mediante “C-(números consecutivos)” desde la C-1 a la C-60 (60 calicatas) con sus respectivas progresivas y lados de intervención. En este tramo, las calicatas consecutivas impares comprendían únicamente Ensayos de Clasificación de Suelos (Granulometría por Tamizado, Humedad Natural y Límites de Consistencia) mas no Proctor Modificado y CBR de Laboratorio que eran propios de las calicatas consecutivas pares. Se asignó a las muestras de suelo de capas de base granular, subbase granular y subrasante las nomenclaturas M-1, M-2 y M-3 respectivamente. En vista que se encontró en su mayoría, dos tipos de suelo en el terreno de fundación se consideró este último como M-4.

Registro de Calicatas. A continuación, se muestra la ubicación de inspección de las excavaciones pertenecientes al primer tramo en evaluación.

Tabla 18
Identificación de calicatas.

CALICATA	KM	LADO	MUESTRA	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)	
					DE:	A:
C-1	116+000	I	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-2	116+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-3	117+000	D	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-4	117+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-5	118+000	I	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-6	118+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.875
			4	FUNDACION 2	0.875	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-7	119+000	D	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-8	119+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-9	120+000	I	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-10	120+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.675
			4	FUNDACION 2	0.675	1.500

CALICATA	KM	LADO	MUESTRA	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)	
					DE:	A:
C-11	121+000	D	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-12	121+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-13	122+000	I	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-14	122+500	E	3	FUNDACION 1	0.375	0.675
			4	FUNDACION 2	0.675	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-15	123+000	D	3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
C-16	123+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-17	124+000	I	3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
C-18	124+500	E	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
C-19	125+000	D	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-20	125+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500

CALICATA	KM	LADO	MUESTRA	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)	
					DE:	A:
C-21	126+000	I	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-22	126+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.675
			4	FUNDACION 2	0.675	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-23	127+000	D	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-24	127+500	E	3	FUNDACION 1	0.375	0.675
			4	FUNDACION 2	0.675	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-25	128+000	I	3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
C-26	128+500	E	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.675
			4	FUNDACION 2	0.675	1.500
C-27	129+000	D	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-28	129+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-29	130+000	I	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-30	130+500	E	3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500

CALICATA	KM	LADO	MUESTRA	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)	
					DE:	A:
C-31	131+000	D	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-32	131+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-33	132+000	I	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-34	132+500	E	3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-35	133+000	D	3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
C-36	133+500	E	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.675
			4	FUNDACION 2	0.675	1.500
C-37	134+000	I	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-38	134+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-39	135+000	D	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-40	135+500	E	3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500

CALICATA	KM	LADO	MUESTRA	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)	
					DE:	A:
C-41	136+000	I	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-42	136+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-43	137+000	D	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-44	137+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-45	138+000	I	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-46	138+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-47	139+000	D	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-48	139+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.675
			4	FUNDACION 2	0.675	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-49	140+000	I	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-50	140+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	0.675
			4	FUNDACION 2	0.675	1.500

CALICATA	KM	LADO	MUESTRA	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD (m)	
					DE:	A:
C-51	141+000	D	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-52	141+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-53	142+000	I	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.675
C-54	142+500	E	3	FUNDACION 1	0.675	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
C-55	143+000	D	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-56	143+500	E	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-57	144+000	I	3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
C-58	144+500	E	1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
C-59	145+000	D	2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
			3	FUNDACION 1	0.375	1.500
			1	BASE GRANULAR	0.075	0.225
			2	SUBBASE GRANULAR	0.225	0.375
C-60	145+500	E	3	FUNDACION 1	0.375	0.575
			4	FUNDACION 2	0.575	1.500

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayos de Clasificación de Suelos. Incluyen ensayos de Granulometría por Tamizado y Límites de Consistencia. Realizados a todas las muestras del pavimento existente.

Tabla 19

Resultados de Ensayos de Clasificación de Suelos.

		GRANULOMETRIA POR TAMIZADO												LIMITES DE ATTERBERG (%)		CLASIFICACION			
		% QUE PASA																	
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO
	M-1	100.0	99.0	90.8	83.7	75.2	68.5	52.2	39.9	30.2	22.7	19.2	12.8	9.6	13	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-1	M-2	100.0	98.9	98.0	95.8	87.9	80.7	63.5	48.6	38.3	30.8	26.8	20.1	16.8	14	13	1	SM	A-1-b(0)
	M-3	100.0	98.7	95.8	92.8	86.3	80.9	64.4	51.8	39.8	31.9	28.1	20.3	15.6	18	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	99.1	93.7	88.2	77.5	70.6	54.9	42.1	33.5	25.9	21.8	14.3	10.6	17	NP	NP	GM	A-1-a(0)
C-2	M-2	100.0	99.0	97.4	94.5	87.2	80.7	61.9	47.5	36.2	28.5	24.7	17.6	13.9	17	NP	NP	SM	A-1-a(0)
	M-3	97.6	95.8	92.4	89.6	84.6	80.6	71.1	61.9	55.5	49.6	46.1	39.8	35.9	17	NP	NP	SM	A-4(0)
	M-4	100.0	99.2	96.6	95.7	92.7	90.6	82.1	71.9	60.8	51.1	45.9	35.1	28.1	20	17	3	SM	A-2-4(0)
	M-1	100.0	100.0	95.8	91.0	83.0	76.7	63.0	46.2	35.4	27.3	22.9	14.3	9.8	18	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)
C-3	M-2	100.0	100.0	93.9	86.2	75.7	68.4	51.6	38.9	30.6	23.5	19.7	12.9	9.7	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-3	92.0	91.1	88.4	86.0	81.4	77.6	68.6	59.8	53.0	47.4	44.1	38.4	35.1	19	NP	NP	SM	A-4(0)
	M-1	100.0	99.0	95.6	90.6	78.3	70.3	52.0	38.5	29.6	23.4	20.3	14.7	11.8	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-4	M-2	100.0	100.0	96.9	92.6	83.7	77.8	60.3	46.0	36.4	29.1	25.1	18.1	14.6	15	NP	NP	SM	A-1-a(0)
	M-3	92.2	91.3	85.5	73.8	70.7	64.5	55.5	49.8	43.4	38.5	36.2	30.7	27.5	19	NP	NP	GM	A-2-4(0)
	M-4	91.5	89.2	80.6	76.5	69.4	65.3	52.9	39.7	29.4	22.7	19.5	13.6	10.4	18	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	97.7	86.3	77.8	66.0	59.8	45.0	33.2	25.3	19.6	16.8	11.7	8.8	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-5	M-2	100.0	100.0	95.3	89.5	80.2	72.1	53.3	39.8	29.5	22.9	19.7	14.0	11.1	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	97.1	95.2	92.3	89.1	86.3	75.4	59.9	46.1	38.7	35.3	28.4	23.8	26	22	4	SM-SC	A-1-b(0)
	M-1	100.0	98.1	92.8	89.5	80.1	73.3	55.9	41.3	31.0	23.8	20.6	14.6	11.6	16	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)
C-6	M-2	100.0	97.4	94.0	91.2	82.3	75.2	56.4	41.5	32.0	25.7	22.2	16.4	13.6	15	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	99.1	97.6	93.9	90.0	73.0	53.0	40.3	28.6	26.6	23.4	20.9	20	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-4	94.3	92.5	89.8	89.1	84.7	80.9	69.8	58.4	48.9	40.3	35.1	24.3	18.6	16	NP	NP	SM	A-1-b(0)

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO																LIMITES DE ATTERBERG (%)			CLASIFICACION	
		% QUE PASA																		
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°50	N°100	N°200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
	M-1	100.0	100.0	93.3	86.1	77.0	70.5	53.7	41.0	32.5	25.0	21.2	14.3	11.0	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
C-7	M-2	100.0	100.0	94.7	91.3	82.9	75.9	56.7	42.2	32.2	24.8	21.1	14.7	11.6	16	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)	
	M-3	100.0	100.0	97.9	96.4	91.7	87.9	77.0	61.7	46.8	37.3	33.0	24.0	18.0	20	NP	NP	SM	A-1-b(0)	
	M-1	100.0	100.0	93.0	87.2	76.0	71.2	54.4	42.1	33.2	25.1	22.3	15.2	11.8	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-2	100.0	100.0	94.0	90.2	83.2	74.1	55.1	43.4	33.0	25.2	22.1	14.7	12.4	21	NP	NP	GM	A-1-a(0)	
C-8	M-3	100.0	100.0	97.9	96.3	90.6	85.9	69.6	54.9	38.7	30.5	27.1	20.0	15.2	19	NP	NP	SM	A-1-b(0)	
	M-4	100.0	100.0	91.4	89.5	83.0	78.6	64.9	49.9	36.0	28.3	24.9	18.0	13.2	22	NP	NP	SM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	100.0	94.8	89.5	78.1	71.5	53.5	41.3	32.2	25.1	21.5	14.8	11.5	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
	C-9	M-2	100.0	100.0	96.1	93.2	81.8	74.1	54.8	44.2	38.1	31.0	27.0	18.2	14.2	15	NP	NP	GM	A-1-b(0)
	M-3	100.0	100.0	100.0	98.3	95.1	93.2	80.5	61.7	36.8	25.5	22.1	14.2	9.6	15	NP	NP	SP-SM	A-1-b(0)	
C-10	M-1	100.0	99.2	92.1	84.0	73.8	66.3	48.3	37.8	29.7	23.0	19.7	13.5	9.9	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
	M-2	100.0	100.0	96.8	92.7	82.4	74.7	55.0	45.9	37.7	30.6	26.9	19.7	15.9	17	NP	NP	GM	A-1-b(0)	
	M-3	100.0	97.7	93.0	88.2	81.4	76.5	63.9	56.5	50.2	44.2	40.5	36.9	30.5	30	27	3	GM	A-2-4(0)	
	M-4	100.0	96.3	89.9	85.8	78.6	73.8	60.1	50.5	42.5	35.7	32.5	24.6	19.6	29	26	3	SM	A-1-b(0)	
	M-1	100.0	98.2	91.2	83.0	72.1	66.0	49.0	36.8	28.2	22.1	19.2	14.0	9.8	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
C-11	M-2	100.0	100.0	97.2	92.1	81.8	75.1	54.1	46.1	36.0	31.2	26.1	19.3	15.5	18	NP	NP	GM	A-1-b(0)	
	M-3	90.7	90.0	79.2	73.4	64.4	59.5	48.9	41.2	33.3	27.2	24.3	18.2	14.4	25	24	1	GM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	99.0	92.1	89.7	80.8	73.4	55.5	42.7	32.6	25.0	21.3	14.8	11.5	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-2	100.0	98.3	91.5	86.6	79.0	73.2	55.3	42.9	34.1	27.7	24.4	18.3	15.4	18	17	1	GM	A-1-b(0)	
C-12	M-3	95.5	92.1	90.5	88.8	83.3	78.1	62.3	51.0	39.2	29.7	25.4	17.9	14.0	30	26	4	SM-SC	A-1-b(0)	
	M-4	100.0	100.0	100.0	97.7	85.4	72.3	52.0	43.9	35.9	31.7	29.9	26.0	21.6	30	28	2	GM	A-1-b(0)	

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO															LIMITES DE ATTERBERG (%)			CLASIFICACION	
		% QUE PASA																	
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO
	M-1	100.0	100.0	95.2	88.0	76.1	71.0	53.0	41.2	32.1	24.4	19.0	13.1	8.6	16	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
C-13	M-2	100.0	100.0	97.2	93.1	81.8	73.2	55.2	39.2	28.3	21.4	19.1	13.1	11.2	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	93.6	87.8	83.5	76.4	70.7	54.3	43.3	33.1	27.4	25.1	20.7	12.2	30	29	1	GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	96.0	88.9	77.0	70.3	52.5	40.6	31.5	23.4	19.3	12.0	8.4	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-14	M-2	100.0	100.0	98.1	92.6	82.8	74.0	54.4	39.1	29.7	22.7	18.9	12.7	10.2	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-3	93.1	85.6	80.5	76.7	67.8	61.2	47.3	38.6	31.3	25.6	22.5	15.7	11.7	22	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-4	100.0	98.0	92.6	90.0	82.9	78.6	70.0	64.5	55.8	46.4	41.0	26.6	18.2	24	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	97.1	87.1	78.2	71.2	53.3	41.2	32.1	23.2	19.1	12.4	8.8	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
C-15	M-2	100.0	100.0	97.8	91.2	81.2	75.1	53.0	40.1	30.2	23.2	19.1	13.2	10.8	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-3	90.9	81.6	72.4	65.2	57.5	52.9	43.7	36.8	30.6	25.9	23.8	19.8	17.2	20	NP	NP	GM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	94.3	88.5	78.2	69.9	50.7	39.3	30.5	23.8	20.3	13.9	10.4	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-16	M-2	100.0	98.4	94.7	88.6	77.3	68.6	47.3	36.4	23.6	17.7	14.8	9.6	7.1	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-3	74.9	60.0	48.7	48.0	39.3	35.0	24.9	19.8	16.2	13.8	12.7	10.7	9.3	22	19	3	GP-GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	96.2	91.2	82.1	74.1	55.1	41.8	33.4	26.1	20.2	15.1	9.0	14	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)
C-17	M-2	100.0	100.0	95.0	90.2	81.2	71.3	51.8	41.4	32.2	23.1	19.1	14.1	11.2	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-3	94.4	89.3	81.2	75.2	63.4	56.4	40.1	32.2	25.9	21.1	18.4	13.0	10.3	19	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	92.6	85.8	73.1	61.1	44.4	33.6	25.7	20.0	17.1	12.0	8.9	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-18	M-2	100.0	98.8	95.8	91.9	80.7	72.4	51.1	39.4	30.1	23.1	19.7	13.9	10.7	17	14	3	GW-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	96.2	93.4	89.9	83.6	79.8	67.6	56.9	44.6	36.5	33.4	28.0	24.3	34	21	13	SC	A-2-6(1)
	M-4	93.7	86.4	78.3	73.3	65.4	61.0	50.3	42.3	33.1	26.6	23.8	19.5	17.1	36	25	11	GC	A-2-6(0)

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO															LIMITES DE ATTERBERG (%)			CLASIFICACION	
		% QUE PASA																	
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO
	M-1	100.0	100.0	95.2	90.2	80.4	72.1	52.8	42.1	32.4	26.2	21.6	14.1	8.2	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-19	M-2	100.0	100.0	97.1	93.2	83.0	74.2	51.8	42.1	30.8	22.1	17.2	14.0	10.1	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	89.8	84.7	81.5	75.4	70.7	58.3	48.5	38.2	30.8	27.4	20.5	16.4	19	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	92.1	84.2	83.0	76.2	57.4	44.7	34.7	26.5	22.4	14.6	10.4	13	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
C-20	M-2	100.0	100.0	95.7	92.1	82.6	74.1	53.3	42.7	32.3	24.3	20.3	13.1	9.5	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-3	93.6	87.0	84.1	81.5	75.8	70.2	56.1	49.5	41.2	33.8	30.5	24.2	19.4	28	24	4	GM-GC	A-1-b(0)
	M-4	ROCA FRACTURADA																	
	M-1	100.0	100.0	97.1	93.2	84.2	73.8	51.2	44.2	33.7	23.1	18.1	13.6	8.1	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
C-21	M-2	100.0	100.0	96.1	91.5	81.6	72.1	50.8	41.2	31.6	24.1	19.2	15.1	11.3	18	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	94.5	92.8	90.6	86.0	82.9	73.3	62.8	46.0	32.2	27.1	19.5	15.5	38	34	4	SM-SC	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	92.3	86.1	73.5	65.6	49.4	38.8	29.2	21.6	17.6	9.9	6.0	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-22	M-2	100.0	96.3	91.3	83.0	74.0	65.3	51.9	40.2	30.3	23.2	19.6	13.3	10.0	15	14	1	GP-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	95.1	89.8	88.5	86.2	83.4	72.0	62.6	52.8	45.0	41.1	38.6	31.3	35	21	14	SC	A-2-6(1)
	M-4	78.3	67.6	57.8	53.9	47.6	43.5	33.4	26.4	20.0	15.8	13.9	9.8	7.0	23	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	95.1	89.1	80.2	71.1	52.2	41.2	31.8	22.2	17.1	12.4	8.4	18	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
C-23	M-2	100.0	100.0	97.1	93.1	82.1	73.3	54.1	44.2	32.6	25.1	20.4	16.2	12.1	20	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	84.5	72.1	50.2	39.2	31.2	26.6	17.7	14.0	10.6	8.2	7.1	5.1	4.1	23	NP	NP	GP	A-1-a(0)
	M-1	100.0	98.9	93.0	84.2	71.1	64.3	47.0	35.3	26.8	19.0	15.4	9.3	6.5	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-24	M-2	100.0	100.0	97.2	93.1	81.7	73.9	52.9	40.7	31.1	23.8	20.2	13.8	10.9	14	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	97.1	91.0	88.6	84.4	80.7	67.6	55.6	44.1	35.0	30.9	22.6	15.7	19	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-4	94.9	91.1	87.0	84.2	77.3	72.0	57.4	45.7	35.2	27.8	24.6	18.5	14.4	14	NP	NP	SM	A-1-a(0)

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO															LIMITES DE ATTERBERG (%)			CLASIFICACION	
		% QUE PASA																	
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO
	M-1	100.0	100.0	96.8	89.8	81.2	74.2	55.4	44.2	33.6	24.7	19.1	13.2	9.4	14	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
C-25	M-2	100.0	100.0	98.1	94.2	85.2	74.2	56.1	45.2	34.7	24.2	19.2	15.1	10.4	18	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	97.2	94.3	92.5	89.3	85.7	84.0	71.3	58.2	45.7	39.7	27.0	19.0	32	28	4	SM-SC	A-1-b(0)
	M-1	100.0	98.3	94.7	89.3	79.2	71.8	52.0	40.6	30.8	23.6	19.5	12.5	9.3	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-26	M-2	100.0	98.5	94.5	92.3	83.9	76.6	55.7	44.9	36.0	28.6	24.9	17.8	14.0	17	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	95.5	92.0	86.8	79.3	74.3	60.2	50.9	42.3	35.4	32.0	23.8	18.3	21	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-4	82.1	79.4	76.2	74.4	69.0	65.1	53.1	39.1	32.5	28.1	25.8	20.2	15.9	18	NP	NP	GM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	97.1	89.6	82.1	73.3	55.2	44.1	32.2	23.1	19.2	14.1	9.2	15	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
C-27	M-2	100.0	100.0	97.7	93.2	84.5	72.1	52.1	43.3	32.2	23.1	18.1	15.0	10.2	18	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	100.0	98.1	95.8	93.3	83.1	72.2	55.4	38.8	32.1	18.4	10.9	15	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	96.4	92.2	82.9	76.2	56.9	42.8	33.3	26.1	22.3	15.5	12.5	13	NP	NP	SM	A-1-a(0)
C-28	M-2	100.0	100.0	97.0	96.5	89.3	82.2	62.3	50.0	39.0	29.5	25.0	16.6	12.5	14	NP	NP	SM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	100.0	98.1	94.4	90.9	79.4	67.3	51.0	37.0	31.8	21.4	15.0	18	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-4	100.0	100.0	100.0	100.0	98.1	95.2	82.7	66.3	46.6	31.0	26.5	18.1	12.9	21	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	96.1	92.1	83.1	75.2	55.8	43.2	34.1	25.1	22.4	15.8	12.2	17	NP	NP	GM	A-1-a(0)
C-29	M-2	100.0	100.0	96.5	95.2	88.1	83.1	61.2	48.1	36.4	28.1	24.4	16.5	12.8	18	NP	NP	SM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	91.5	86.4	83.1	76.3	72.0	59.4	51.1	41.3	29.6	23.8	12.6	7.6	19	NP	NP	SP-SM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	96.3	86.0	80.8	70.5	62.5	44.9	33.7	25.7	19.5	16.4	10.5	7.3	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
C-30	M-2	100.0	98.7	96.3	93.1	85.1	78.4	59.2	45.0	34.9	27.6	23.7	16.7	13.5	18	NP	NP	SM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	94.7	92.0	86.2	82.4	72.6	61.6	48.9	35.4	28.2	15.4	9.8	16	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
	M-4	77.2	68.7	63.0	60.5	57.2	55.2	48.8	41.3	33.7	27.0	23.4	16.1	11.9	18	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO																LIMITES DE ATTERBERG (%)		CLASIFICACION	
		% QUE PASA																	
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO
	M-1	100.0	100.0	97.0	92.1	83.0	75.2	55.2	43.1	32.8	27.1	23.1	16.1	11.8	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-31	M-2	100.0	98.5	96.1	92.1	84.4	77.6	58.1	44.2	33.4	27.6	22.8	16.0	13.6	18	NP	NP	SM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	100.0	98.6	96.4	95.1	92.1	81.1	67.5	52.3	44.1	26.8	18.2	16	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	93.1	87.2	76.4	69.3	52.9	38.6	29.8	22.9	19.2	12.0	8.7	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-32	M-2	100.0	93.4	91.1	88.3	80.3	74.1	55.4	42.8	33.1	25.8	22.1	15.6	12.8	17	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	91.9	86.9	86.3	81.8	79.6	73.2	65.5	50.7	35.5	29.1	17.4	11.6	17	NP	NP	SP-SM	A-1-b(0)
	M-4	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	98.0	96.0	80.0	41.5	13.7	9.9	6.6	4.7	16	NP	NP	SP	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	94.2	87.0	75.3	68.8	53.3	37.1	28.4	23.1	18.6	13.4	9.0	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-33	M-2	100.0	92.4	90.1	87.6	79.4	73.1	54.2	41.6	32.1	24.1	21.8	14.2	12.2	17	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	88.5	86.5	82.7	79.6	69.0	60.5	42.7	26.8	21.7	13.9	9.5	16	NP	NP	SP-SM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	97.5	90.2	77.2	68.2	48.7	36.3	28.3	22.1	18.9	12.6	9.5	17	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-34	M-2	100.0	100.0	93.1	89.4	79.9	72.2	51.0	38.8	30.6	24.4	21.3	15.3	12.3	18	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	74.6	65.6	46.9	40.0	33.0	29.5	23.6	16.8	12.7	11.1	8.0	5.8	3.9	17	NP	NP	GP	A-1-a(0)
	M-4	70.0	65.0	53.1	48.0	42.3	40.1	35.9	33.6	28.0	18.9	16.2	10.3	6.8	14	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	96.8	91.2	79.4	66.2	49.2	35.1	27.1	22.2	19.1	14.2	9.8	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
C-35	M-2	100.0	100.0	94.8	88.1	82.1	73.2	52.2	39.2	29.8	23.1	20.4	16.5	12.5	16	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	90.3	82.9	72.2	65.5	49.0	37.6	29.6	23.0	19.5	12.9	9.2	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	100.0	97.1	93.5	74.1	58.4	45.9	36.1	31.0	21.3	16.6	16	NP	NP	SM	A-1-b(0)	
C-36	M-2	100.0	100.0	96.2	92.3	82.8	75.0	53.7	42.1	33.1	26.5	23.1	17.0	14.6	15	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	97.2	93.4	91.7	86.6	81.8	65.6	55.0	46.3	36.2	29.6	19.0	14.5	16	NP	NP	SM	A-1-b(0)
	M-4	100.0	99.0	95.1	89.3	79.7	73.9	55.3	42.6	33.1	25.3	21.3	14.1	10.8	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO																	LIMITES DE ATTERBERG (%)		CLASIFICACION	
		% QUE PASA																		
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
C-37	M-1	100.0	100.0	97.3	91.8	83.1	75.2	54.4	42.2	32.1	26.1	21.8	16.1	11.0	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
	M-2	100.0	100.0	98.0	95.2	88.1	81.3	63.2	48.1	37.4	28.1	24.4	17.1	12.2	17	NP	NP	SM	A-1-a(0)	
	M-3	100.0	100.0	100.0	99.6	99.1	91.6	82.8	72.3	63.0	58.9	50.3	44.8	30	25	5	SM-SC	A-4(2)		
C-38	M-1	100.0	99.0	95.4	91.0	82.5	76.7	60.2	45.6	34.9	27.4	23.6	16.6	13.2	15	NP	NP	SM	A-1-a(0)	
	M-2	100.0	97.6	91.9	88.7	80.9	73.0	54.0	40.0	30.8	24.2	20.8	14.9	12.3	15	NP	NP	GM	A-1-a(0)	
	M-3	100.0	95.8	93.4	88.8	77.5	70.5	50.7	36.7	28.4	22.6	19.6	14.2	12.1	15	NP	NP	GM	A-1-a(0)	
C-39	M-4	90.5	81.6	74.7	70.4	62.9	56.7	39.5	29.6	23.0	18.1	15.6	11.3	9.5	14	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	100.0	98.1	91.2	82.4	72.1	53.3	41.2	31.8	25.2	20.1	15.2	9.8	14	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-2	100.0	100.0	93.8	90.2	81.2	73.1	52.1	40.3	30.2	24.5	20.2	16.8	11.1	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
C-40	M-3	100.0	100.0	93.9	92.1	83.1	76.3	54.5	39.6	30.2	23.5	19.9	13.4	10.9	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	98.8	89.6	81.0	66.6	57.3	34.0	24.9	19.1	15.1	12.9	8.7	6.6	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
	M-2	100.0	100.0	96.4	90.3	77.5	69.8	51.5	40.1	30.8	24.2	20.8	14.6	11.8	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
C-41	M-3	100.0	100.0	93.9	89.3	78.9	69.6	49.1	34.4	26.5	21.2	18.5	13.4	11.1	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
	M-4	100.0	100.0	95.1	92.5	82.7	74.9	53.9	40.9	31.5	24.6	21.0	14.5	11.4	13	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	100.0	97.2	92.6	85.7	74.2	53.8	42.6	34.6	26.1	19.8	15.4	10.0	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
C-42	M-2	100.0	98.1	96.2	90.4	82.6	73.6	58.2	46.2	35.5	27.7	20.1	15.8	12.1	17	NP	NP	SM	A-1-a(0)	
	M-3	100.0	100.0	95.6	93.0	85.9	78.6	57.1	43.7	31.5	21.0	15.8	7.3	4.3	13	NP	NP	SP	A-1-a(0)	
	M-1	98.6	97.7	92.9	84.5	73.1	65.8	48.2	37.9	29.3	23.0	19.8	13.8	10.5	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
C-42	M-2	100.0	96.4	87.6	84.2	75.3	68.1	49.5	38.4	30.0	23.8	20.5	14.4	12.0	14	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-3	100.0	100.0	98.3	95.1	86.8	79.4	59.1	45.6	35.6	28.4	24.7	18.2	15.4	15	NP	NP	SM	A-1-b(0)	
	M-4	100.0	96.1	92.6	86.7	71.6	59.6	25.8	19.9	15.2	11.6	9.7	6.3	4.9	14	NP	NP	GP	A-1-a(0)	

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO															LIMITES DE ATTERBERG (%)			CLASIFICACION	
		% QUE PASA																	
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO
	M-1	100.0	100.0	96.2	91.2	83.1	74.2	55.2	44.2	32.8	25.2	19.2	15.2	10.1	16	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
C-43	M-2	100.0	96.1	91.8	87.7	80.4	73.2	52.7	42.1	31.8	24.1	21.6	16.8	12.6	17	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	94.0	90.8	83.3	77.1	57.2	43.0	33.4	26.5	22.9	16.1	13.1	14	NP	NP	SM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	97.5	91.0	79.0	71.4	52.2	38.7	29.4	22.3	18.6	12.2	9.0	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-44	M-2	100.0	100.0	97.4	94.8	87.2	80.1	61.6	46.0	25.3	17.8	14.0	7.3	4.1	14	NP	NP	SP	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	98.0	95.8	86.6	78.0	56.4	42.4	32.5	24.9	20.8	13.3	10.3	14	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	97.3	91.3	83.3	74.2	52.8	44.2	33.1	24.2	18.1	14.2	9.6	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
C-45	M-2	100.0	98.8	93.8	87.6	81.2	74.2	55.2	44.2	33.2	26.1	20.2	16.2	11.8	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	95.3	91.1	80.2	73.3	52.6	40.6	30.6	22.6	18.5	11.8	9.2	13	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	99.0	96.8	93.7	85.8	78.6	56.7	43.6	32.7	24.1	19.6	12.3	9.7	15	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)
C-46	M-2	100.0	100.0	96.3	93.7	85.0	77.6	58.1	42.8	31.7	24.2	20.3	13.1	10.6	15	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	97.5	91.9	88.6	80.1	72.8	53.8	38.4	29.5	23.1	19.7	13.7	11.1	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	97.2	96.1	93.2	86.1	76.3	56.4	44.2	33.7	26.1	20.4	15.2	8.1	16	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
C-47	M-2	100.0	97.1	95.2	92.1	85.2	77.2	58.3	46.2	35.1	28.4	23.6	17.3	13.2	18	NP	NP	SM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	92.1	89.2	80.7	73.7	53.7	39.9	30.1	23.1	19.4	12.8	10.0	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	87.7	77.5	65.1	57.7	41.9	31.4	24.4	18.8	16.0	10.6	7.8	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-48	M-2	100.0	98.5	96.7	93.3	85.9	78.7	59.3	47.2	36.6	28.8	24.8	17.3	14.1	14	NP	NP	SM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	97.3	92.7	82.1	72.8	49.8	37.6	28.7	22.3	19.0	13.3	10.9	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
	M-4	100.0	99.4	93.5	89.8	81.9	75.8	56.7	39.5	28.7	19.3	14.4	6.8	3.9	14	NP	NP	SW	A-1-a(0)

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO																LIMITES DE ATTERBERG (%)			CLASIFICACION	
		% QUE PASA																		
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
	M-1	100.0	100.0	93.2	81.4	75.2	64.3	49.2	35.4	28.2	22.4	19.3	13.6	8.0	14	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
C-49	M-2	100.0	100.0	96.1	91.2	84.2	73.4	52.2	43.7	34.6	26.8	20.4	15.2	10.0	16	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-3	100.0	100.0	92.5	89.7	80.8	74.0	53.3	38.0	28.2	19.7	15.2	8.4	5.8	13	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	99.5	93.6	88.7	79.2	70.8	50.7	37.0	27.7	21.1	17.9	12.2	9.6	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
	M-2	100.0	95.6	90.2	87.6	79.7	72.7	52.2	41.3	31.4	23.7	19.6	13.0	10.3	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-3	100.0	100.0	94.8	91.0	81.3	73.7	52.4	38.3	28.6	21.5	17.8	11.4	8.9	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
	M-4	98.1	97.2	94.1	90.9	83.6	77.7	59.5	45.5	36.1	27.0	21.1	9.7	5.0	14	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	100.0	95.8	91.2	83.2	71.6	56.1	45.6	35.2	27.1	22.6	14.8	9.2	16	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)	
C-51	M-2	100.0	100.0	98.9	92.1	84.6	73.1	58.4	45.2	35.6	27.9	22.6	16.4	11.2	18	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)	
	M-3	100.0	100.0	95.1	91.4	82.3	74.4	53.7	39.9	30.4	23.0	19.0	11.9	9.0	18	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	98.8	87.2	82.0	70.4	63.5	47.4	38.4	29.4	22.7	19.2	13.0	9.9	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
C-52	M-2	100.0	100.0	96.7	94.4	88.0	81.6	62.0	46.5	35.0	26.7	22.5	15.2	12.3	14	NP	NP	SM	A-1-a(0)	
	M-3	94.1	91.5	88.0	82.4	70.0	59.0	31.1	23.3	18.6	14.8	12.7	8.8	7.2	14	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	100.0	97.0	91.3	84.5	72.6	52.6	44.2	35.1	24.2	19.2	14.8	9.5	16	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
C-53	M-2	100.0	98.2	96.2	90.1	84.6	75.2	59.1	46.2	36.2	27.6	23.4	16.8	12.0	17	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)	
	M-3	100.0	99.3	94.1	91.7	82.3	75.0	54.8	39.5	29.8	23.0	19.4	13.0	10.3	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
	M-1	100.0	98.1	86.9	79.8	67.8	60.2	42.7	31.3	23.1	16.7	13.6	8.2	5.8	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	
C-54	M-2	95.2	94.1	89.0	85.7	75.5	68.2	49.1	38.7	30.4	23.9	20.4	14.1	11.2	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	
	M-3	98.4	96.8	92.4	88.2	74.8	66.2	44.5	32.7	24.4	18.4	15.2	9.6	7.4	14	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)	

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO															LIMITES DE ATTERBERG (%)			CLASIFICACION	
		% QUE PASA																	
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO
	M-1	100.0	100.0	97.2	90.2	84.6	75.2	53.0	46.1	33.2	25.3	19.4	14.6	9.8	14	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
C-55	M-2	100.0	100.0	96.8	91.2	83.8	75.6	57.1	46.1	33.4	25.6	18.1	14.6	10.4	14	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	98.6	94.1	91.5	82.5	75.3	55.5	43.6	33.8	25.8	21.5	13.9	10.9	14	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	98.6	95.9	91.6	80.2	72.6	53.9	46.8	40.1	31.8	26.0	17.2	13.6	16	NP	NP	GM	A-1-a(0)
C-56	M-2	100.0	99.5	94.2	91.1	82.0	74.9	55.3	45.0	35.7	28.0	23.8	16.8	13.4	14	NP	NP	GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	100.0	98.2	95.9	94.3	89.6	80.9	72.3	48.8	32.3	11.3	5.5	13	NP	NP	SP-SM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	99.0	96.2	90.2	81.6	73.2	57.1	44.3	33.2	27.1	22.1	16.3	10.2	15	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)
C-57	M-2	100.0	98.1	96.2	91.3	84.6	72.6	53.1	44.3	32.6	24.6	18.1	15.1	11.3	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-3	97.6	96.8	94.0	90.5	80.9	74.2	56.8	40.1	29.5	21.4	16.8	9.7	7.1	14	NP	NP	SW-SM	A-1-a(0)
	M-1	100.0	100.0	92.4	83.4	73.7	67.5	49.6	37.6	29.7	23.3	19.8	13.1	9.7	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a(0)
C-58	M-2	98.8	96.3	93.8	89.3	80.4	73.2	55.3	44.4	35.0	27.8	23.7	16.0	12.7	16	NP	NP	GM	A-1-A(0)
	M-3	100.0	98.1	96.5	95.9	94.3	93.6	90.3	82.2	73.8	62.4	51.9	31.7	25.8	18	NP	NP	SM	A-2-4(0)
	M-1	100.0	100.0	96.0	92.1	83.3	75.6	52.8	40.1	33.6	24.2	17.1	14.1	8.0	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
C-59	M-2	100.0	98.2	96.0	90.2	83.1	74.9	52.2	40.2	31.6	23.1	18.6	14.2	10.2	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	95.8	92.5	85.6	80.3	68.8	62.3	56.8	50.1	42.1	19.3	11.6	14	NP	NP	SP-SM	A-1-b(0)
	M-1	100.0	100.0	94.6	90.8	82.4	75.9	56.0	42.8	33.5	26.3	21.6	14.7	11.7	15	NP	NP	SP-SM	A-1-a(0)
C-60	M-2	100.0	98.9	93.4	89.3	79.3	71.7	52.1	39.5	29.6	22.5	18.8	12.7	3.9	15	NP	NP	SW	A-1-a(0)
	M-3	100.0	100.0	100.0	99.1	97.5	96.6	88.5	72.9	61.1	52.7	45.1	28.3	22.4	17	NP	NP	SM	A-2-4(0)
	M-4	100.0	100.0	98.2	97.0	93.8	90.8	79.6	66.3	57.6	51.5	47.2	37.0	31.8	16	NP	NP	SM	A-2-4(0)

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayos Proctor Modificado y CBR de Laboratorio. Realizados a todas las muestras del pavimento existente.

Tabla 20

Resultados de Ensayos Proctor Modificado y CBR de Laboratorio.

	PROCTOR MODIFICADO		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		
	MDS (g/cc)	OCH (%)	0.1"		0.1"		0.2"		0.2"		
			95% MDS	100% MDS							
M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-1	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	M-1	2.127	7.2	102.8	134.8	56.8	93.4	154.2	195.7	117.1	163.2
C-2	M-2	2.142	6.4	96.1	122.3	63.9	102.2	147.0	177.3	122.2	161.2
	M-3	1.986	10.8	20.0	40.0	16.0	29.7	27.8	57.1	24.8	48.4
	M-4	1.970	11.8	28.8	37.8	16.5	26.1	43.4	56.3	32.8	46.1
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-3	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.135	6.6	57.0	132.3	54.1	105.2	84.7	188.4	79.6	168.6
C-4	M-2	2.070	6.6	73.5	107.6	72.0	107.6	100.0	146.3	99.3	146.3
	M-3	2.035	8.9	54.0	78.3	54.0	78.3	60.5	99.9	60.5	99.9
	M-4	1.890	10.8	55.0	92.9	55.0	92.9	79.9	120.9	79.9	120.9
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-5	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.155	6.4	75.6	138.0	64.6	115.5	110.3	191.9	101.3	176.7
C-6	M-2	2.121	6.8	82.1	122.7	64.5	108.5	121.1	173.2	106.4	163.2
	M-3	1.994	11.9	47.9	71.4	47.9	71.4	59.3	91.5	59.3	91.5
	M-4	1.978	11.2	54.0	87.8	48.6	73.7	73.5	122.5	70.5	112.6

	PROCTOR MODIFICADO	CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)	
		0.1"		0.1"		0.2"		0.2"	
		MDS (g/cc)	OCH (%)	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-7	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.149	6.4	73.1	136.9	71.0	111.5	105.7	189.4
C-8	M-2	2.124	6.9	68.5	124.3	53.7	84.0	103.1	184.2
	M-3	2.020	9.8	32.3	42.4	32.3	42.4	42.2	61.0
	M-4	1.630	17.2	36.1	72.1	28.8	55.4	51.6	45.6
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-9	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.136	6.1	88.6	141.1	75.8	116.7	123.9	198.4
C-10	M-2	2.135	6.1	69.2	131.4	64.6	111.3	99.7	187.7
	M-3	2.115	7.9	45.7	64.3	45.7	64.3	54.5	89.3
	M-4	1.793	12.2	63.8	93.1	55.1	93.1	85.8	120.9
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-11	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.074	7.0	77.4	100.4	65.3	91.2	111.1	137.2
C-12	M-2	2.054	6.3	69.5	125.4	70.1	91.4	98.8	185.0
	M-3	2.000	10.8	36.3	57.0	36.3	57.0	45.3	71.5
	M-4	1.609	20.8	55.8	77.2	41.7	59.7	76.7	103.5

	PROCTOR MODIFICADO	CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)	
		0.1"		0.1"		0.2"		0.2"	
		MDS (g/cc)	OCH (%)	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-13	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.145	6.3	85.7	137.2	78.3	105.6	121.8	200.1
C-14	M-2	2.133	6.9	76.7	128.6	76.5	102.2	108.0	184.7
	M-3	2.106	9.4	47.7	73.0	47.7	73.0	62.6	99.1
	M-4	1.776	16.3	36.9	60.8	32.5	53.2	52.1	84.2
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-15	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.155	6.5	99.7	118.9	84.0	110.1	140.9	170.8
C-16	M-2	2.139	6.7	82.7	135.1	65.1	114.3	120.7	192.0
	M-3	2.102	8.4	56.3	70.2	43.5	57.8	77.7	95.1
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-17	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.134	6.5	95.2	118.9	79.4	102.4	136.0	174.6
C-18	M-2	2.126	7.0	83.5	132.6	62.9	97.5	125.8	190.5
	M-3	1.919	13.8	28.5	42.7	28.3	42.7	36.8	58.9
	M-4	1.860	12.6	32.3	52.8	22.5	43.1	44.9	72.0

	PROCTOR MODIFICADO	CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)	
		0.1"		0.1"		0.2"		0.2"	
		MDS (g/cc)	OCH (%)	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-19	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.128	6.9	100.4	128.9	54.1	99.1	153.1	182.8
C-20	M-2	2.136	6.6	120.0	115.3	61.4	99.0	168.0	173.2
	M-3	2.105	7.2	51.6	77.0	51.6	77.0	64.6	96.7
	M-4	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-21	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.109	6.0	92.5	155.5	62.5	115.4	131.0	206.8
C-22	M-2	2.143	7.3	116.3	162.8	73.0	111.0	161.7	213.3
	M-3	1.911	10.9	33.8	53.4	33.8	53.4	43.0	73.0
	M-4	1.900	13.1	34.3	71.4	35.2	52.4	47.2	100.1
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-23	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.155	6.6	78.4	137.3	78.3	117.4	113.9	189.8
C-24	M-2	2.112	6.7	86.8	129.7	75.0	100.0	124.4	184.1
	M-3	1.918	8.2	30.4	43.0	30.4	43.0	42.2	60.8
	M-4	1.766	23.6	24.3	58.4	25.2	43.8	34.1	79.6

	PROCTOR MODIFICADO	CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)	
		0.1"		0.1"		0.2"		0.2"	
		MDS (g/cc)	OCH (%)	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-25	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.122	6.0	100.0	145.3	66.7	89.4	147.1	200.4
C-26	M-2	2.103	7.0	80.8	111.1	58.1	82.3	122.9	154.8
	M-3	1.918	9.6	44.8	65.0	44.8	65.0	54.8	82.6
	M-4	2.031	10.0	72.9	97.9	53.1	77.8	99.3	129.5
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-27	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.129	7.0	94.8	124.8	66.3	96.5	136.8	178.2
C-28	M-2	2.129	6.3	102.3	127.3	69.8	103.1	151.6	180.8
	M-3	1.986	7.9	28.3	44.8	24.2	39.1	38.1	60.3
	M-4	1.968	8.6	25.5	49.9	22.1	43.1	34.8	66.8
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-29	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.122	6.4	103.3	130.5	69.7	97.1	148.1	185.3
C-30	M-2	2.100	7.4	65.7	115.0	37.9	89.2	112.9	164.8
	M-3	1.539	9.9	33.7	48.8	33.7	48.8	43.4	65.2
	M-4	1.975	10.5	45.0	62.0	45.0	62.0	62.7	86.9

	PROCTOR MODIFICADO	CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)	
		0.1"		0.1"		0.2"		0.2"	
		MDS (g/cc)	OCH (%)	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-31	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.137	6.4	94.2	132.7	73.2	101.9	135.2	186.6
C-32	M-2	2.164	6.8	95.5	133.4	78.7	109.4	133.7	184.9
	M-3	1.862	9.5	29.1	42.0	29.1	42.0	40.2	58.5
	M-4	1.634	10.6	39.8	43.9	28.2	32.0	59.2	66.1
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-33	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.115	6.4	103.1	147.9	73.9	98.6	150.2	214.5
C-34	M-2	2.107	6.8	109.7	133.7	64.1	83.6	159.7	193.2
	M-3	1.894	10.6	64.8	91.7	64.8	91.7	80.7	116.5
	M-4	1.939	11.8	97.9	126.9	77.7	111.0	135.1	172.1
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-35	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.096	7.2	66.1	133.2	62.1	93.1	96.5	189.7
C-36	M-2	2.092	7.3	101.9	134.4	57.3	85.7	152.8	194.3
	M-3	1.963	9.8	20.8	48.6	20.8	48.6	29.8	67.4
	M-4	2.071	9.3	24.4	48.6	21.7	48.6	34.2	67.4

	PROCTOR MODIFICADO	CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)	
		0.1"		0.1"		0.2"		0.2"	
		MDS (g/cc)	OCH (%)	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-37	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.051	7.0	92.3	146.1	54.9	91.5	141.1	202.0
C-38	M-2	2.129	6.3	85.8	133.5	70.5	100.4	124.8	187.7
	M-3	2.034	7.8	55.1	117.5	53.2	93.2	78.2	163.2
	M-4	2.120	8.5	58.5	121.4	58.4	96.9	81.9	165.9
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-39	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.137	6.2	93.8	123.2	68.1	89.4	137.5	180.1
C-40	M-2	2.140	6.7	95.1	137.1	66.1	112.0	143.5	192.2
	M-3	2.124	7.3	53.5	81.3	53.5	81.3	70.4	98.7
	M-4	2.111	8.1	57.3	78.3	48.4	61.8	81.2	115.7
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-41	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.142	6.6	95.9	131.7	74.0	99.3	139.2	186.2
C-42	M-2	2.121	6.9	101.7	124.3	78.0	91.5	145.4	180.1
	M-3	2.076	7.3	31.3	43.8	31.3	43.8	39.3	59.9
	M-4	2.028	7.9	35.5	47.2	35.5	47.2	49.2	63.1

	PROCTOR MODIFICADO	CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)	
		0.1"		0.1"		0.2"		0.2"	
		MDS (g/cc)	OCH (%)	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-43	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.135	6.2	93.0	135.4	58.2	99.0	140.2	191.5
C-44	M-2	2.131	6.0	98.6	144.0	85.7	99.4	140.0	209.0
	M-3	2.061	6.3	57.8	91.5	43.8	74.9	81.5	128.7
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-45	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.137	7.4	69.4	98.2	43.6	65.9	104.9	144.8
C-46	M-2	2.152	6.7	98.6	135.8	76.4	109.8	147.1	191.6
	M-3	2.039	6.1	43.7	55.0	39.8	52.1	61.4	76.6
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-
C-47	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.152	6.0	100.5	137.6	84.5	99.9	139.3	198.2
C-48	M-2	2.129	7.0	100.0	133.8	56.6	108.0	150.0	186.0
	M-3	2.054	9.6	48.8	71.5	48.8	71.5	63.9	92.5
	M-4	1.956	10.4	66.2	83.3	41.9	63.7	98.5	117.6
								79.1	102.0

PROCTOR MODIFICADO			CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)	
			0.1"		0.1"		0.2"		0.2"	
	MDS (g/cc)	OCH (%)	95% MDS	100% MDS						
M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-49	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.144	5.9	70.9	131.9	67.0	103.1	100.2	193.2	98.1
C-50	M-2	2.149	6.4	101.5	133.8	67.7	102.4	152.2	192.2	123.5
	M-3	2.036	8.8	54.7	86.1	54.7	86.1	68.3	118.9	68.3
	M-4	1.915	10.7	56.9	139.3	48.4	101.2	77.7	186.9	71.3
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-51	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.147	6.6	91.7	144.8	68.9	104.7	133.6	204.2	117.1
C-52	M-2	2.103	7.7	69.9	142.0	46.8	80.3	108.3	200.8	87.9
	M-3	2.082	7.4	58.2	105.3	55.1	73.7	81.6	152.3	79.9
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-53	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	M-1	2.136	6.9	95.6	130.2	79.2	97.6	135.9	185.2	124.5
C-54	M-2	2.102	6.6	70.4	136.7	51.8	94.5	106.1	193.0	90.3
	M-3	2.125	7.6	64.5	84.4	49.9	57.0	92.9	123.6	83.2
										100.1

PROCTOR MODIFICADO			CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		CBR C/CORRECCION (%)		CBR S/CORRECCION (%)		
			0.1"		0.1"		0.2"		0.2"		
	MDS (g/cc)	OCH (%)	95% MDS	100% MDS							
M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-55	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	M-1	2.143	6.8	99.0	125.3	82.1	107.6	138.4	177.3	126.7	165.6
C-56	M-2	2.131	7.0	91.2	132.5	77.5	100.6	130.1	185.6	119.9	165.3
	M-3	1.788	15.0	13.6	22.8	11.2	16.4	19.4	32.3	17.5	27.5
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-57	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	M-1	2.136	6.3	106.7	129.7	90.4	107.3	150.1	183.7	139.2	169.6
C-58	M-2	2.108	6.7	99.2	149.5	73.6	99.6	144.7	214.8	125.2	182.5
	M-3	1.850	15.1	10.5	38.2	10.3	25.6	15.2	56.8	15.2	45.8
	M-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-59	M-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	M-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	M-1	2.121	6.2	77.6	128.4	69.8	96.1	110.3	184.9	103.9	163.2
C-60	M-2	2.110	7.0	95.4	136.3	73.7	109.3	140.7	189.2	122.9	172.3
	M-3	1.966	10.6	53.3	84.1	53.3	84.1	63.1	113.6	63.1	113.6
	M-4	1.934	11.5	57.1	66.1	50.1	61.3	80.3	92.4	75.7	89.0

Fuente: Elaboración Propia.

Cálculo de Tráfico.

Estación E1 - Huaytire (Conteo y Clasificación Vehicular). Se realizaron las siguientes tareas:

Conteos diarios. Se hicieron los conteos volumétricos de vehículos pesados en la Estación E1 - Huaytire del miércoles 20 al martes 26 de abril del 2016.

Tabla 21

Conteo en Estación E1 - Huaytire.

Días	Sentido	Bus			Camión				Semitrailer				Tráiler				Total
		B2	B3-1	B4-1	C2	C3	C4	8x4	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
Miércoles 20	A Huaytire	0	7	2	6	1	0	0	5	28	30	11	0	0	3	1	94
	A Humajalso	0	6	1	8	6	2	0	2	19	31	19	0	0	3	2	99
	Ambos	0	13	3	14	7	2	0	7	47	61	30	0	0	6	3	193
Jueves 21	A Huaytire	0	8	1	7	0	0	0	2	10	40	19	0	0	1	5	93
	A Humajalso	0	8	2	9	2	3	0	1	9	38	21	0	0	1	2	96
	Ambos	0	16	3	16	2	3	0	3	19	78	40	0	0	2	7	189
Viernes 22	A Huaytire	1	5	1	5	1	1	0	1	21	42	9	0	0	1	4	92
	A Humajalso	0	7	3	15	3	3	1	3	13	22	13	0	0	2	1	86
	Ambos	1	12	4	20	4	4	1	4	34	64	22	0	0	3	5	178
Sábado 23	A Huaytire	0	7	1	2	0	0	0	1	21	41	10	0	0	3	3	89
	A Humajalso	0	6	1	8	6	3	0	9	19	24	13	0	0	1	2	92
	Ambos	0	13	2	10	6	3	0	10	40	65	23	0	0	4	5	181
Domingo 24	A Huaytire	0	4	2	3	5	0	0	0	6	24	16	0	0	2	1	63
	A Humajalso	1	8	1	5	9	2	0	1	10	23	12	0	0	1	3	76
	Ambos	1	12	3	8	14	2	0	1	16	47	28	0	0	3	4	139
Lunes 25	A Huaytire	0	7	1	5	1	0	0	0	22	26	15	0	0	3	1	81
	A Humajalso	0	6	2	3	4	5	0	0	13	19	16	0	0	0	1	69
	Ambos	0	13	3	8	5	5	0	0	35	45	31	0	0	3	2	150
Martes 26	A Huaytire	0	10	2	4	0	0	0	0	10	33	10	1	2	0	0	72
	A Humajalso	0	4	3	1	5	5	0	0	19	22	15	0	0	2	0	76
	Ambos	0	14	5	5	5	5	0	0	29	55	25	1	2	2	0	148

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

IMDS. Se obtuvo el Índice Medio Diario Semanal de la Estación E1 - Huaytire gracias a los datos del conteo vehicular. El valor del IMDS fue de 168 veh/día como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 22
Determinación del IMDS (veh/día) en Estación E1 - Huaytire.

Tipo de Vehículo	IMDS a Huaytire	IMDS a Humajalso	IMDS Total
Bus B2	0	0	0
Bus B3-1	7	7	14
Bus B4-1	1	2	3
Camión C2	5	7	12
Camión C3	1	4	5
Camión C4	0	3	3
Camión 8x4	0	0	0
Semitrailer 2S2	1	2	4
Semitrailer 2S3	17	13	30
Semitrailer 3S2	34	27	61
Semitrailer 3S3	13	15	28
Tráiler 2T2	0	0	0
Tráiler 2T3	0	0	1
Tráiler 3T2	2	1	3
Tráiler 3T3	2	2	4
IMDS Total	83	84	168

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

IMDA. Para calcular el IMDA, se debe multiplicar al IMDS un Factor de Corrección Estacional. Este último (factor en el mes de conteo) corresponde al valor de 1.044. El valor del IMDA fue de 175 veh/día.

Tabla 23
Determinación del IMDA (veh/día) en Estación E1 - Huaytire.

Tipo de Vehículo	IMDA a Huaytire	IMDA a Humajalso	IMDA Total
Bus B2	0	0	0
Bus B3-1	7	8	15
Bus B4-1	1	2	3
Camión C2	5	8	13
Camión C3	1	4	6
Camión C4	0	3	3
Camión 8x4	0	0	0
Semitrailer 2S2	1	2	4
Semitrailer 2S3	18	14	31
Semitrailer 3S2	35	28	64
Semitrailer 3S3	13	16	29
Tráiler 2T2	0	0	0
Tráiler 2T3	0	0	1
Tráiler 3T2	2	1	3
Tráiler 3T3	2	2	4
IMDA Total	87	88	175

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Análisis de la variación horaria E1 – Huaytire. El volumen horario a la 01.00 hasta 02.00 horas es del 5.37% del tráfico diario. Entre las 12.00 a 13.00 horas, disminuye a un 4.26% de flujo vehicular y por la tarde alcanza la hora punta (15:00 a 16:00 horas) con 6.39% del flujo vehicular en ambos sentidos.

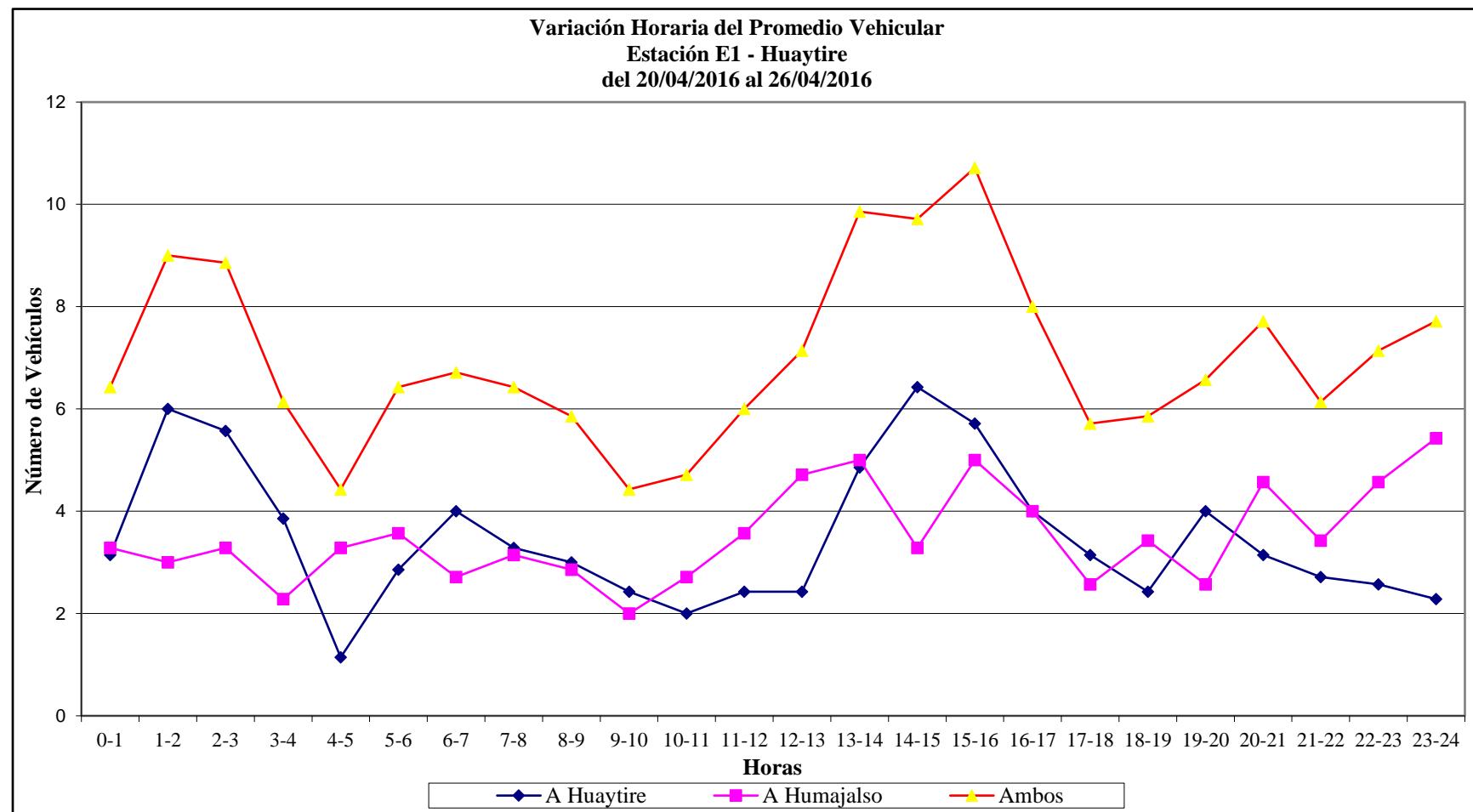


Figura 17. Variación Horaria Promedio Vehicular E1 - Huaytire.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Análisis de la variación diaria E1 – Huaytire. El mayor volumen de tráfico se presentó el día miércoles 20 con 193 vehículos y el menor el domingo 24 con 139 vehículos.

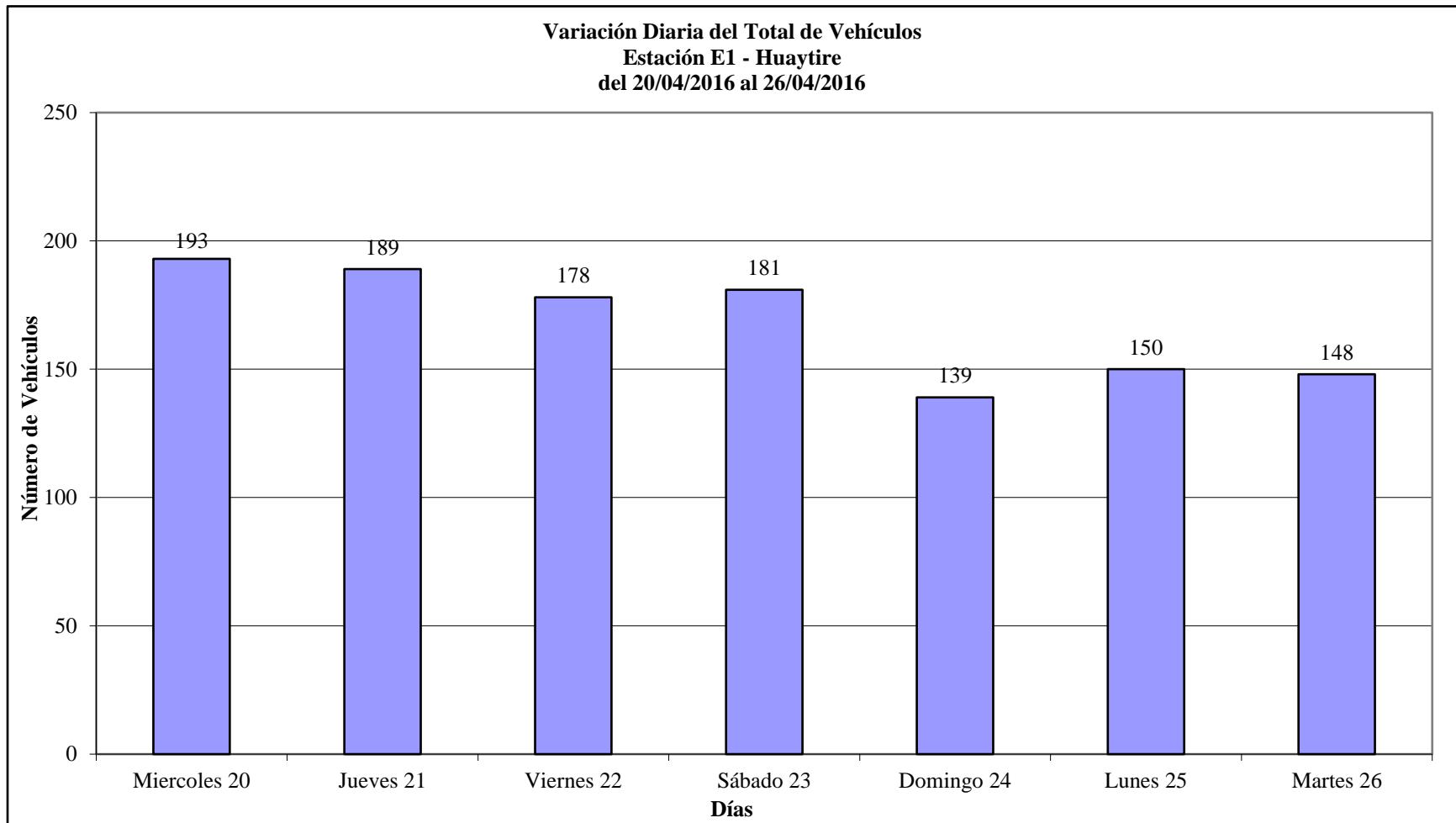


Figura 18. Variación Diaria Total Vehículos E1 - Huaytire.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

**Conteo Vehicular
Estación E1 - Huaytire
del 20/04/2016 al 26/04/2016**

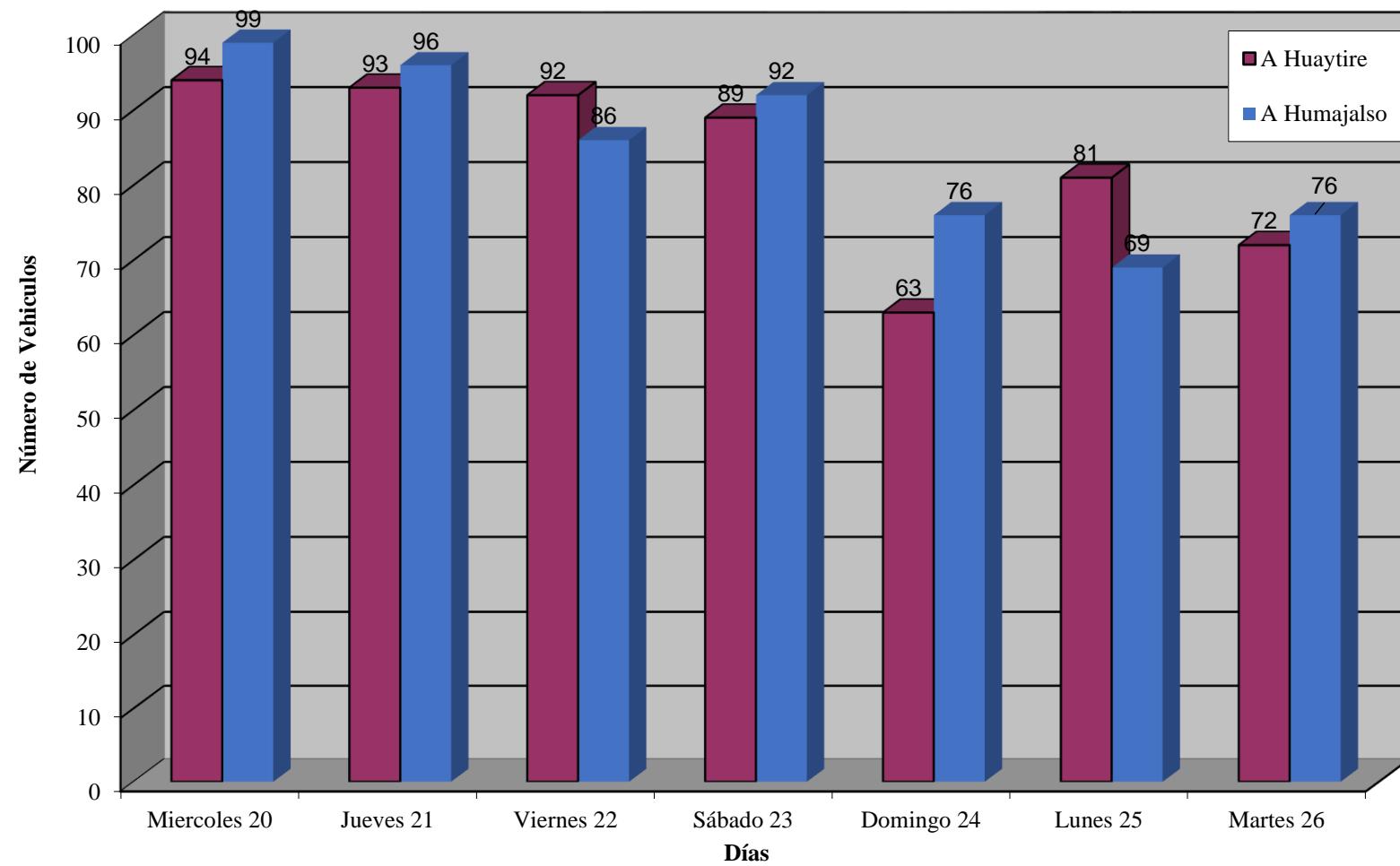


Figura 19. Conteo Vehicular E1 - Huaytire.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Análisis de la composición del tipo de flujo vehicular E1 – Huaytire. Destacan los vehículos de 5 ejes con 56.39% del total del flujo vehicular, los vehículos de 6 ejes con 18.74% del total del flujo vehicular, seguido de los vehículos con 3 ejes con un 11.67%.

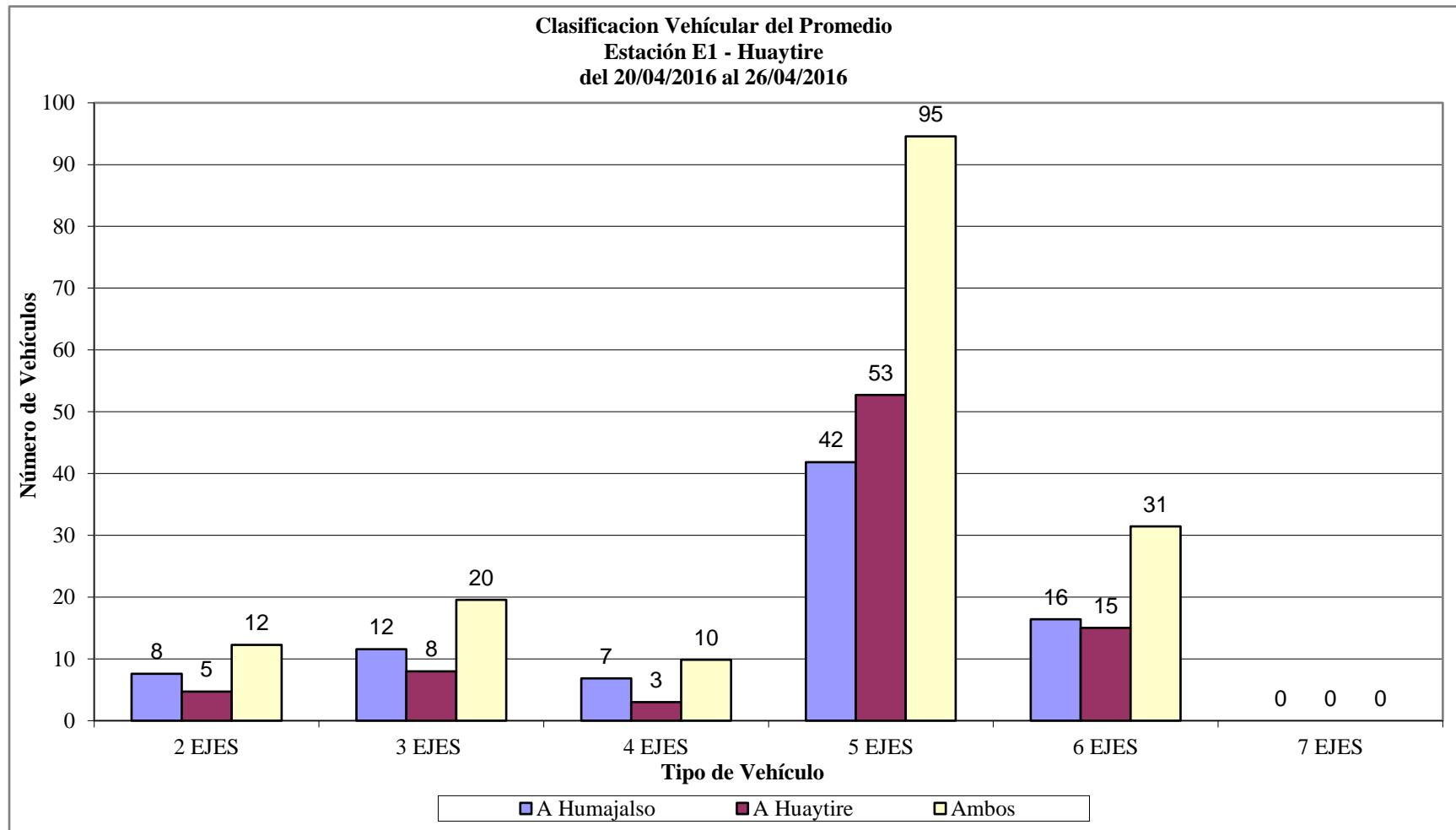


Figura 20. Clasificación Vehicular Promedio E1 - Huaytire.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Distribución Porcentual por Tipo de Vehículos
Estación E-1
del 20/04/2016 al 26/04/2016

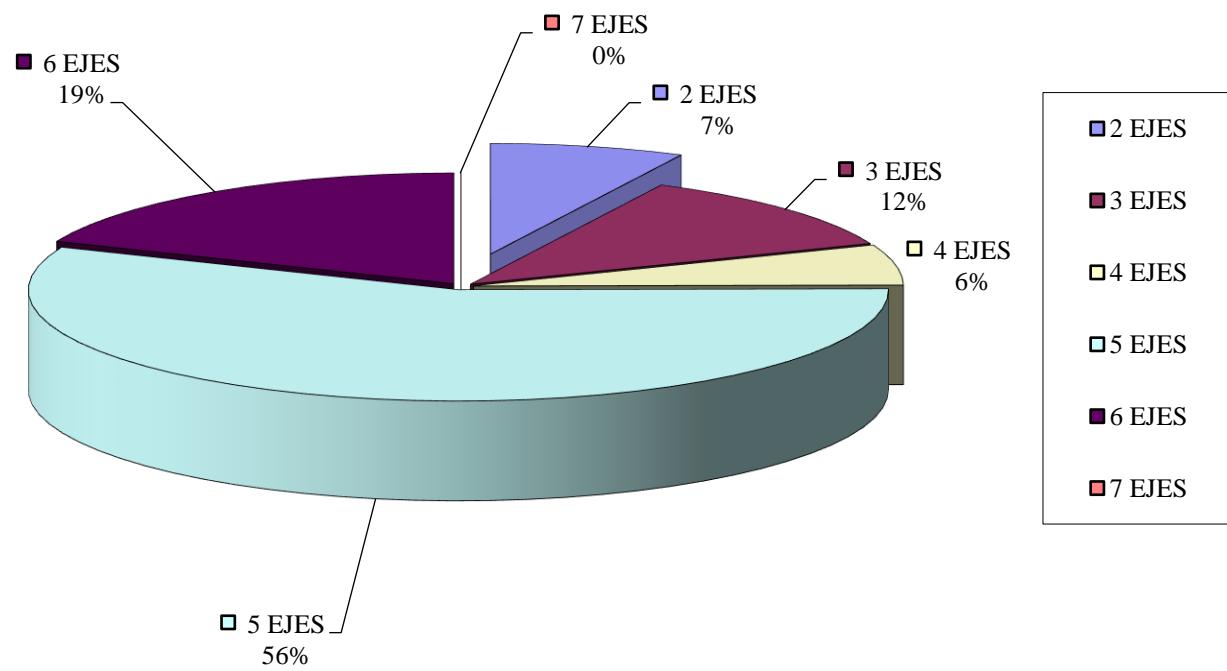


Figura 21. Distribución Porcentual Tipo Vehículo E1 - Huaytire.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Estación E3 - Mazocruz (Censo de Carga). Establecido en la Estación E3 – Mazocruz, la cual fue operativa entre el 17 al 19 de abril del 2016, en el ingreso a la localidad.

Vehículos pesados a Mazocruz. Los vehículos predominantes son tipo 3S2 con el 32.34% de la muestra, no se registraron vehículos articulados. A continuación, se presentan los cuadros resúmenes siguientes:

Tabla 24
Vehículos controlados sentido a Mazocruz en E3 – Mazocruz.

Tipo	Cantidad	Distribución %
B2	13	6.47%
B3-1	13	6.47%
B4-1	7	3.48%
C2	11	5.47%
C3	3	1.49%
C4	3	1.49%
2S2	5	2.49%
2S3	40	19.90%
3S2	65	32.34%
3S3	38	18.91%
2T3	1	0.50%
3T2	1	0.50%
3T3	1	0.50%
Total	201	100.00%

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

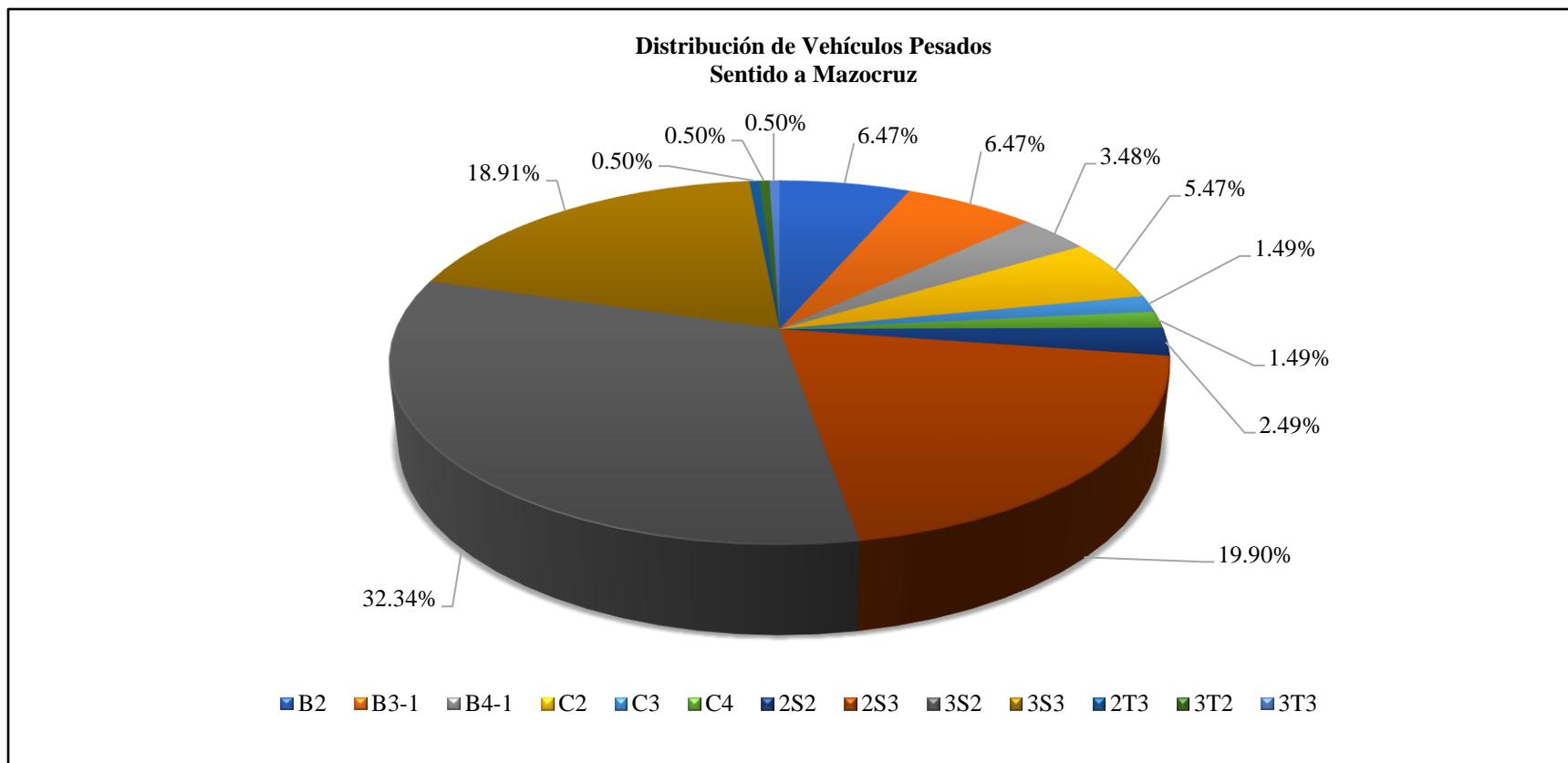


Figura 22. Distribución de Vehículos Pesados a Mazocruz en E3 - Mazocruz.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Vehículos pesados a Huaytire. Los vehículos predominantes son tipo 3S2 con el 24.50% de la muestra, no se registraron vehículos articulados. A continuación, se presentan los cuadros resúmenes siguientes:

Tabla 25
Vehículos controlados a Huaytire en E3 – Mazocruz.

Tipo	Cantidad	Distribución %
B2	19	7.63%
B3-1	18	7.23%
B4-1	8	3.21%
C2	22	8.84%
C3	15	6.02%
8x4	6	2.41%
2S2	4	1.61%
2S3	45	18.07%
3S2	61	24.50%
3S3	46	18.47%
2T2	1	0.40%
3T2	2	0.80%
3T3	2	0.80%
Total	249	100.00%

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016

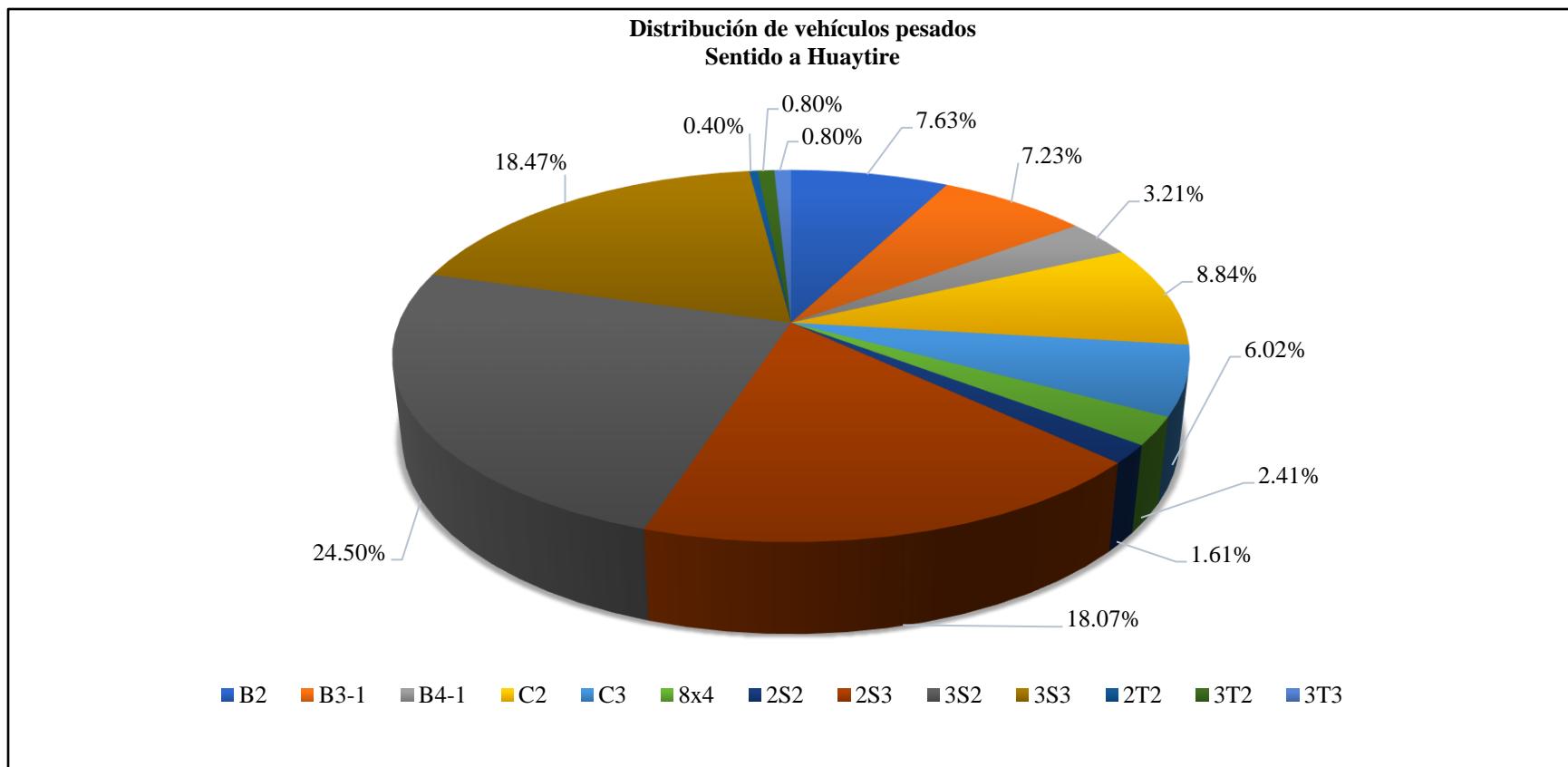


Figura 23. Distribución de vehículos pesados a Huaytire en E3 - Mazocruz.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Factores Vehículo Pesado y Presión de Neumático. Mediante este tipo de estación se obtuvieron dos factores estrechamente relacionados al Estudio de Tráfico como son: Factor de Vehículo Pesado (F_{vp}) y Factor de Presión de Neumático (F_p), ambos por tipo de vehículo pesado.

Tabla 26
Factores de Vehículo Pesado y Presión de Neumático.

Tipo	F_{vp}	F_p
B2	2.324	1.360
B3-1	1.964	1.552
B4-1	1.845	1.518
C2	0.963	1.381
C3	2.397	1.558
C4	2.604	1.360
8x4	3.856	1.426
2S2	2.479	1.448
2S3	5.723	1.574
3S2	2.041	1.580
3S3	3.329	1.553
2T2	0.527	1.360
2T3	7.372	1.360
3T2	5.003	1.492
3T3	5.474	1.492

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

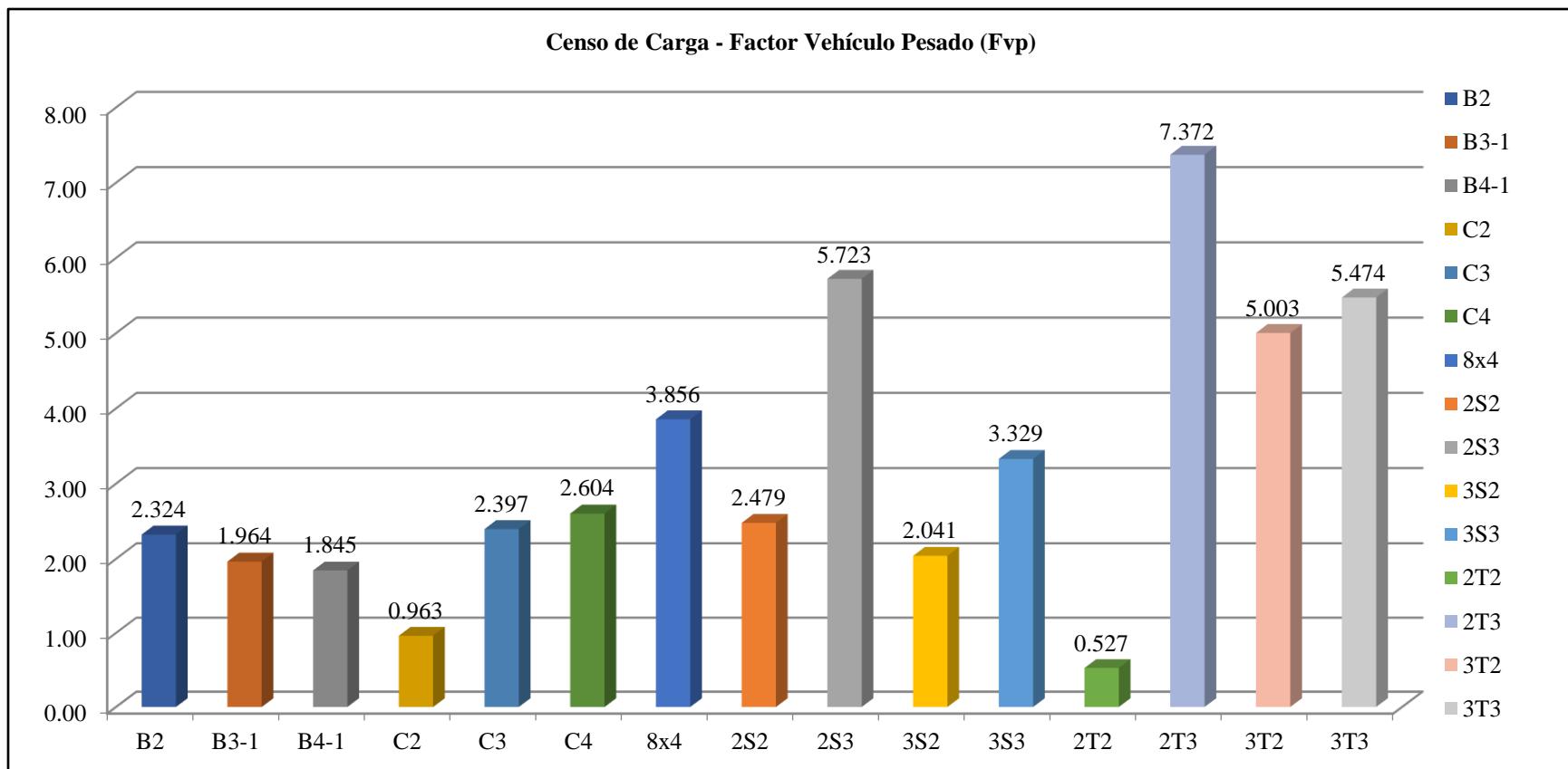


Figura 24. Factor Vehículo Pesado (F_{vp}) registrado en Estación E3 - Mazocruz.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

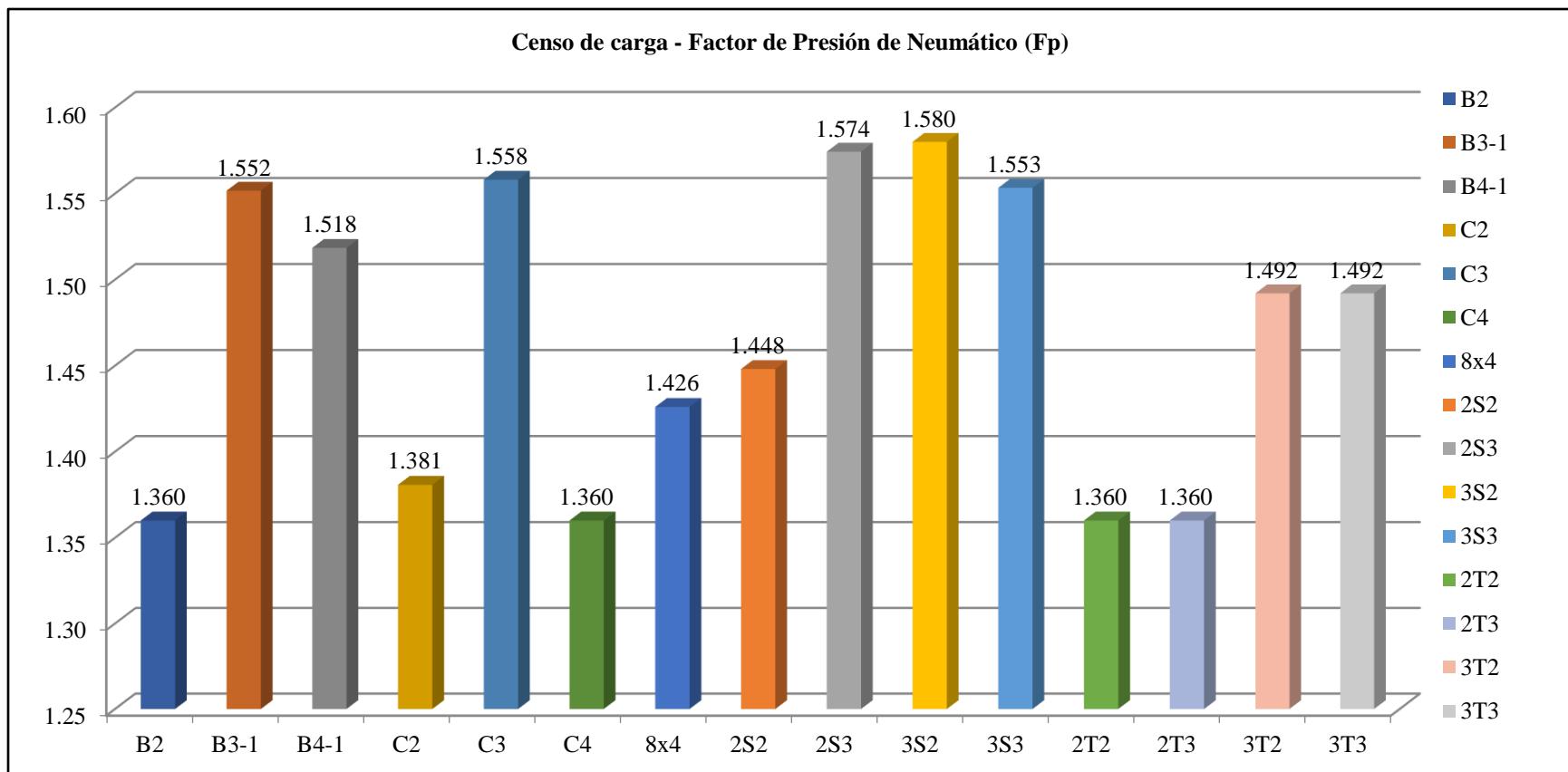


Figura 25. Factor Presión de Neumáticos (F_p) registrado en Estación E3 - Mazocruz.

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa 2016.

Ejes Equivalentes por tipo de vehículo pesado. Con los datos recogidos de las estaciones de conteo, clasificación vehicular y censo de carga ($IMDA_i$, Fvp_i y Fp_i) se procedió a hallar los Ejes Equivalentes para el carril de diseño en ambos tramos de evaluación con la siguiente fórmula:

$$EE_i = IMDA_i \times Fd \times Fc \times Fvp_i \times Fp_i$$

Siendo:

EE_i : Ejes Equivalentes por tipo de vehículo pesado

$IMDA_i$: Índice Medio Diario Anual para cada tipo de vehículo pesado.

Fd : Factor Direccional.

Fc : Factor Carril de Diseño.

Fvp_i : Factor Vehículo Pesado por tipo.

Fp_i : Factor Presión de Neumático por tipo de vehículo pesado.

En cuanto al cálculo de los Factores Direccional y Carril se considera que la vía en estudio es una carretera existente con una sola calzada sin separador central. Esta calzada posee dos sentidos y un carril por sentido. Debido a las características geométricas de la vía se consideran los valores de 0.50 y 1.00 como Factor Direccional y Factor Carril respectivamente.

A continuación, se muestra los Ejes Equivalentes por tipo de vehículo pesado para el carril de diseño en Dv Humajalso - Huaytire:

Tabla 27

Ejes Equivalentes por tipo de vehículo pesado.

Tipo de Vehículo	IMDA _i	F _d	F _c	F _{vpi}	F _{pi}	EE _i
B2	0	0.5	1	2.324	1.36	0.47
B3-1	15	0.5	1	1.964	1.552	22.50
B4-1	3	0.5	1	1.845	1.518	4.60
C2	13	0.5	1	0.963	1.381	8.33
C3	6	0.5	1	2.397	1.558	10.58
C4	3	0.5	1	2.604	1.360	5.02
8x4	0	0.5	1	3.856	1.426	0.41
2S2	4	0.5	1	2.479	1.448	6.69
2S3	31	0.5	1	5.723	1.574	141.76
3S2	64	0.5	1	2.041	1.580	102.43
3S3	29	0.5	1	3.329	1.553	74.81
2T2	0	0.5	1	0.527	1.360	0.11
2T3	1	0.5	1	7.372	1.360	2.99
3T2	3	0.5	1	5.003	1.492	11.69
3T3	4	0.5	1	5.474	1.492	15.84
175				ΣEE_i	408.22	

Fuente: Elaboración Propia.

Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 t. Ejes calculados para el período de diseño. Se calcula con la siguiente expresión:

$$W_{18} = \Sigma(EE_i) \times Fca \times 365$$

Donde:

W₁₈: Número Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 8.2 t para el periodo de diseño.EE_i: Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado para el carril de diseño.

Fca: Factor de Crecimiento Acumulado.

Como se explicó anteriormente, el Factor de Crecimiento Acumulado es evaluado mediante una fórmula. Esta considera la tasa anual de crecimiento y el periodo de análisis en años:

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

Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga (r) con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI).

A continuación, se muestran los valores de PBI para las diferentes regiones con Base 2007:

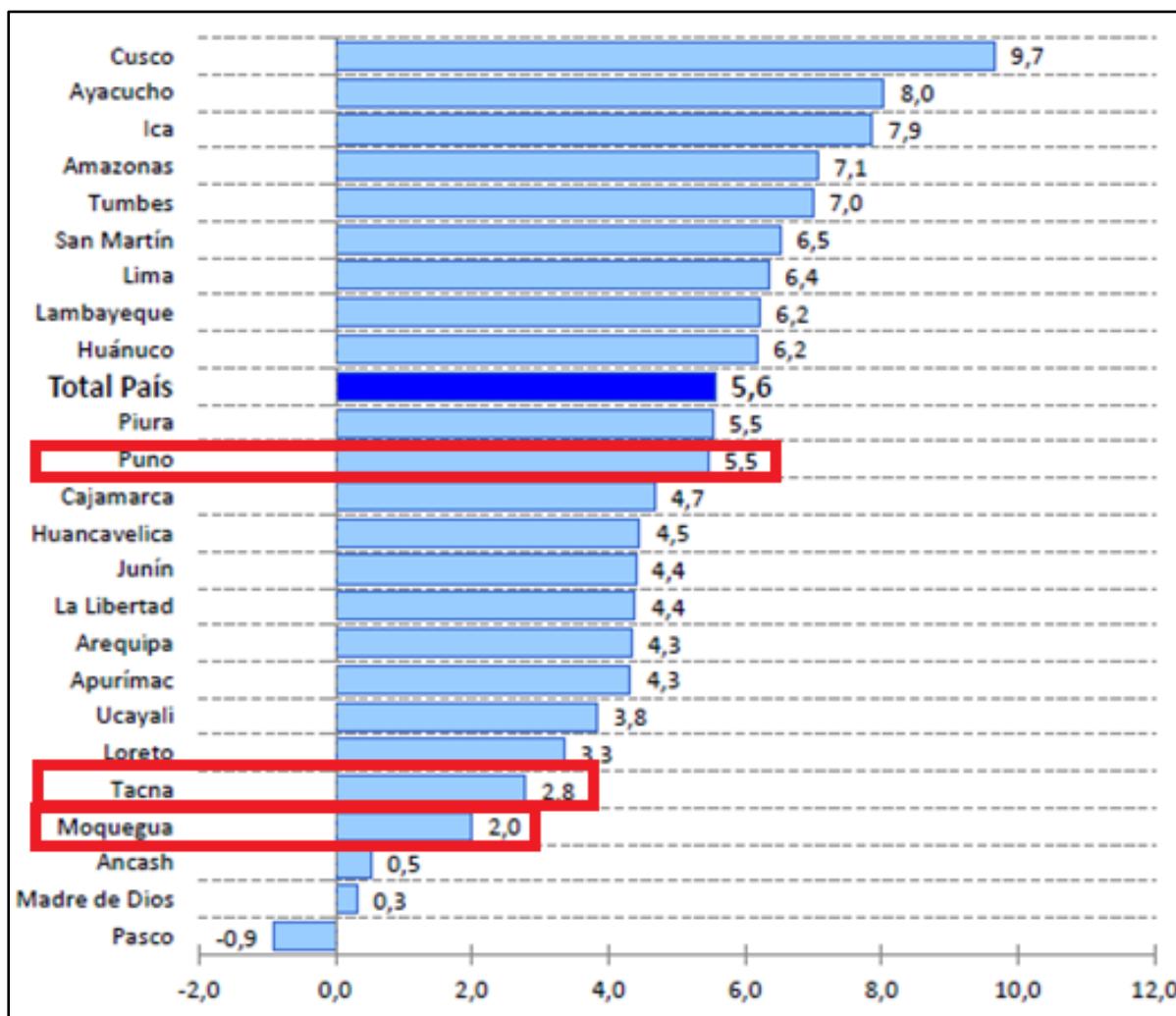


Figura 26. Producto Bruto Interno, según departamento: 2007-2014 (Base 2007).
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

Se tomó en cuenta los valores PBI de 2.0%, 2.8% y 5.5% que pertenecen a los departamentos de Moquegua, Tacna y Puno respectivamente porque estos departamentos engloban a la carretera en estudio. Para escoger un PBI que se acerque mas a la realidad de la tasa anual de crecimiento vehicular pesado registrado en los tramos de la carretera se promedió los valores de las regiones mencionadas obteniendo como resultado 3.43%.

Se debe saber que este Contrato por Niveles de Servicio fue por 5 años mas 1 año de garantía, es decir equivale a 6 años de periodo de diseño (n).

Se presenta el número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2t para el periodo de diseño de 6 años W₁₈ del Contrato de Conservación Vial Santa Rosa en el primer tramo de evaluación:

$$W_{18} = \Sigma(EE_i) \times Fca \times 365 \quad Dato: \Sigma(EE_i) = 408.22$$

Donde:

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

$$Fca = \frac{(1 + 3.43\%)^6 - 1}{3.43\%}$$

$$Fca = 6.54$$

$$W_{18} = 408.22 \times 6.54 \times 365$$

$$W_{18} = 974257.29 \text{EE} = 9.74 \text{E5EE}$$

De acuerdo a lo indicado en el estudio de tráfico, se obtuvo la cantidad de ejes acumulados para el periodo de diseño. La cantidad de ejes equivalentes proyectados para el tramo 1 es de 9.74 E5 E.E.

Diseño Estructural

Con corrección. Implica la corrección de índole estadística y física del paquete de pavimentos y del terreno de fundación vial expresada estructuralmente.

Número Estructural Requerido. Para el cálculo del SN_{req} se partió recolectando los datos de entrada, los mismos que fueron obtenidos del estudio de suelos, estudio de tráfico, evaluación de la condición inicial del pavimento y manuales.

Según lo recomendado en el “Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección: Suelos y Pavimentos”, estos parámetros fueron considerados de acuerdo a la cantidad de ejes equivalentes proyectados para el tramo. Encontrándose en el rango entre 750,000 a 1'000,000 E.E. se tienen:

$$R = 80\%$$

$$Z_R = -0.841$$

$$P_i = 3.8$$

$$P_t = 2.0$$

$$\Delta PSI = 1.8$$

$$S_o = 0.45$$

Del estudio de suelos realizado en este tramo, se encontró diferentes estratos pertenecientes al terreno de fundación. Ya que estos estratos poseen un valor diferente de capacidad de soporte, se utilizó el concepto de CBR Compuesto para hallar el CBR representativo con corrección de la subrasante. Utilizando el Método de las Diferencias Acumuladas recomendado por la Guía AASHTO 1993, se obtuvieron subtramos homogéneos y CBRs promedio para cada uno de estos subtramos homogéneos (CBRs de diseño). Con estos CBRs de diseño se consiguió los Mr de la subrasante utilizando la fórmula propuesta por la AASHTO 2002.

Tabla 28
Calculo de CBR Compuesto de la subrasante (Diseño con corrección).

ITEM	PROGRESIVA	T.F. CAPA 1		T.F. CAPA 2		CBR COMPUESTO (%)
		e (m)	CBR (%)	e (m)	CBR (%)	
1	116+500	0.200	20.0	0.925	28.8	28.7
2	117+500	0.200	54.0	0.925	55.0	55.0
3	118+500	0.500	47.9	0.825	54.0	52.9
4	119+500	0.200	32.3	0.925	36.1	36.1
5	120+500	0.300	45.7	0.825	63.8	63.0
6	121+500	0.200	36.3	0.925	55.8	55.6
7	122+500	0.300	47.7	0.825	36.9	37.4
8	123+500	1.125	56.3	-	-	56.3
9	124+500	0.200	28.5	0.925	32.3	32.3
10	125+500	0.200	51.6	ROCA		51.6
11	126+500	0.300	33.8	0.825	34.3	34.3
12	127+500	0.300	30.4	0.825	24.3	24.6
13	128+500	0.300	44.8	0.825	72.9	71.6
14	129+500	0.200	28.3	0.925	25.5	25.5
15	130+500	0.200	33.7	0.925	45.0	44.9
16	131+500	0.200	29.1	0.925	39.8	39.7
17	132+500	0.200	64.8	0.925	97.9	97.6
18	133+500	0.300	20.8	0.825	24.4	24.2
19	134+500	0.200	55.1	0.925	58.5	58.5
20	135+500	0.200	53.5	0.925	62.2	62.1
21	136+500	0.200	31.3	0.925	35.5	35.5
22	137+500	1.125	57.8	-	-	57.8
23	138+500	1.125	43.7	-	-	43.7
24	139+500	0.300	48.8	0.825	66.2	65.4
25	140+500	0.300	54.7	0.825	56.9	56.8
26	141+500	1.125	58.2	-	-	58.2
27	142+500	0.825	64.5	-	-	64.5
28	143+500	1.125	13.6	-	-	13.6
29	144+500	1.125	10.5	-	-	10.5
30	145+500	0.200	53.3	0.925	57.1	57.1

Fuente: Elaboración Propia.

Los tramos homogéneos, CBRs de diseño de la subrasante son los siguientes:

Tabla 29

Método Diferencias Acumuladas para CBR de subrasante (Diseño con corrección).

Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Col 9	Col 10
Progresiva	CBR (%)	Nº Intervalo	Dist. entre Intervalos	Dist. Acumulada entre Intervalos	Intervalo Promedio	Área del Intervalo	Área Acumulada	Zx	Sub Tramos - CBR Prom. (%)
116+500	28.7	1	1000	1000	28.7	28711.9	28711.9	-17974.4	
117+500	55.0	2	1000	2000	41.9	41851.0	70562.9	-22809.7	
118+500	52.9	3	1000	3000	53.9	53939.7	124502.6	-15556.3	47.1
119+500	36.1	4	1000	4000	44.5	44475.6	168978.2	-17767.0	
120+500	63.0	5	1000	5000	49.5	49515.8	218494.0	-14937.5	
121+500	55.6	6	1000	6000	59.3	59287.2	277781.2	-2336.6	
122+500	37.4	7	1000	7000	46.5	46500.2	324281.4	-2522.7	
123+500	56.3	8	1000	8000	46.8	46847.7	371129.2	-2361.3	
124+500	32.3	9	1000	9000	44.3	44281.0	415410.1	-4766.6	
125+500	51.6	10	1000	10000	41.9	41931.0	457341.1	-9521.9	43.4
126+500	34.3	11	1000	11000	42.9	42938.5	500279.7	-13269.6	
127+500	24.6	12	1000	12000	29.4	29428.5	529708.1	-30527.5	
128+500	71.6	13	1000	13000	48.1	48095.3	577803.5	-29118.4	
129+500	25.5	14	1000	14000	48.6	48569.4	626372.9	-27235.3	
130+500	44.9	15	1000	15000	35.2	35207.5	661580.3	-38714.2	

131+500	39.7	16	1000	16000	42.3	42289.9	703870.3	-43110.5
132+500	97.6	17	1000	17000	68.6	68630.9	772501.1	-21166.0
133+500	24.2	18	1000	18000	60.9	60901.8	833402.9	-6950.5
134+500	58.5	19	1000	19000	41.4	41350.4	874753.3	-12286.4
135+500	62.1	20	1000	20000	60.3	60289.5	935042.8	1316.8
136+500	35.5	21	1000	21000	48.8	48785.5	983828.3	3415.9
137+500	57.8	22	1000	22000	46.6	46629.0	1030457.2	3358.6
138+500	43.7	23	1000	23000	50.8	50750.0	1081207.2	7422.3
139+500	65.4	24	1000	24000	54.6	54550.9	1135758.1	15286.9
140+500	56.8	25	1000	25000	61.1	61100.4	1196858.5	29701.0
141+500	58.2	26	1000	26000	57.5	57499.5	1254358.0	40514.2
142+500	64.5	27	1000	27000	61.4	61350.0	1315708.0	55177.9
143+500	13.6	28	1000	28000	39.1	39050.0	1354758.0	47541.6
144+500	10.5	29	1000	29000	12.1	12050.0	1366808.0	12905.3
145+500	57.1	30	1000	30000	33.8	33781.0	1400589.0	0.0
146+500					At	1400589.0		
					Lp	30000.0		
					F	46.7		

Fuente: Elaboración Propia.

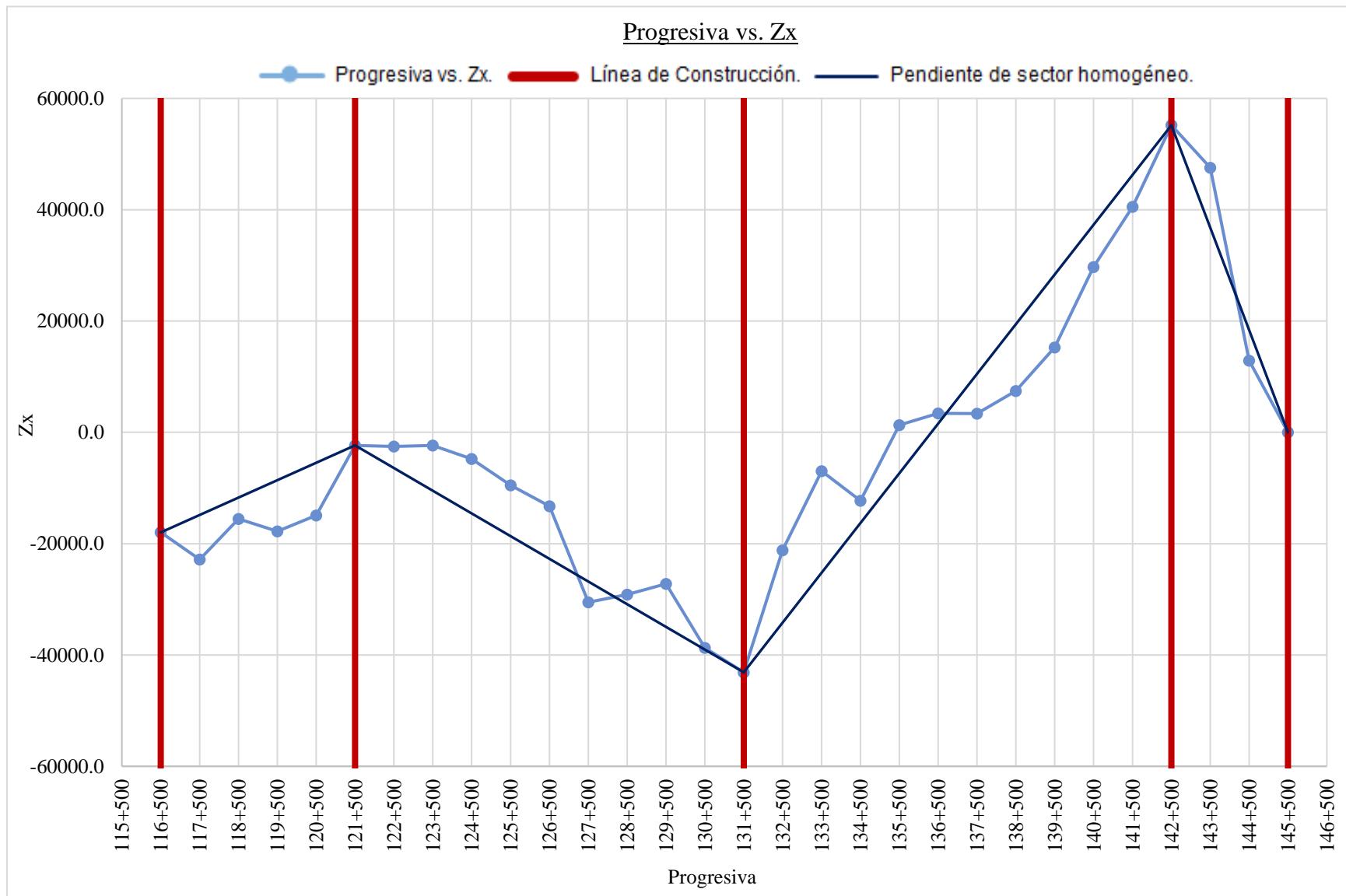


Figura 27. Gráfico de Progresiva vs. Zx para CBR de subrasante (Diseño con corrección).
Fuente: Elaboración Propia.

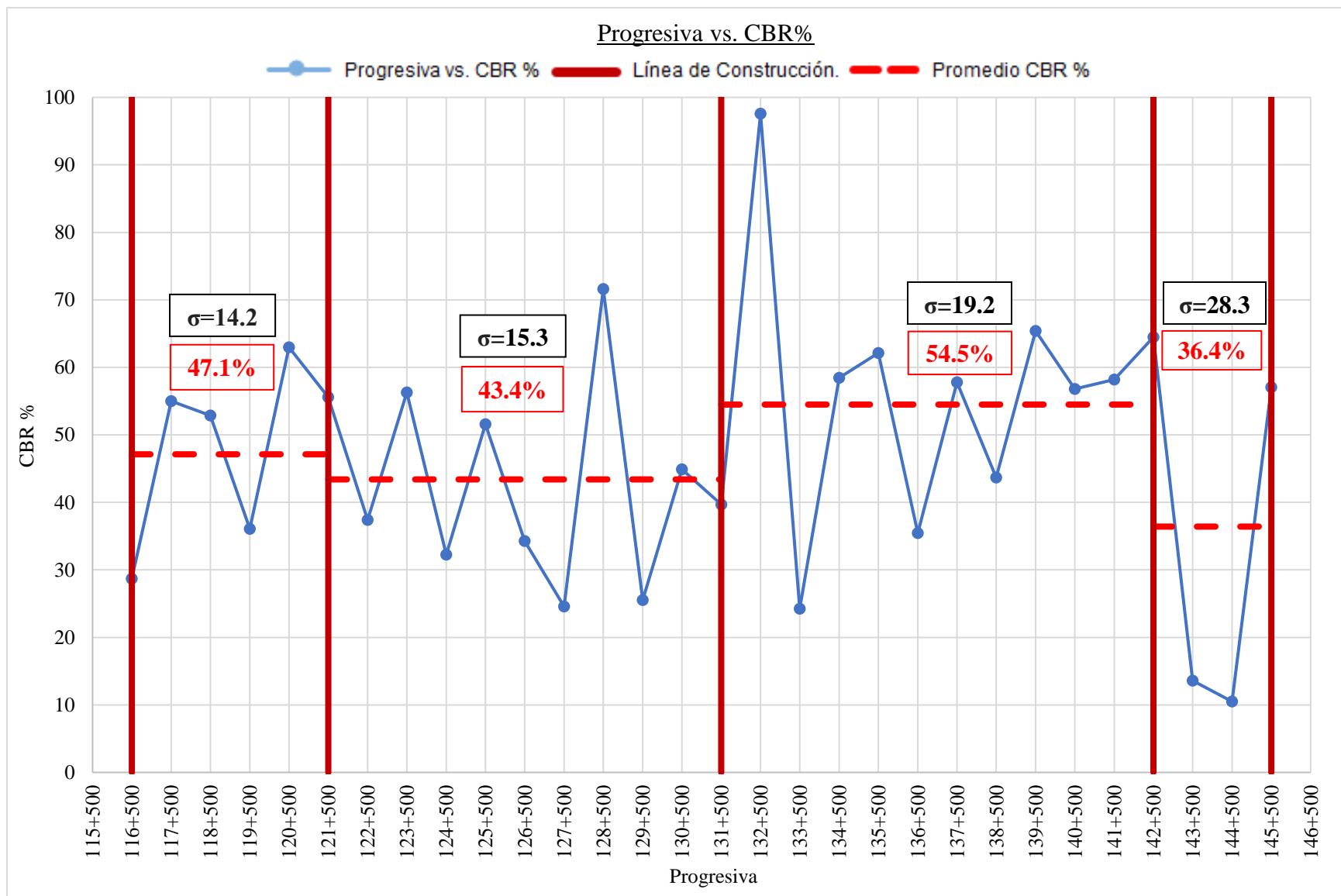


Figura 28. Gráfico de Progresiva vs. CBR% de subrasante (Diseño con corrección).
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 30
Sectores homogéneos, CBRs diseño y Módulos Resilientes (Diseño con corrección).

Sector	Inicio	Fin	CBR diseño (%)	Módulo Resiliente (psi)
1	116+500	121+500	47.1	30069.4
2	121+500	131+500	43.4	28535.4
3	131+500	142+500	54.5	33013.0
4	142+500	145+500	36.4	25497.4

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo los SN_{req} con corrección partiendo de los Módulos Resilientes por sectores homogéneos en el tramo de estudio hallados con el software Ecuación AASHTO 93:



Figura 29. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 1 con valor de Módulo Resiliente de 30069.4 psi (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % Zr=0.841 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 3.8 PSI final 2.0

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 28535.4 psi

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)

Coefficiente de transmisión de carga - (J)
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN W18 = 974257.29
 Calcular W18

Número Estructural
 SN = 1.91

Calcular Salir

Figura 30. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 2 con valor de Módulo Resiliente de 28535.4 psi (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % Zr=0.841 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 3.8 PSI final 2.0

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 33013.0 psi

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)

Coefficiente de transmisión de carga - (J)
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN W18 = 974257.29
 Calcular W18

Número Estructural
 SN = 1.80

Calcular Salir

Figura 31. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 3 con valor de Módulo Resiliente de 33013.0 psi (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Ecuación AASHTO 93

- Tipo de Pavimento		- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	
<input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible	<input type="radio"/> Pavimento rígido	80 % Zr=-0.841	So 0.45
- Serviciabilidad inicial y final		- Módulo resiliente de la subrasante	
PSI inicial 3.8	PSI final 2.0	Mr 25497.4 psi	
- Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)		Coeficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)		Coeficiente de drenaje - (Cd)	
- Tipo de Análisis		- Número Estructural	
<input checked="" type="radio"/> Calcular SN	W18 = 974257.29	SN = 2.00	
<input type="button" value="Calcular"/>		<input type="button" value="Salir"/>	

Figura 32. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 4 con valor de Módulo Resiliente de 25497.4 psi (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Teniéndose como resumen:

Tabla 31

Números Estructurales Requeridos (Diseño con corrección).

Sector	Inicio	Fin	ESAL (W18)	CBR Diseño (%)	Mr (psi)	R (%)	Z _R	So	Po	Pt	SNreq
1	116+500	121+500	9.78E+05	47.1	30069.4	80	-0.841	0.45	3.8	2.0	1.87
2	121+500	131+500	9.78E+05	43.4	28535.4	80	-0.841	0.45	3.8	2.0	1.91
3	131+500	142+500	9.78E+05	54.5	33013.0	80	-0.841	0.45	3.8	2.0	1.80
4	142+500	145+500	9.78E+05	36.4	25497.4	80	-0.841	0.45	3.8	2.0	2.00

Fuente: Elaboración Propia.

Número Estructural Propuesto. El SN_{prop} fue calculado para atender cada una de las estructuras requeridas de este tramo. Cabe indicarse que en las estructuras del pavimento propuesto se incluyen también las capas del pavimento existente.

Para esto utilizamos el criterio de coeficientes de capa y la ecuación general para el cálculo del número estructural propuesto.

$$SN_{prop} = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 + a_4 d_4 m_4$$

Donde:

a_1 : Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (1/pulg).

a_2 : Coeficiente estructural del reciclado de carpeta asfáltica y base granular (1/pulg).

a_3 : Coeficiente estructural del saldo de base granular (1/pulg).

a_4 : Coeficiente estructural de la subbase granular (1/pulg).

d_1 : Espesor de la carpeta asfáltica (pulg).

d_2 : Espesor del reciclado de carpeta asfáltica y base granular (pulg).

d_3 : Espesor del saldo de base granular (pulg).

d_4 : Espesor de la subbase granular (pulg).

m_2 : Coeficiente de drenaje del reciclado de carpeta asfáltica y base granular.

m_3 : Coeficiente de drenaje del saldo de base granular.

m_4 : Coeficiente de drenaje de la subbase granular.

Los coeficientes de aporte estructural se detallan a continuación:

Según el Ábaco de Coeficiente Estructural en Carpeta Asfáltica, para un Módulo Elástico ideal del Concreto Asfáltico de 430000psi se tiene un Coeficiente de Aporte Estructural de 0.430/pulg, entonces $a_1=0.430/\text{pulg}$.

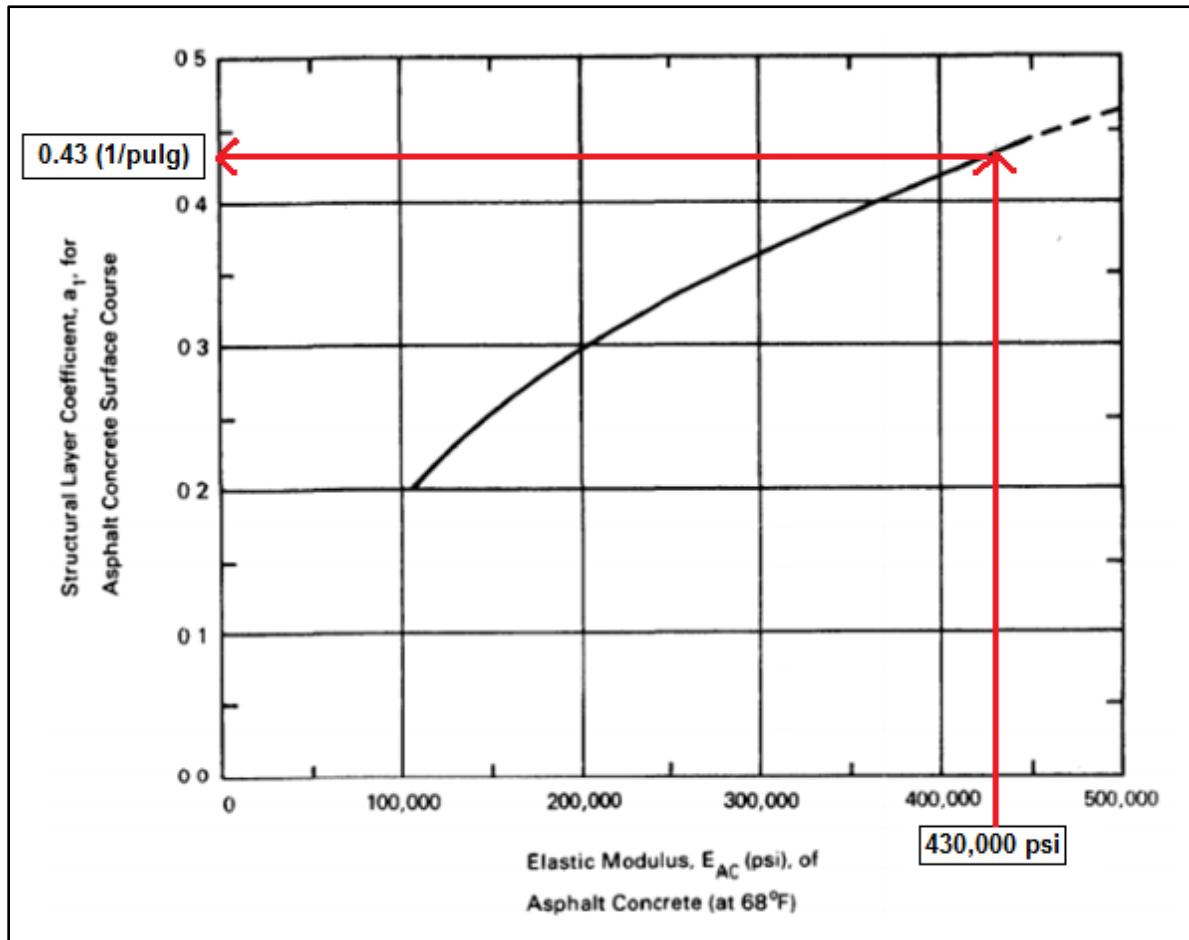


Figura 33. Valor de Coeficiente Estructural para una Mezcla de Concreto Asfáltico a partir de un Módulo de Elasticidad de 430000 psi (Diseño con corrección).
Fuente: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Del ensayo CBR al 98% de la M.D.S. a 0.1" de penetración del material de reciclado (espesor de muestreo de 3 pulgadas de carpeta asfáltica y 3 pulgadas de base granular) se obtuvo un valor de 78.1% de CBR. De acuerdo al Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Bases Granulares no-tratadas, para el valor de CBR registrado se tiene un valor de coeficiente de aporte estructural de 0.133/pulg. Teniendo $a_2=0.133/\text{pulg}$.

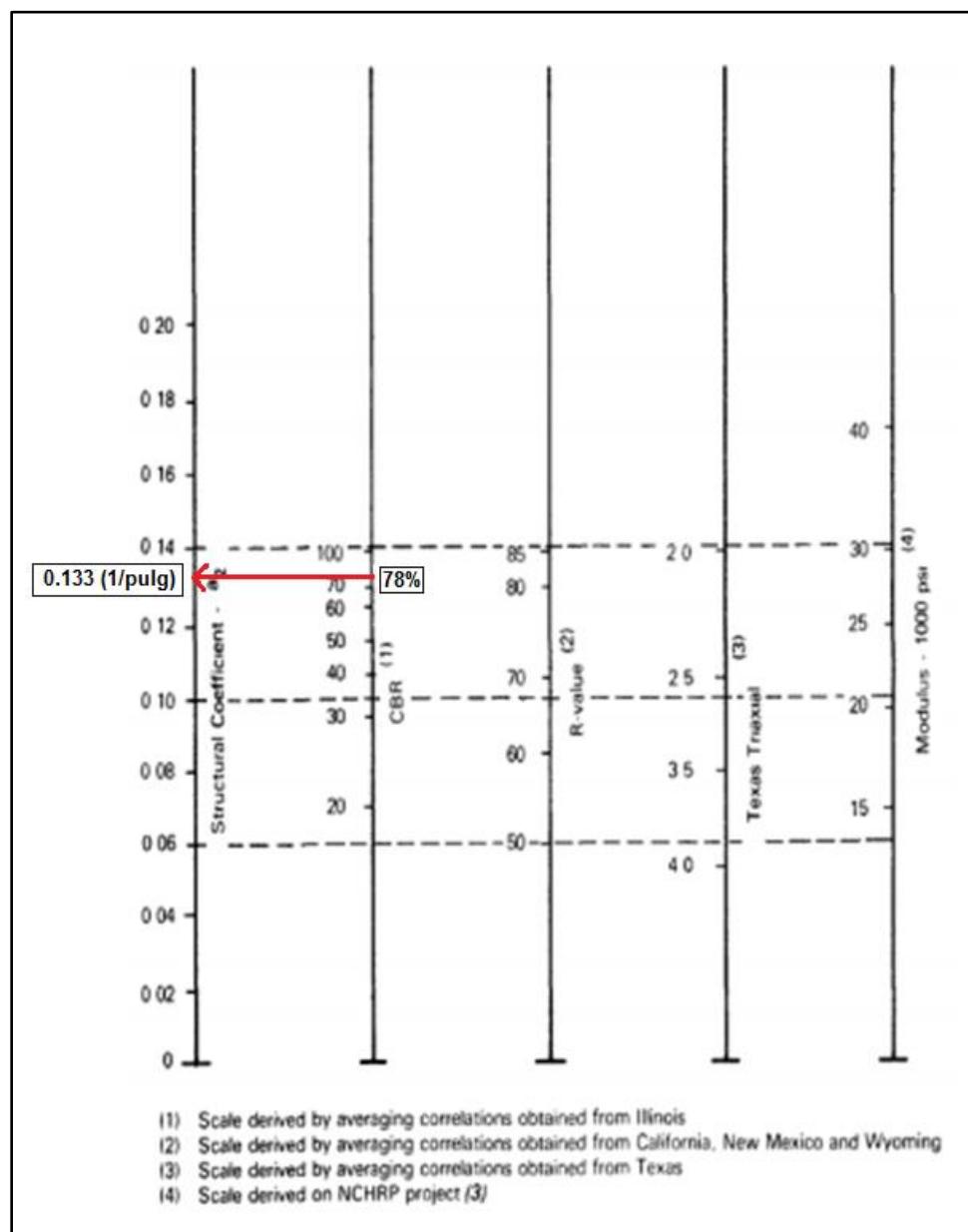


Figura 34. Valor de Coeficiente Estructural para Base Reciclada con CBR de 78.1% (Diseño con corrección).

Fuente: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

De los ensayos CBR al 100% de la M.D.S. a 0.1'' de penetración del material de base granular se obtuvo un valor de 131.9% en promedio respectivamente. De acuerdo al Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Bases Granulares no-tratadas, para el valor de CBR registrado se tiene un valor de coeficiente de aporte estructural de 0.140/pulg. Se halló $a_3=0.140/\text{pulg}$.

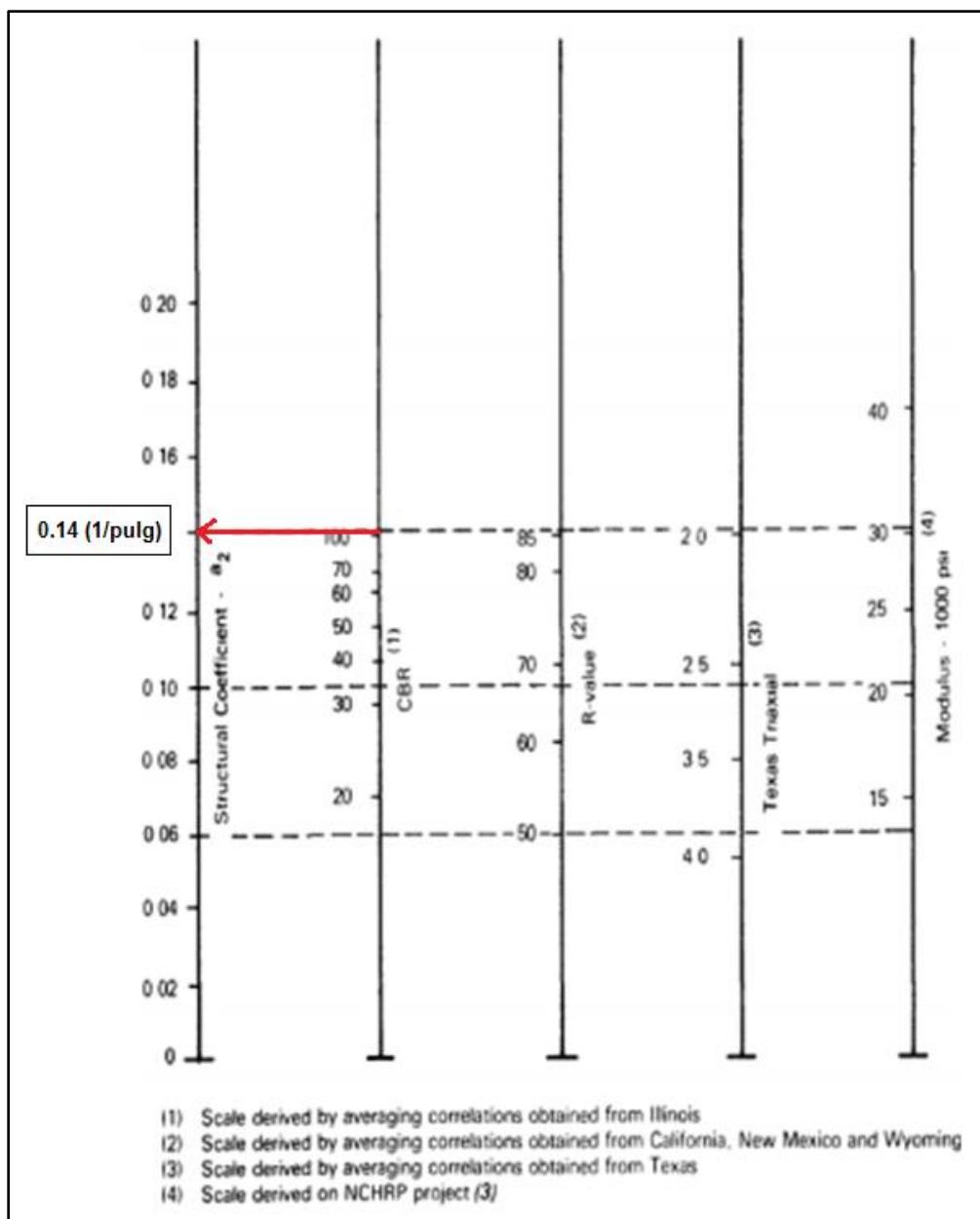


Figura 35. Valor de Coeficiente Estructural para Base Granular no-tratada con CBR de 131.9% (Diseño con corrección).

Fuente: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

De los ensayos CBR al 100% de la M.D.S. a 0.1'' de penetración del material de subbase granular se obtuvo un valor de 130.0% en promedio respectivamente. De acuerdo al Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Subbases Granulares no-tratadas, para el valor de CBR registrado se tiene un valor de coeficiente de aporte estructural de 0.14/pulg. Se halló $a_4=0.140/\text{pulg}$.

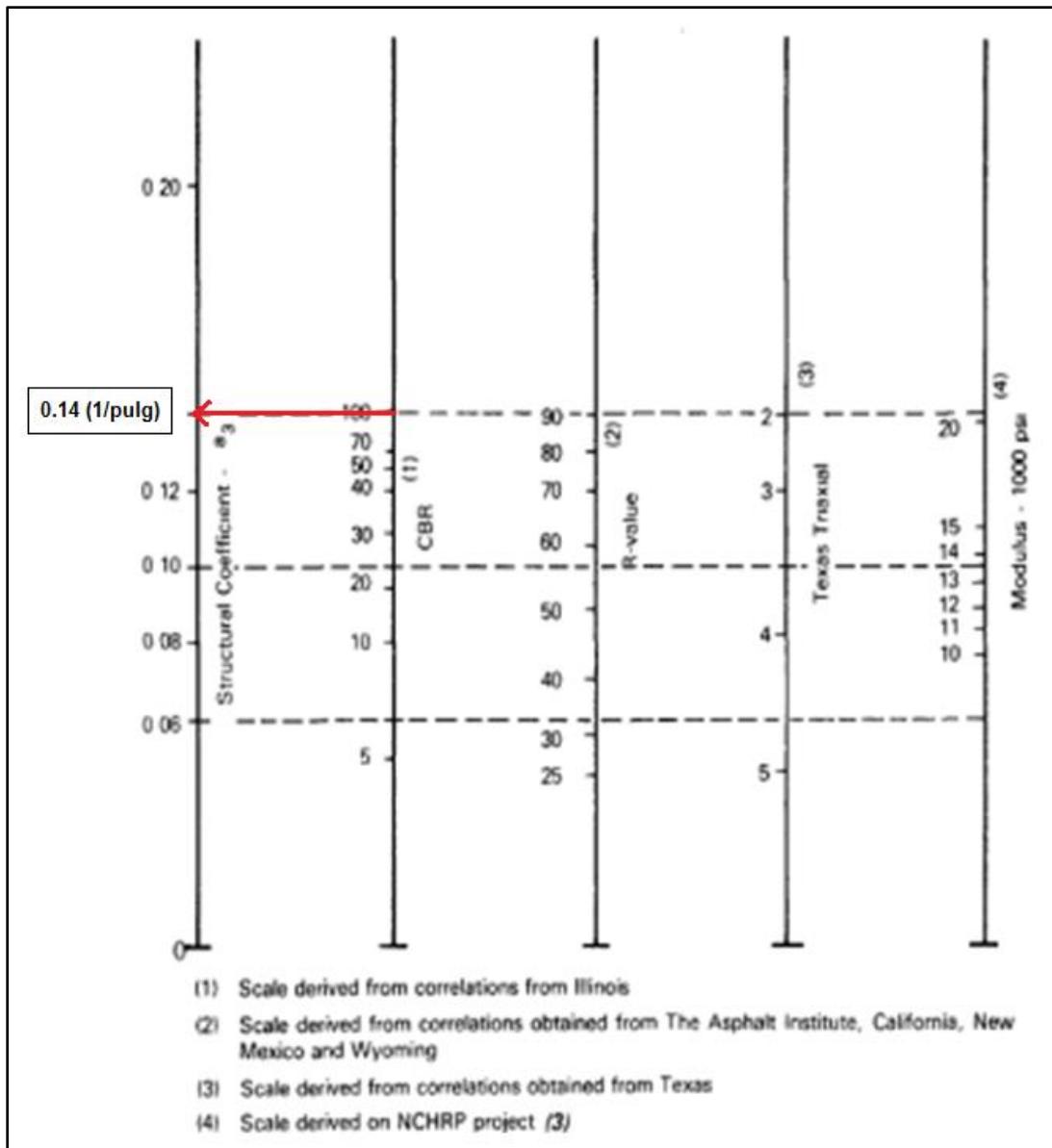


Figura 36. Valor de Coeficiente Estructural para Subbase Granular no-tratada con CBR de 130.0% (Diseño con corrección).

Fuente: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Respecto a los espesores del pavimento propuesto:

Se consideró añadir una carpeta con mezcla asfáltica tibia de 1" de espesor. Teniendo $d_1=1"$.

Se propuso reciclar 3" de carpeta asfáltica en caliente y 3" de base granular del pavimento existente, considerándose un espesor de reciclado de 6". Entonces $d_2=6"$.

Como la base granular era de 6" de espesor y solo se recicló la mitad, se tuvo un saldo de base granular de 3" de espesor. Hallando $d_3=3"$.

Finalmente, se mantuvo las 6" de espesor de subbase granular del pavimento existente. Considerando $d_4=6"$.

Cabe mencionar que en diseño de pavimentos 1" equivale a 2.5cm.

En relación con el coeficiente de drenaje para bases y subbases granulares en pavimentos flexibles:

Se deben tomar en cuenta dos aspectos: calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación. Para este caso:

El proyecto, referente a mecanismos de drenaje definitivos, no tuvo un sistema de drenaje completo: no se construyó subdrenes ni poseía alcantarillas en su totalidad. De hecho, se ha mejorado de una condición pobre a regular.

Además, solo 5 meses al año llueve en la zona del tramo en evaluación, entonces se puede deducir que el porcentaje del tiempo de lluvias equivale a 41.7%.

Con ambos aspectos recogidos, se puede encontrar un valor de coeficiente de drenaje en la tabla de Valores Recomendados del Coeficiente de Drenaje m_i para Bases y Subbases Granulares no tratadas en pavimentos flexibles. Este valor asciende de 0.60 (pobre) a 0.80 (regular).

Teniendo $m_2=m_3=m_4=0.80$.

En resumen:

Tabla 32
Coeficientes del Número Estructural Propuesto (Diseño con corrección).

Coeficiente	Unidad	Valor
a1	1/pulg	0.430
a2	1/pulg	0.133
a3	1/pulg	0.140
a4	1/pulg	0.140
d1	pulg	1
d2	pulg	6
d3	pulg	3
d4	pulg	6
m2	adimensional	0.8
m3	adimensional	0.8
m4	adimensional	0.8

Fuente: Elaboración Propia.

El valor del Número Estructural Propuesto fue:

$$SN_{prop} = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 + a_4 d_4 m_4$$

$$SN_{prop} = 0.43 * 1 + 0.133 * 6 * 0.8 + 0.14 * 3 * 0.8 + 0.14 * 6 * 0.8$$

$$SN_{prop} = 2.08$$

De acuerdo a las soluciones propuestas para cada sector y a los tramos homogéneos determinados con los CBRs de la subrasante por el Método de las Diferencias Acumuladas, se presenta el siguiente cuadro con la verificación del cumplimiento de la estructura del pavimento.

Tabla 33
Verificación del diseño estructural del pavimento flexible (Diseño con corrección).

ITEM	SECTOR HOMOG.	SECTOR			DESCRIPCION	SNprop	EVAL.
		INICIO	FIN	SNreq			
1	SECTOR HOMOG. 1	116+500	121+500	1.87	Reciclado mecánico de 6 pulg. de espesor del pavimento existente.	2.08	CUMPLE
					Imprimación asfáltica.		
2	SECTOR HOMOG. 2	121+500	131+500	1.91	Carpeta asfáltica con mezcla tibia ($e=1$ pulg.)	2.08	CUMPLE
					Reciclado mecánico de 6 pulg. de espesor del pavimento existente.		
3	SECTOR HOMOG. 3	131+500	142+500	1.80	Imprimación asfáltica.	2.08	CUMPLE
					Carpeta asfáltica con mezcla tibia ($e=1$ pulg.)		
4	SECTOR HOMOG. 4	142+500	145+500	2.00	Reciclado mecánico de 6 pulg. de espesor del pavimento existente.	2.08	CUMPLE
					Imprimación asfáltica.		
					Carpeta asfáltica con mezcla tibia ($e=1$ pulg.)		

Fuente: Elaboración Propia.

Sin corrección. Implica la corrección de índole estadística y física del paquete de pavimentos más no del terreno de fundación vial expresada estructuralmente.

Número Estructural Requerido. Para el cálculo del SN_{req} se partió recolectando los datos de entrada, los mismos que fueron obtenidos del estudio de suelos, estudio de tráfico, evaluación de la condición inicial del pavimento y manuales.

Según lo recomendado en el “Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección: Suelos y Pavimentos”, estos parámetros fueron considerados de acuerdo a la cantidad de ejes equivalentes proyectados para el tramo. Encontrándose en el rango entre 750,000 a 1'000,000 E.E. se tienen:

$$R = 80\%$$

$$Z_R = -0.841$$

$$P_i = 3.8$$

$$P_t = 2.0$$

$$\Delta PSI = 1.8$$

$$S_o = 0.45$$

Del estudio de suelos realizado en este tramo, se encontró diferentes estratos pertenecientes al terreno de fundación. Ya que estos estratos poseen un valor diferente de capacidad de soporte, se utilizó el concepto de CBR Compuesto para hallar el CBR representativo con corrección de la subrasante. Utilizando el Método de las Diferencias Acumuladas recomendado por la Guía AASHTO 1993, se obtuvieron subtramos homogéneos y CBRs promedio para cada uno de estos subtramos homogéneos (CBRs de diseño). Con estos CBRs de diseño se consiguió los Mr de la subrasante utilizando la fórmula propuesta por la AASHTO 2002.

Tabla 34

Calculo de CBR Compuesto de la subrasante (Diseño sin corrección).

ITEM	PROGRESIVA	T.F. CAPA 1		T.F. CAPA 2		CBR COMPUESTO (%)
		e (m)	CBR (%)	e (m)	CBR (%)	
1	116+500	0.200	16.0	0.925	16.5	16.5
2	117+500	0.200	54.0	0.925	55.0	55.0
3	118+500	0.500	47.9	0.825	48.6	48.5
4	119+500	0.200	32.3	0.925	28.8	28.8
5	120+500	0.300	45.7	0.825	55.1	54.7
6	121+500	0.200	36.3	0.925	41.7	41.6
7	122+500	0.300	47.7	0.825	32.5	33.2
8	123+500	1.125	43.5	-	-	43.5
9	124+500	0.200	28.3	0.925	22.5	22.6
10	125+500	0.200	51.6	ROCA		51.6
11	126+500	0.300	33.8	0.825	35.2	35.1
12	127+500	0.300	30.4	0.825	25.2	25.4
13	128+500	0.300	44.8	0.825	53.1	52.7
14	129+500	0.200	24.2	0.925	22.1	22.1
15	130+500	0.200	33.7	0.925	45.0	44.9
16	131+500	0.200	29.1	0.925	28.2	28.2
17	132+500	0.200	64.8	0.925	77.7	77.6
18	133+500	0.300	20.8	0.825	21.7	21.7
19	134+500	0.200	53.2	0.925	58.4	58.3
20	135+500	0.200	53.5	0.925	48.4	48.5
21	136+500	0.200	31.3	0.925	35.5	35.5
22	137+500	1.125	43.8	-	-	43.8
23	138+500	1.125	39.8	-	-	39.8
24	139+500	0.300	48.8	0.825	41.9	42.2
25	140+500	0.300	54.7	0.825	48.4	48.7
26	141+500	1.125	55.1	-	-	55.1
27	142+500	0.825	49.9	-	-	49.9
28	143+500	1.125	11.2	-	-	11.2
29	144+500	1.125	10.3	-	-	10.3
30	145+500	0.200	53.3	0.925	50.1	50.1

Fuente: Elaboración Propia.

Los tramos homogéneos, CBRs de diseño de la subrasante son los siguientes:

Tabla 35

Método Diferencias Acumuladas para CBR de subrasante (Diseño sin corrección).

Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Col 9	Col 10
Progresiva	CBR (%)	Nº Intervalo	Dist. entre Intervalos	Dist. Acumulada entre Intervalos	Intervalo Promedio	Área del Intervalo	Área Acumulada	Zx	Sub Tramos - CBR Prom. (%)
116+500	16.5	1	1000	1000	16.5	16495.0	16495.0	-22847.6	
117+500	55.0	2	1000	2000	35.7	35742.5	52237.5	-26447.8	
118+500	48.5	3	1000	3000	51.7	51731.3	103968.8	-14059.1	40.7
119+500	28.9	4	1000	4000	38.7	38653.8	142622.5	-14748.0	
120+500	54.7	5	1000	5000	41.8	41751.9	184374.4	-12338.7	
121+500	41.6	6	1000	6000	48.2	48157.4	232531.8	-3524.0	
122+500	33.2	7	1000	7000	37.4	37421.7	269953.4	-5445.0	
123+500	43.5	8	1000	8000	38.3	38348.7	308302.1	-6438.9	
124+500	22.6	9	1000	9000	33.0	33029.0	341331.1	-12752.5	
125+500	51.6	10	1000	10000	37.1	37079.0	378410.2	-15016.1	
126+500	35.1	11	1000	11000	43.4	43367.9	421778.0	-10990.9	37.3
127+500	25.4	12	1000	12000	30.3	30287.2	452065.2	-20046.3	
128+500	52.7	13	1000	13000	39.1	39078.9	491144.1	-20310.1	
129+500	22.1	14	1000	14000	37.4	37420.1	528564.2	-22232.6	
130+500	44.9	15	1000	15000	33.5	33504.0	562068.2	-28071.2	

131+500	28.2	16	1000	16000	36.5	36548.0	598616.1	-30865.9
132+500	77.6	17	1000	17000	52.9	52890.0	651506.1	-17318.6
133+500	21.7	18	1000	18000	49.6	49614.8	701120.9	-7046.4
134+500	58.3	19	1000	19000	40.0	40003.3	741124.2	-6385.7
135+500	48.4	20	1000	20000	53.4	53399.5	794523.7	7671.2
136+500	35.5	21	1000	21000	42.0	41954.5	836478.3	10283.1
137+500	43.8	22	1000	22000	39.6	39629.0	876107.2	10569.4
138+500	39.8	23	1000	23000	41.8	41800.0	917907.2	13026.8
139+500	42.2	24	1000	24000	41.0	41008.3	958915.5	14692.4
140+500	48.7	25	1000	25000	45.5	45452.8	1004368.3	20802.6
141+500	55.1	26	1000	26000	51.9	51894.5	1056262.8	33354.5
142+500	49.9	27	1000	27000	52.5	52500.0	1108762.8	46511.9
143+500	11.2	28	1000	28000	30.6	30550.0	1139312.8	37719.2
144+500	10.3	29	1000	29000	10.8	10750.0	1150062.8	9126.6
145+500	50.1	30	1000	30000	30.2	30216.0	1180278.8	0.0
146+500					At	1180278.8		
					Lp	30000.0		
					F	39.3		

Fuente: Elaboración Propia.

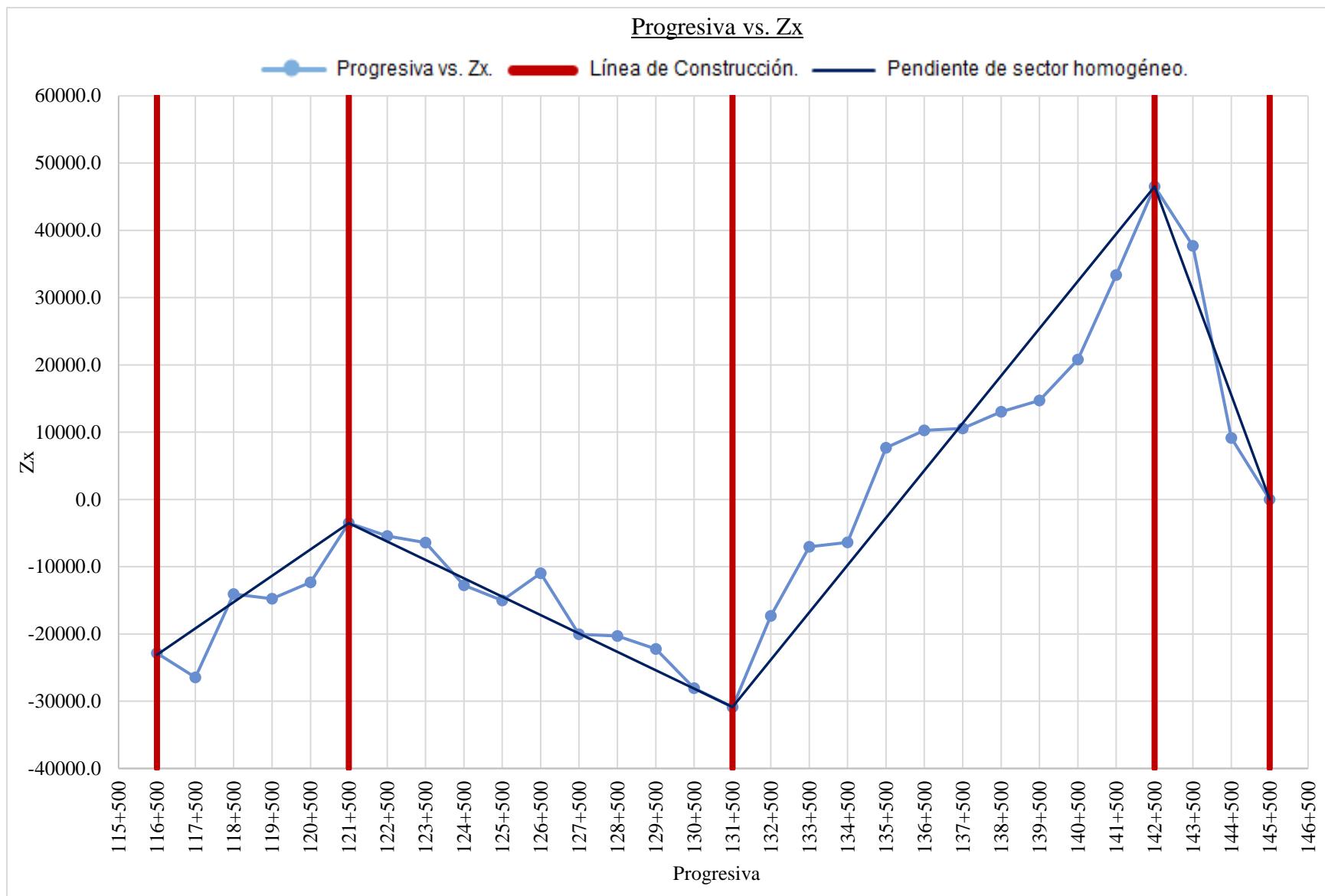


Figura 37. Gráfico de Progresiva vs. Zx para CBR de subrasante (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

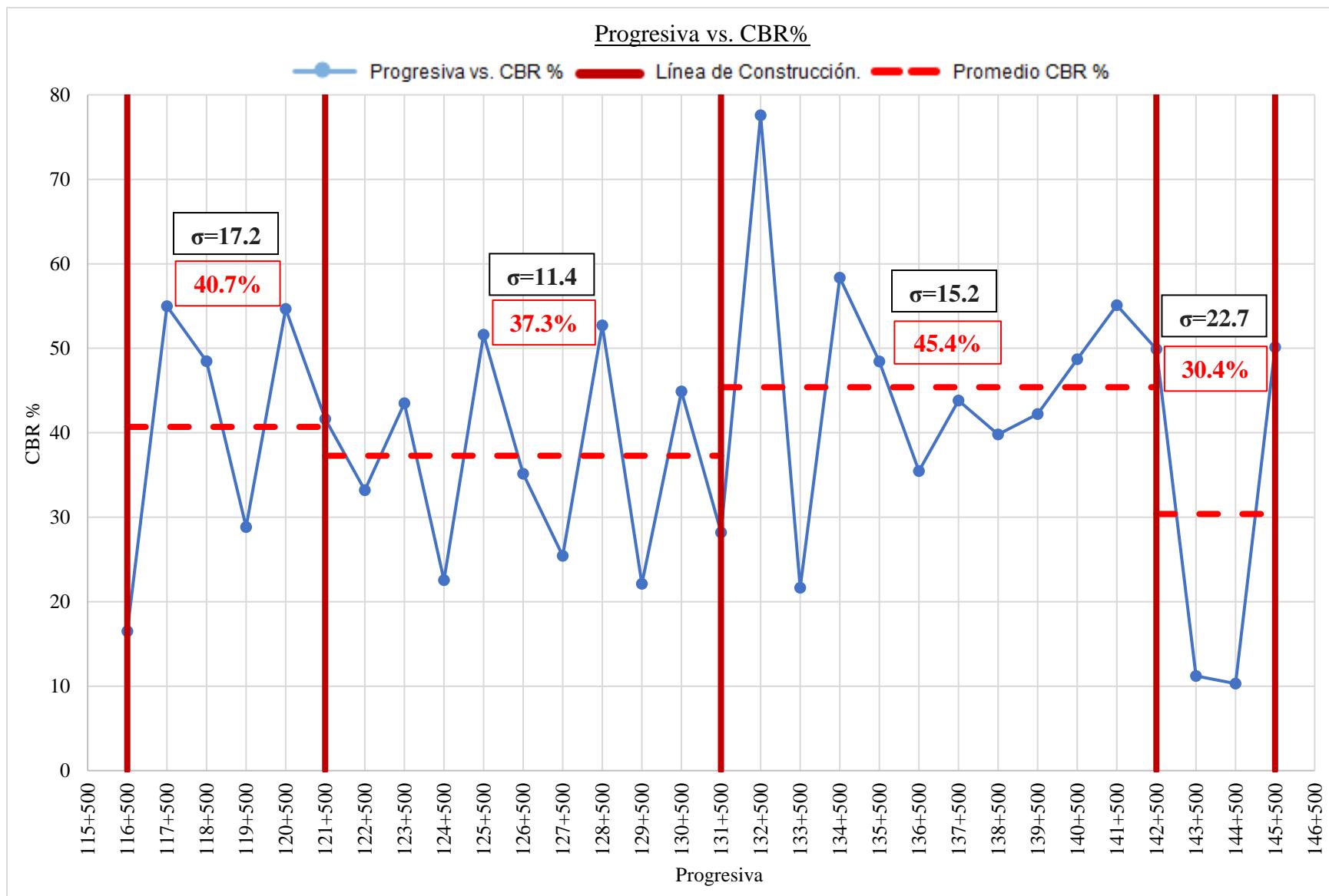


Figura 38. Gráfico de Progresiva vs. CBR% de subrasante (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 36
Sectores homogéneos, CBRs diseño y Módulos Resilientes (Diseño sin corrección).

Sector	Inicio	Fin	CBR diseño (%)	Módulo Resiliente (psi)
1	116+500	121+500	40.7	27386.2
2	121+500	131+500	37.3	25899.1
3	131+500	142+500	45.4	29370.2
4	142+500	145+500	30.4	22721.1

Fuente: Elaboración Propia.

Se obtuvo los SN_{req} sin corrección partiendo de los Módulos Resilientes por sectores

homogéneos en el Tramo 1 hallados con el software Ecuación AASHTO 93:

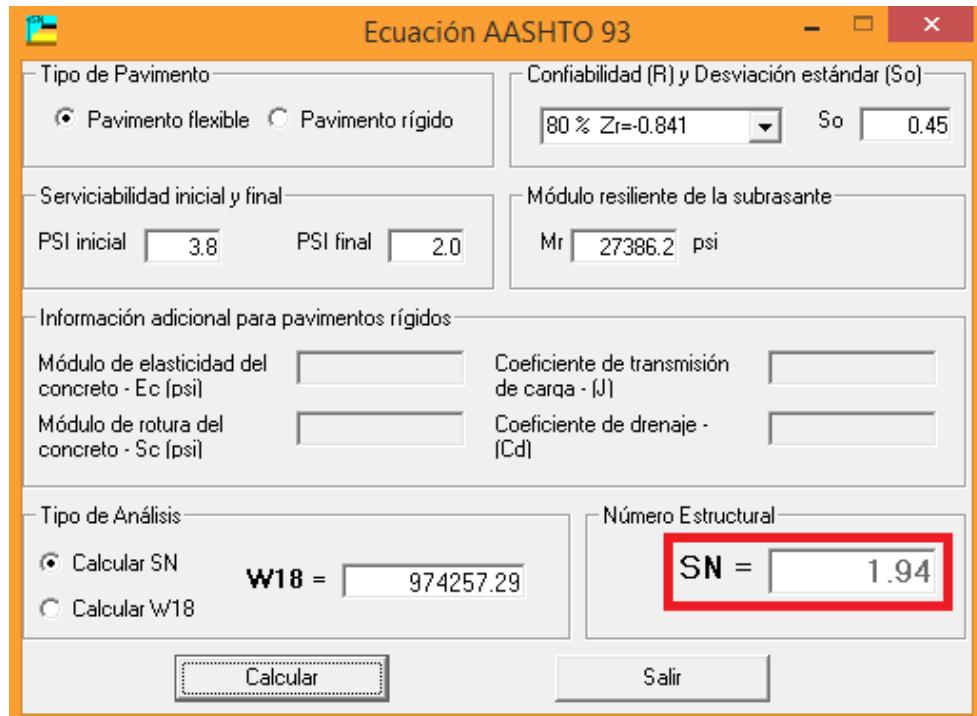


Figura 39. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 1 con valor de Módulo Resiliente de 27386.2 psi (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	
<input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible	<input type="radio"/> Pavimento rígido	80 % Zr=0.841	So 0.45
Serviciabilidad inicial y final		Módulo resiliente de la subrasante	
PSI inicial	3.8	PSI final	2.0
		Mr 25899.1 psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)		Coefficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)		Coefficiente de drenaje - (Cd)	
Tipo de Análisis		Número Estructural	
<input checked="" type="radio"/> Calcular SN	W18 = 974257.29	<input type="radio"/> Calcular W18	SN = 1.99
<input type="button" value="Calcular"/>		<input type="button" value="Salir"/>	

Figura 40. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 2 con valor de Módulo Resiliente de 25899.1 psi (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	
<input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible	<input type="radio"/> Pavimento rígido	80 % Zr=0.841	So 0.45
Serviciabilidad inicial y final		Módulo resiliente de la subrasante	
PSI inicial	3.8	PSI final	2.0
		Mr 29370.2 psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)		Coefficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)		Coefficiente de drenaje - (Cd)	
Tipo de Análisis		Número Estructural	
<input checked="" type="radio"/> Calcular SN	W18 = 974257.29	<input type="radio"/> Calcular W18	SN = 1.89
<input type="button" value="Calcular"/>		<input type="button" value="Salir"/>	

Figura 41. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 3 con valor de Módulo Resiliente de 29370.2 psi (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 42. Cálculo del SN_{req} en el sector homogéneo 4 con valor de Módulo Resiliente de 22721.1 psi (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Teniéndose como resumen:

Tabla 37

Números Estructurales Requeridos (Diseño sin corrección).

Sector	Inicio	Fin	ESAL (W18)	CBR Diseño (%)	Mr (psi)	R (%)	Z_R	So	Po	Pt	SN_{req}
1	116+500	121+500	9.78E+05	40.7	27386.2	80	-0.841	0.45	3.8	2.0	1.94
2	121+500	131+500	9.78E+05	37.3	25899.1	80	-0.841	0.45	3.8	2.0	1.99
3	131+500	142+500	9.78E+05	45.4	29370.2	80	-0.841	0.45	3.8	2.0	1.89
4	142+500	145+500	9.78E+05	30.4	22721.1	80	-0.841	0.45	3.8	2.0	2.09

Fuente: Elaboración Propia.

Número Estructural Propuesto. El SN_{prop} fue calculado para atender cada una de las estructuras requeridas de este tramo. Cabe indicarse que en las estructuras del pavimento propuesto se incluyen también las capas del pavimento existente.

Para esto utilizamos el criterio de coeficientes de capa y la ecuación general para el cálculo del número estructural propuesto.

$$SN_{prop} = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 + a_4 d_4 m_4$$

Donde:

a_1 : Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (1/pulg).

a_2 : Coeficiente estructural del reciclado de carpeta asfáltica y base granular (1/pulg).

a_3 : Coeficiente estructural del saldo de base granular (1/pulg).

a_4 : Coeficiente estructural de la subbase granular (1/pulg).

d_1 : Espesor de la carpeta asfáltica (pulg).

d_2 : Espesor del reciclado de carpeta asfáltica y base granular (pulg).

d_3 : Espesor del saldo de base granular (pulg).

d_4 : Espesor de la subbase granular (pulg).

m_2 : Coeficiente de drenaje del reciclado de carpeta asfáltica y base granular.

m_3 : Coeficiente de drenaje del saldo de base granular.

m_4 : Coeficiente de drenaje de la subbase granular.

Los coeficientes de aporte estructural se detallan a continuación:

Según el Ábaco de Coeficiente Estructural en Carpeta Asfáltica, para un Módulo Elástico ideal del Concreto Asfáltico de 430000 psi se tiene un Coeficiente de Aporte Estructural de 0.430/pulg, entonces $a_1=0.430/\text{pulg}$.

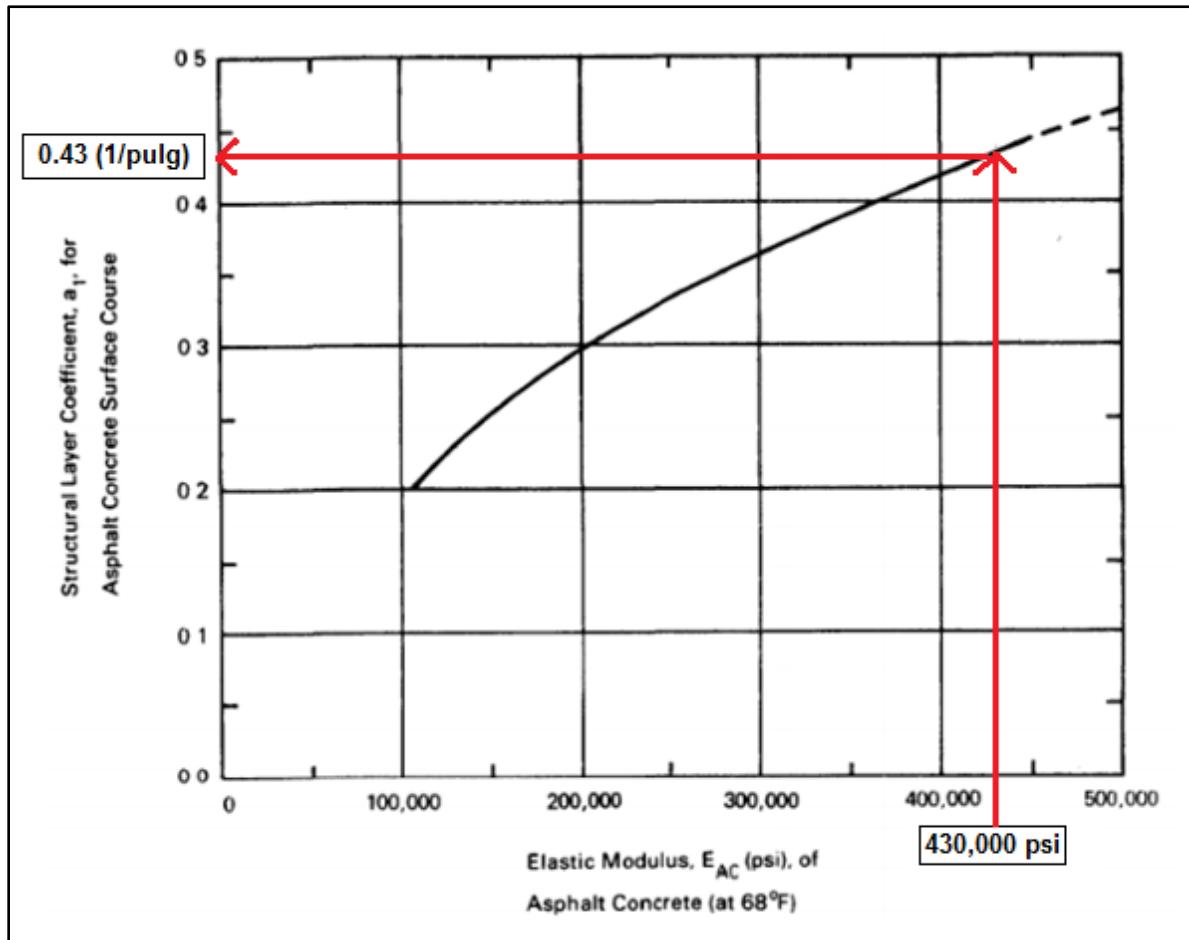


Figura 43. Valor de Coeficiente Estructural para una Mezcla de Concreto Asfáltico a partir de un Módulo de Elasticidad de 430000 psi (Diseño sin corrección).
Fuente: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Del ensayo CBR al 98% de la M.D.S. a 0.1" de penetración del material de reciclado (espesor de muestreo de 3 pulgadas de carpeta asfáltica y 3 pulgadas de base granular) se obtuvo un valor de 78.1% de CBR. De acuerdo al Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Bases Granulares no-tratadas, para el valor de CBR registrado se tiene un valor de coeficiente de aporte estructural de 0.133/pulg. Teniendo $a_2=0.133/\text{pulg}$.

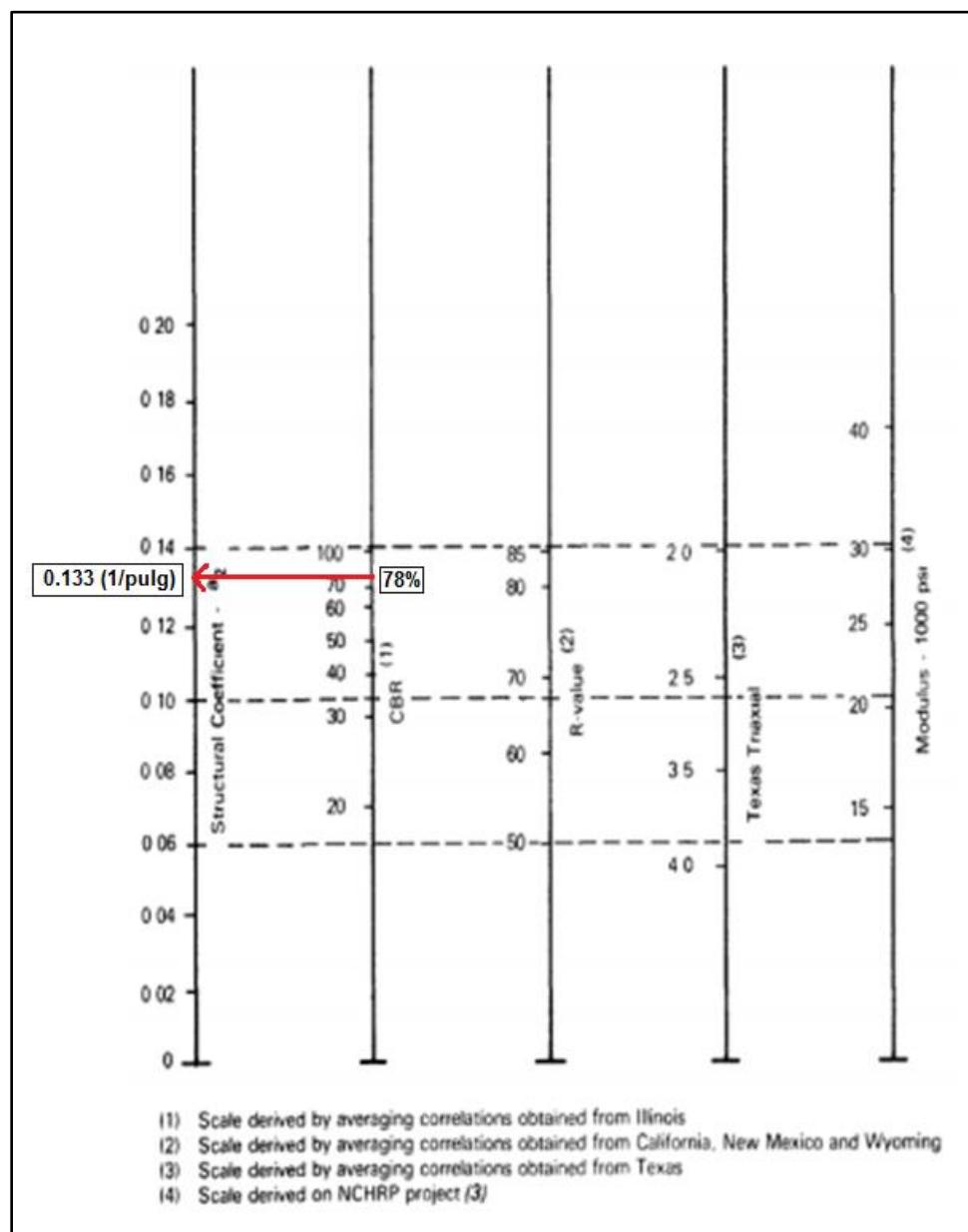


Figura 44. Valor de Coeficiente Estructural para Base Reciclada con CBR de 78.1% (Diseño sin corrección).

Fuente: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

De los ensayos CBR al 100% de la M.D.S. a 0.1'' de penetración del material de base granular se obtuvo un valor de 131.9% en promedio respectivamente. De acuerdo al Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Bases Granulares no-tratadas, para el valor de CBR registrado se tiene un valor de coeficiente de aporte estructural de 0.140/pulg. Se halló $a_3=0.140/\text{pulg}$.

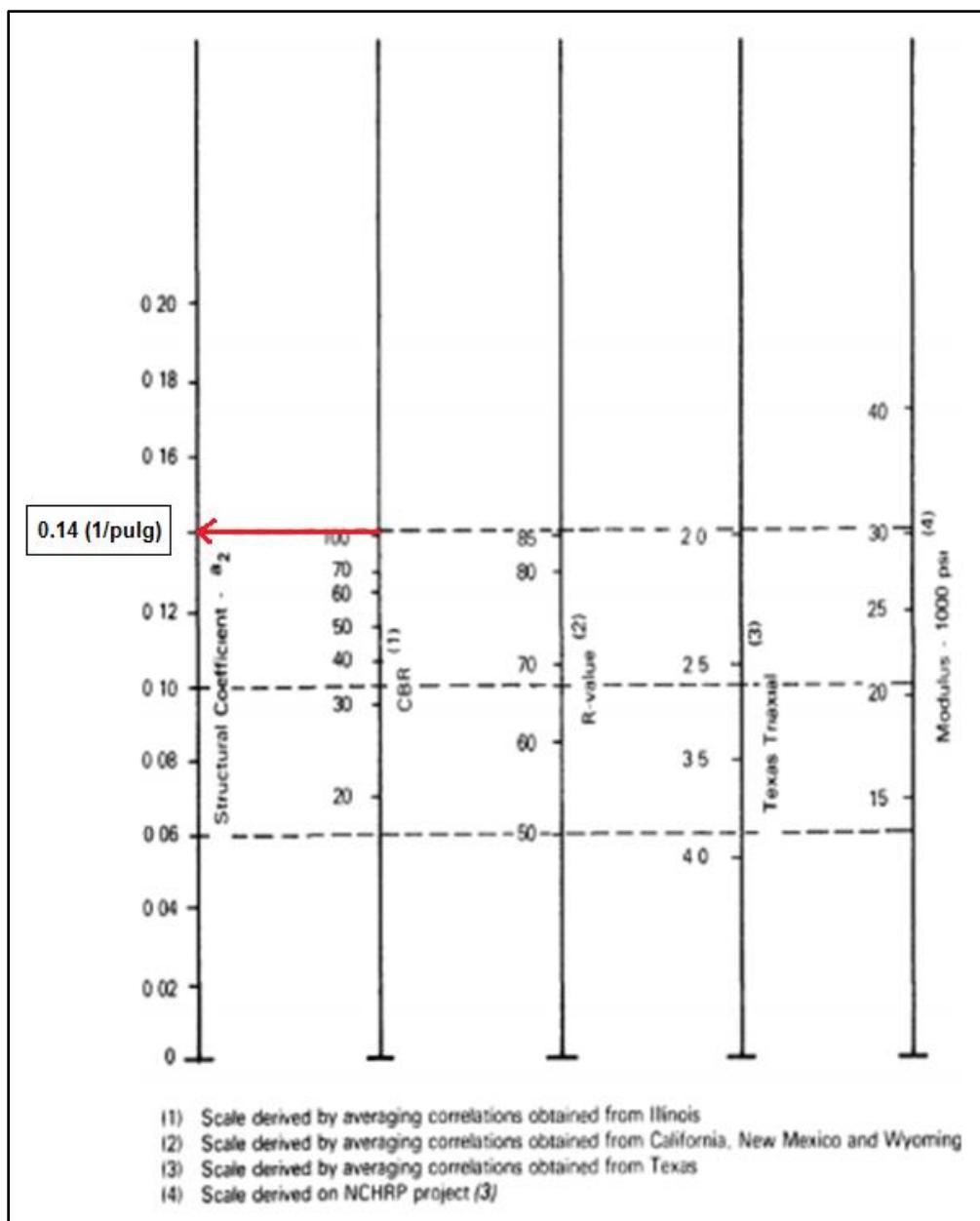


Figura 45. Valor de Coeficiente Estructural para Base Granular no-tratada con CBR de 131.9% (Diseño sin corrección).

Fuente: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

De los ensayos CBR al 100% de la M.D.S. a 0.1'' de penetración del material de subbase granular se obtuvo un valor de 130.0% en promedio respectivamente. De acuerdo al Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Subbases Granulares no-tratadas, para el valor de CBR registrado se tiene un valor de coeficiente de aporte estructural de 0.14/pulg. Se halló $a_4=0.140/\text{pulg}$.

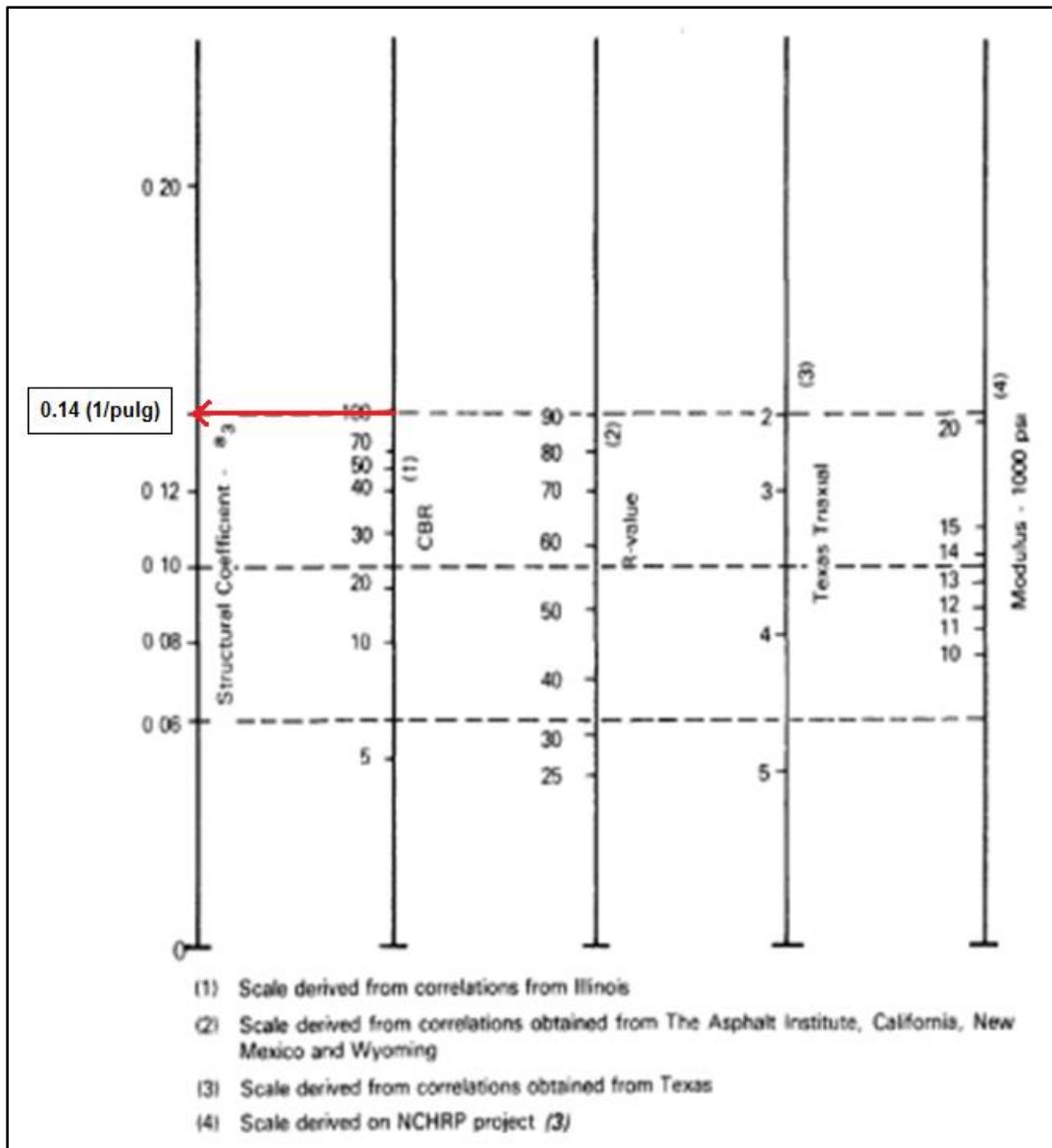


Figura 46. Valor de Coeficiente Estructural para Subbase Granular no-tratada con CBR de 130.0% (Diseño sin corrección).

Fuente: Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993.

Respecto a los espesores del pavimento propuesto:

Se consideró añadir una carpeta asfáltica tibia de 1.2" de espesor. Teniendo $d_1=1.2"$.

Se propuso reciclar 3" de carpeta asfáltica en caliente y 3" de base granular del pavimento existente, considerándose un espesor de reciclado de 6". Entonces $d_2=6"$.

Como la base granular era de 6" de espesor y solo se recicló la mitad, se tuvo un saldo de base granular de 3" de espesor. Hallando $d_3=3"$.

Finalmente, se mantuvo las 6" de espesor de subbase granular del pavimento existente.

Considerando $d_4=6"$.

Cabe mencionar que en diseño de pavimentos 1" equivale a 2.5cm.

En relación con el coeficiente de drenaje para bases y subbases granulares en pavimentos flexibles:

Se deben tomar en cuenta dos aspectos: calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación. Para este caso:

El proyecto, referente a mecanismos de drenaje definitivos, no tuvo un sistema de drenaje completo: no se construyó subdrenes ni poseía alcantarillas en su totalidad. De hecho, se ha mejorado de una condición pobre a regular.

Además, solo 5 meses al año llueve en la zona del tramo en evaluación, entonces se puede deducir que el porcentaje del tiempo de lluvias equivale a 41.7%.

Con ambos aspectos recogidos, se puede encontrar un valor de coeficiente de drenaje en la tabla de Valores Recomendados del Coeficiente de Drenaje m_i para Bases y Subbases Granulares no tratadas en pavimentos flexibles. Este valor asciende de 0.60 (pobre) a 0.80 (regular).

Teniendo $m_2=m_3=m_4=0.80$.

En resumen:

Tabla 38
Coeficientes del Número Estructural Propuesto (Diseño sin corrección).

Coeficiente	Unidad	Valor
a1	1/pulg	0.430
a2	1/pulg	0.133
a3	1/pulg	0.140
a4	1/pulg	0.140
d1	pulg	1.2
d2	pulg	6
d3	pulg	3
d4	pulg	6
m2	adimensional	0.8
m3	adimensional	0.8
m4	adimensional	0.8

Fuente: Elaboración Propia.

El valor del Número Estructural Propuesto fue:

$$SN_{prop} = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 + a_4 d_4 m_4$$

$$SN_{prop} = 0.43 * 1.2 + 0.133 * 6 * 0.8 + 0.14 * 3 * 0.8 + 0.14 * 6 * 0.8$$

$$SN_{prop} = 2.16$$

De acuerdo a las soluciones propuestas para cada sector y a los tramos homogéneos determinados con los CBRs de la subrasante por el Método de las Diferencias Acumuladas, se presenta el siguiente cuadro con la verificación del cumplimiento de la estructura del pavimento.

Tabla 39
Verificación del diseño estructural del pavimento flexible (Diseño sin corrección).

ITEM	SECTOR HOMOG.	SECTOR			SNreq	DESCRIPCION	SNprop	EVAL.
		INICIO	FIN					
1	SECTOR HOMOG. 1	116+500	121+500	1.94		Reciclado mecánico de 6 pulg. de espesor del pavimento existente.	2.16	CUMPLE
						Imprimación asfáltica.		
2	SECTOR HOMOG. 2	121+500	131+500	1.99		Carpetas asfálticas con mezcla tibia ($e=1.2$ pulg.)	2.16	CUMPLE
						Reciclado mecánico de 6 pulg. de espesor del pavimento existente.		
3	SECTOR HOMOG. 3	131+500	142+500	1.89		Imprimación asfáltica.	2.16	CUMPLE
						Carpetas asfálticas con mezcla tibia ($e=1.2$ pulg.)		
4	SECTOR HOMOG. 4	142+500	145+500	2.09		Reciclado mecánico de 6 pulg. de espesor del pavimento existente.	2.16	CUMPLE
						Imprimación asfáltica.		
						Carpetas asfálticas con mezcla tibia ($e=1.2$ pulg.)		

Fuente: Elaboración Propia.

Diseño Económico

Con corrección. Implica la elaboración del presupuesto estrechamente relacionado al costo directo de la construcción del pavimento solución con corrección en el Software S10 Costos y Presupuestos.

Análisis de Precios Unitarios (APU). Para la realización de los APU se partió recolectando los datos de entrada, los mismos que fueron obtenidos de obra, como son: descripción del recurso, unidad, cantidad, precio y rendimiento de mano de obra y equipos. De este modo, se estimó el costo por unidad de medida de cada partida involucrada en el presente presupuesto.

- Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente $e=0.15$ m.
- Imprimación Asfáltica.
- Recapado Asfáltico $e=0.025$ m.

Análisis de precios unitarios						
Presupuesto	0101001 PROYECTO DE CONSERVACION VIAL SANTA ROSA TRAMO 1 "DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE" (DISEÑO CON CORRECCIÓN)	Subpresupuesto	001 PAVIMENTO SOLUCIÓN CON CORRECIÓN	Fecha presupuesto:	25/02/2019	
Partida	01.01 RECICLADO DE PAVIMENTO ESTABILIZADO MECANICAMENTE ($e=0.15$ m)					
Rendimiento	m ² /DÍA		MO. 2,600.0000	EQ. 2,600.0000	C.U directo por : m ²	5.62
Código	Descripción Recurso	Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/. Parcial S/.
0101010005	CAPATÁZ		hh	1.0000	0.0031	27.32 0.08
0101010006	PEÓN		hh	8.0000	0.0246	15.34 0.38
0101010007	OPERARIO		hh	2.0000	0.0062	21.02 0.13
						0.59
Equipos						
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	0.59 0.03
0301010013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP. 101-135HP 10-12TON		hm	1.0000	0.0031	152.19 0.47
0301010014	MOTONIVELADORA DE 145-150HP		hm	1.0000	0.0031	206.65 0.64
0301010015	RECICLADORA 396HP		hm	1.0000	0.0031	700.59 2.17
						3.31
Subcontratos						
0401010004	SUMINISTRO DE AGUA PARA LA OBRA		m3		0.0750	22.98 1.72
						1.72

Figura 47. APU de partida Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente $e=0.15$ m (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Partida	01.02	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA					
Rendimiento	m2/DIA		MO. 4,500.0000	EQ. 4,500.0000	C.U directo por : m2	4.27	
Código	Descripción Recurso						
		Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
0101010005	CAPATÁZ		hh	1.0000	0.0018	27.32	0.05
0101010006	PEÓN		hh	6.0000	0.0107	15.34	0.16
		Materiales					0.21
0201010002	ASFALTO DILUIDO MC - 30		I		1.1500	2.80	3.22
		Equipos					3.22
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	0.21	0.01
0301010008	COMPRESORA NEUMÁTICA 87HP, 250-330 PCM		hm	1.0000	0.0018	78.21	0.14
0301010009	MINICARGADOR DE 70HP		hm	1.0000	0.0018	87.43	0.16
0301010010	CAMIÓN IMPRIMADOR 6X2, 178 - 210HP, 2000 GLNS		hm	1.0000	0.0018	167.55	0.30
		Subpartidas					0.61
010101010104	TRANSPORTE DE ARENA DE IMPRIMACION		m3		0.0050	11.88	0.06
010101010105	ARENA ZARANDEADA		m3		0.0050	33.35	0.17
							0.23

Figura 48. APU de partida Imprimación Asfáltica (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

A su vez la partida de Imprimación Asfáltica contiene 2 subpartidas: Transporte de Arena de Imprimación y Arena Zarandeadas.

Partida	01.02.01	TRANSPORTE DE ARENA DE IMPRIMACION					
Rendimiento	m3/DIA		MO. 180.0000	EQ. 180.0000	C.U directo por : m3	11.88	
Código	Descripción Recurso						
		Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
0101010005	CAPATÁZ		hh	0.1000	0.0044	27.32	0.12
		Equipos					0.12
0301010007	CARGADOR SOBRELLANTAS 125-155HP 3.0 Y3		hm	0.1000	0.0044	179.01	0.79
0301010013	CAMIÓN VOLQUETE 6X4, 15m3		hm	1.0000	0.0444	247.11	10.97
							11.76

Figura 49. APU de subpartida Transporte de Arena de Imprimación (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Partida	01.02.02	ARENA ZARANDEADA					
Rendimiento	m3/DIA		MO. 1.0000	EQ. 1.0000	C.U directo por : m3	33.35	
Código	Descripción Recurso						
		Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
0201010003	DERECHO DE CANTERA		m3		1.0000	2.00	2.00
		Subcontratos					
0401010001	EXPLOTACIÓN DE CANTERAS		m3		1.1386	4.88	5.56
0401010002	TRANSPORTE INTERNO		m3		1.1386	8.07	9.19
0401010003	ZARANDEO DE ARENAS		m3		1.1386	14.58	16.60
							31.35

Figura 50. APU de subpartida Arena Zarandeada (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Partida	01.03	RECAPADO ASFÁLTICO (e=0.025m)				
Rendimiento	m2/DIA		MO. 4,800.0000	EQ. 4,800.0000	C.U directo por : m2	20.92
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/. Parcial S/.
		Mano de Obra				
0101010006	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0001	27.32 0.00
0101010007	OPERARIO		hh	1.0000	0.0011	21.02 0.02
0101010008	PEÓN		hh	6.0000	0.0067	15.34 0.10
						0.13
		Materiales				
0201010005	CEMENTO ASFÁLTICO PEN 120/150		l		4.8750	1.34 6.53
0201010007	CAL HIDRATADA 1%		kg		1.6500	0.84 1.39
0201010009	ADITIVO WARMIX EVOOTHERM 3G		kg		0.0240	30.42 0.73
						8.65
		Equipos				
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	0.13 0.01
0301010013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP. 101-135HP 10-12TON		hm	1.0000	0.0011	152.19 0.17
0301010016	RODILLO NEUMÁTICO AUTOP. 135HP, 9-20TON		hm	1.0000	0.0011	154.94 0.17
0301010017	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105HP		hm	1.0000	0.0011	153.92 0.17
						0.51
		Subpartidas				
010101010109	MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA PARA RECAPEO		m3		0.0650	158.28 10.29
010101010112	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA		m3		0.0500	26.77 1.34
						11.63

Figura 51. APU de partida Recapado Asfáltico e=0.025 m (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Del mismo modo la partida Recapado Asfáltico e=0.025 m contiene 2 subpartidas: Mezcla Asfáltica Tibia para Recapeo y Transporte de Mezcla Asfáltica Tibia.

Partida	01.03.01	MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA PARA RECAPEO				
Rendimiento	m3/DIA		MO. 180.0000	EQ. 180.0000	C.U directo por : m3	158.28
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/. Parcial S/.
		Mano de Obra				
0101010008	OFICIAL		hh	1.0000	0.0444	17.04 0.76
0101010007	OPERARIO		hh	1.0000	0.0444	21.02 0.93
0101010005	CAPATÁZ		hh	1.0000	0.0444	27.32 1.21
0101010006	PEÓN		hh	6.0000	0.2667	15.34 4.09
						6.99
		Materiales				
0201010008	PETROLEO		gal		5.2500	9.00 47.25
						47.25
		Equipos				
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	6.99 0.35
0301010011	CARGADOR SOBRELLANTAS 125-155HP 3.0 Y3		hm	1.0000	0.0444	179.01 7.95
0301010018	GRUPO ELECTRÓGENO DE 140HP 90KW		hm	2.0000	0.0889	135.17 12.02
0301010019	PLANTA DE ASFALTO 150 TON/HR		hm	1.0000	0.0444	329.24 14.62
						34.93
		Subpartidas				
010101010110	PIEDRA CHANCADA PARA ASFALTO		m3		0.4500	57.52 25.88
010101010111	ARENA CHANCADA PARA ASFALTO		m3		0.5500	78.59 43.22
						69.11

Figura 52. APU de subpartida Mezcla Asfáltica Tibia para Recapeo (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

La subpartida Mezcla Asfáltica Tibia para Recapeo tiene 2 subpartidas en ella: Piedra Chancada para Asfalto y Arena Chancada para Asfalto.

Partida 01.03.01.01 PIEDRA CHANCADA PARA ASFALTO						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	C.U directo por : m3	57.52	
Código	Descripción Recurso					
	Materiales	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S./.
0201010003	DERECHO DE CANTERA	m3		1.0000	2.00	2.00
	Subcontratos					
0401010001	EXPLOTACIÓN DE CANTERAS	m3		1.0314	4.88	5.03
0401010005	TRANSPORTE DE CANTERA A PLANTA DE CHANCIADO	m3		1.0314	8.07	8.32
0401010006	ZARANDEADO	m3		1.0314	8.40	8.66
0401010007	CHANCIADO PRODUCCIÓN DE PIEDRAS	m3		1.0314	15.34	15.82
0401010008	TRANSPORTE DE CHANCIADORA A PLANTA DE ASFALTO	m3		1.0314	17.15	17.69
						55.52

Figura 53. APU de subpartida Piedra Chancada para Asfalto (Diseño con corrección).
Fuente: Elaboración Propia.

Partida 01.03.01.02 ARENA CHANCADA PARA ASFALTO						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	C.U directo por : m3	78.59	
Código	Descripción Recurso					
	Materiales	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S./.
0201010003	DERECHO DE CANTERA	m3		1.0000	2.00	2.00
	Subcontratos					
0401010001	EXPLOTACIÓN DE CANTERAS	m3		1.2000	4.88	5.86
0401010005	TRANSPORTE DE CANTERA A PLANTA DE CHANCIADO	m3		1.2000	8.07	9.68
0401010003	ZARANDEO DE ARENAS	m3		1.2000	14.58	17.50
0401010008	TRANSPORTE DE CHANCIADORA A PLANTA DE ASFALTO	m3		1.2000	17.15	20.58
0401010009	CHANCIADO DE ARENA	m3		1.2000	19.14	22.97
						76.59

Figura 54. APU de subpartida Arena Chancada para Asfalto (Diseño con corrección).
Fuente: Elaboración Propia.

Partida 01.03.02 TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 80.0000	EQ. 80.0000	C.U directo por : m3	26.77	
Código	Descripción Recurso					
	Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S./.
0101010005	CAPATÁZ	hh		0.1000	0.0100	27.32
	Equipos					
0301010011	CARGADOR SOBRELLANTAS 125-155HP 3.0 Y3	hm		0.1000	0.0100	179.01
0301010012	CAMIÓN VOLQUETE 6X4, 15m3	hm		1.0000	0.1000	247.11
						26.50

Figura 55. APU de subpartida Transporte de Mezcla Asfáltica Tibia (Diseño con corrección).
Fuente: Elaboración Propia.

Sección Transversal. Se hizo uso de la sección transversal del pavimento solución con corrección y se definió los anchos incidentes al metrado.

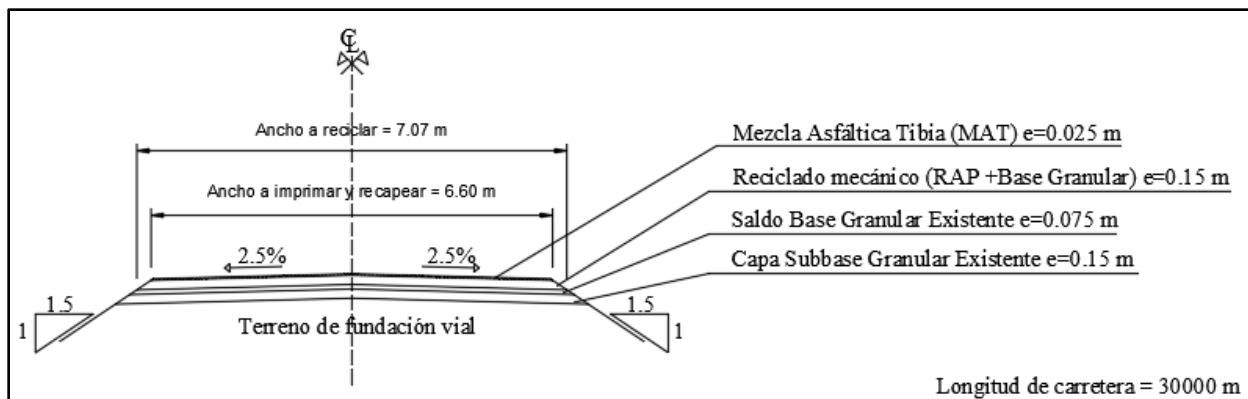


Figura 56. Sección transversal del pavimento solución (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Metrado. Las medidas “Ancho a reciclar” y “Ancho a imprimir y recapar” son transformadas a áreas, para ingresarlas en el metrado. Se tiene:

Tabla 40

Metrado de partidas en pavimento solución (Diseño con corrección).

Partida	Unidad	Ancho (m)	Longitud (m)	Área (m ²)
Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente (e=0.15 m)	m ²	7.07	30000.00	212100.00
Imprimación Asfáltica	m ²	6.60	30000.00	198000.00
Recapado Asfáltico (e=0.025 m)	m ²	6.60	30000.00	198000.00

Fuente: Elaboración Propia.

Presupuesto. A continuación, se presenta el presupuesto para el pavimento solución con corrección:

Presupuesto					
Presupuesto	0101002	PROYECTO DE CONSERVACION VIAL SANTA ROSA TRAMO 1 "DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE" (DISEÑO CON CORRECCIÓN)			
Subpresupuesto	001	PAVIMENTO SOLUCIÓN CON CORRECCIÓN			
Cliente	MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES		Costo al	25/02/2019	
Lugar	PUNO - PUNO - PUNO				
Item	Descripción		Und.	Metrado	Precio S/. Parcial S/.
01	CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO SOLUCIÓN CON CORRECCIÓN				6,179,622.00
01.01	RECICLADO DE PAVIMENTO ESTABILIZADO MECÁNICAMENTE (e=0.15m)		m2	212,100.00	5.62 1,192,002.00
01.02	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA		m2	198,000.00	4.27 845,460.00
01.03	RECAPADO ASFÁLTICO (e=0.025m)		m2	198,000.00	20.92 4,142,160.00
	Costo Directo				6,179,622.00
SON : SEIS MILLONES CIENTO SETENTINUEVE MIL SEISCIENTOS VEINTIDOS Y 00/100 SOLES					

Figura 57. Presupuesto de la construcción del pavimento solución (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Se registró un presupuesto de S/. 6,179,622.00 para la ejecución del pavimento con corrección del CBR de Laboratorio.

Análogamente, se presenta el presupuesto de precios y cantidades de recursos requeridos por tipo:

Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo						
Obra	0101002	PROYECTO DE CONSERVACION VIAL SANTA ROSA TRAMO 1 "DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE" (DISEÑO CON CORRECCIÓN)				
Subpresupuesto	001	PAVIMENTO SOLUCIÓN CON CORRECCIÓN				
Fecha	25/02/2019					
Lugar	210101	PUNO - PUNO - PUNO				
Código	Recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA						
0101010005	CAPATÁZ		hh	1,706.3205	27.32	46,616.68
0101010006	PEÓN		hh	12,084.0826	15.34	185,369.83
0101010007	OPERARIO		hh	2,106.2925	21.02	44,274.27
0101010008	OFICIAL		hh	574.0021	17.04	9,781.00
						<u>286,041.77</u>
MATERIALES						
0201010002	ASFALTO DILUIDO MC - 30		l	227,621.3285	2.80	637,339.72
0201010003	DERECHO DE CANTERA		m3	13,855.2159	2.00	27,710.43
0201010005	CEMENTO ASFÁLTICO PEN 120/150		l	964,916.5217	1.34	1,292,988.14
0201010007	CAL HIDRATADA 1%		kg	326,587.1363	0.84	274,333.19
0201010008	PETROLEO		gal	67,554.0516	9.00	607,986.46
0201010009	ADITIVO WARMIX EVOTHERM 3G		kg	4,750.3585	30.42	144,505.91
						<u>2,984,863.86</u>
EQUIPOS						
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo			14,086.35
0301010008	COMPRESORA NEUMÁTICA 87HP, 250-330 PCM		hm	356.2768	78.21	27,864.41
0301010009	MINICARGADOR DE 70HP		hm	356.2769	87.43	31,149.29
0301010010	CAMIÓN IMPRIMADOR 6X2, 178 - 210HP, 2000 GLNS		hm	356.2769	167.55	59,694.19
0301010011	CARGADOR SOBRELLANTAS 125-155HP 3.0 Y3		hm	672.9675	179.01	120,467.90
0301010012	CAMIÓN VOLQUETE 6X4, 15m3		hm	1,029.2443	247.11	254,336.55
0301010013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP. 101-135HP 10-12TON		hm	875.0076	152.19	133,167.40
0301010014	MOTONIVELADORA DE 145-150HP		hm	657.2828	206.65	135,827.50
0301010015	RECICLADORA 396HP		hm	657.2828	700.59	460,485.77
0301010016	RODILLO NEUMÁTICO AUTOP. 135HP, 9-20TON		hm	217.7247	154.94	33,734.27
0301010017	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105HP		hm	217.7248	153.92	33,512.20
0301010018	GRUPO ELECTRÓGENO DE 140HP 90KW		hm	1,148.0033	135.17	155,175.60
0301010019	PLANTA DE ASFALTO 150 TON/HR		hm	574.0016	329.24	188,984.30
						<u>1,648,485.74</u>
SUBCONTRATOS						
0401010001	EXPLOTACIÓN DE CANTERAS		m3	15,597.0077	4.88	76,113.40
0401010002	TRANSPORTE INTERNO		m3	1,128.2107	8.07	9,104.66
0401010003	ZARANDEO DE ARENAS		m3	9,619.4752	14.58	140,251.95
0401010004	SUMINISTRO DE AGUA PARA LA OBRA		m3	15,902.0045	22.98	365,428.06
0401010005	TRANSPORTE DE CANTERA A PLANTA DE CHANCADO		m3	14,468.8012	8.07	116,763.23
0401010006	ZARANDEADO		m3	5,977.5329	8.40	50,211.28
0401010007	CHANCADO PRODUCCIÓN DE PIEDRAS		m3	5,977.5336	15.34	91,695.37
0401010008	TRANSPORTE DE CHANCADORA A PLANTA DE ASFALTO		m3	14,468.8000	17.15	248,139.92
0401010009	CHANCADO DE ARENA		m3	8,491.2654	19.14	162,522.82
						<u>1,260,230.68</u>
				Total	S/.	<u>6,179,622.00</u>

Figura 58. Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo del pavimento solución (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Sin corrección. Implica la elaboración del presupuesto estrechamente relacionado al costo directo de la construcción del pavimento solución sin corrección en el Software S10 Costos y Presupuestos.

Análisis de Precios Unitarios (APU). Para la realización de los APU se partió recolectando los datos de entrada, los mismos que fueron obtenidos de obra, como son: descripción del recurso, unidad, cantidad, precio y rendimiento de mano de obra y equipos. De este modo, se estimó el costo por unidad de medida de cada partida involucrada en el presente presupuesto.

- Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente $e=0.15$ m.
- Imprimación Asfáltica.
- Recapado Asfáltico $e=0.030$ m.

Análisis de precios unitarios						
Presupuesto	0101001 PROYECTO DE CONSERVACION VIAL SANTA ROSA TRAMO 1 "DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE" (DISEÑO SIN CORRECCIÓN)					Fecha presupuesto:
Subpresupuesto	002 PAVIMENTO SOLUCIÓN SIN CORRECCIÓN					25/02/2019
Partida	02.01 RECICLADO DE PAVIMENTO ESTABILIZADO MECÁNICAMENTE ($e=0.15$ m)					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 2,600.0000	EQ. 2,600.0000	C.U directo por : m2	5.62	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010005	CAPATÁZ	hh	1.0000	0.0031	27.32	0.08
0101010006	PEÓN	hh	8.0000	0.0246	15.34	0.38
0101010007	OPERARIO	hh	2.0000	0.0062	21.02	0.13
						0.59
	Equipos					
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.59	0.03
0301010013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP. 101-135HP 10-12TON	hm	1.0000	0.0031	152.19	0.47
0301010014	MOTONIVELADORA DE 145-150HP	hm	1.0000	0.0031	206.65	0.64
0301010015	RECICLADORA 396HP	hm	1.0000	0.0031	700.59	2.17
						3.31
	Subcontratos					
0401010004	SUMINISTRO DE AGUA PARA LA OBRA	m3		0.0750	22.98	1.72
						1.72

Figura 59. APU de partida Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente $e=0.15$ m (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Partida	02.02	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA					
Rendimiento	m2/DIA		MO. 4,500.0000	EQ. 4,500.0000	C.U directo por : m2	4.27	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Mano de Obra					
0101010005	CAPATÁZ		hh		1.0000	0.0018	27.32
0101010006	PEÓN		hh		6.0000	0.0107	15.34
		Materiales					0.16
0201010002	ASFALTO DILUIDO MC - 30		I			1.1500	2.80
		Equipos					3.22
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES		%/mo			5.0000	0.21
0301010008	COMPRESORA NEUMÁTICA 87HP, 250-330 PCM		hm		1.0000	0.0018	78.21
0301010009	MINICARGADOR DE 70HP		hm		1.0000	0.0018	87.43
0301010010	CAMIÓN IMPRIMADOR 6X2, 178 - 210HP, 2000 GLNS		hm		1.0000	0.0018	167.55
		Subpartidas					0.30
010101010104	TRANSPORTE DE ARENA DE IMPRIMACION		m3			0.0050	11.88
010101010105	ARENA ZARANDEADA		m3			0.0050	33.35
							0.17
							0.23

Figura 60. APU de partida Imprimación Asfáltica (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

A su vez la partida de Imprimación Asfáltica contiene 2 subpartidas: Transporte de Arena de Imprimación y Arena Zarandeadas.

Partida	02.02.01	TRANSPORTE DE ARENA DE IMPRIMACION					
Rendimiento	m3/DIA		MO. 180.0000	EQ. 180.0000	C.U directo por : m3	11.88	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Mano de Obra					
0101010005	CAPATÁZ		hh		0.1000	0.0044	27.32
		Equipos					0.12
0301010007	CARGADOR SOBRELLANTAS 125-155HP 3.0 Y3		hm		0.1000	0.0044	179.01
0301010013	CAMIÓN VOLQUETE 6X4, 15m3		hm		1.0000	0.0444	247.11
							10.97
							11.76

Figura 61. APU de subpartida Transporte de Arena de Imprimación (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Partida	02.02.02	ARENA ZARANDEADA					
Rendimiento	m3/DIA		MO. 1.0000	EQ. 1.0000	C.U directo por : m3	33.35	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Mano de Obra					
0201010003	DERECHO DE CANTERA		m3		1.0000	2.00	2.00
		Subcontratos					
0401010001	EXPLOTACIÓN DE CANTERAS		m3		1.1386	4.88	5.56
0401010002	TRANSPORTE INTERNO		m3		1.1386	8.07	9.19
0401010003	ZARANDEO DE ARENAS		m3		1.1386	14.58	16.60
							31.35

Figura 62. APU de subpartida Arena Zarandeadas (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Partida 02.03 RECAPADO ASFÁLTICO (e=0.030m)						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 4,560.0000	EQ. 4,560.0000	C.U directo por : m2	22.78	
Código	Descripción Recurso					
		Mano de Obra				
0101010006	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0001	27.32	0.00
0101010007	OPERARIO	hh	1.0000	0.0013	21.02	0.03
0101010008	PEÓN	hh	6.0000	0.0080	15.34	0.12
						0.15
		Materiales				
0201010005	CEMENTO ASFÁLTICO PEN 120/150	l		5.8500	1.34	7.84
0201010007	CAL HIDRATADA 1%	kg		1.9800	0.84	1.66
0201010009	ADITIVO WARMIX EVOOTHERM 3G	kg		0.0294	30.42	0.89
						10.40
		Equipos				
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.15	0.01
0301010013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP. 101-135HP 10-12TON	hm	1.0000	0.0013	152.19	0.20
0301010016	RODILLO NEUMÁTICO AUTOP. 135HP, 9-20TON	hm	1.0000	0.0013	154.94	0.20
0301010017	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105HP	hm	1.0000	0.0013	153.92	0.20
						0.61
		Subpartidas				
010101010109	MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA PARA RECAPEO	m3		0.0650	158.28	10.29
010101010112	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA	m3		0.0500	26.77	1.34
						11.63

Figura 63. APU de partida Recapado Asfáltico e=0.030 m (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Del mismo modo la partida Recapado Asfáltico e=0.030 m contiene 2 subpartidas: Mezcla Asfáltica Tibia para Recapeo y Transporte de Mezcla Asfáltica Tibia.

Partida 02.03.01 MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA PARA RECAPEO						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 180.0000	EQ. 180.0000	C.U directo por : m3	158.28	
Código	Descripción Recurso					
		Mano de Obra				
0101010008	OFICIAL	hh	1.0000	0.0444	17.04	0.76
0101010007	OPERARIO	hh	1.0000	0.0444	21.02	0.93
0101010005	CAPATÁZ	hh	1.0000	0.0444	27.32	1.21
0101010006	PEÓN	hh	6.0000	0.2667	15.34	4.09
						6.99
		Materiales				
0201010008	PETROLEO	gal		5.2500	9.00	47.25
						47.25
		Equipos				
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	6.99	0.35
0301010011	CARGADOR SOBRELLANTAS 125-155HP 3.0 Y3	hm	1.0000	0.0444	179.01	7.95
0301010018	GRUPO ELECTRÓGENO DE 140HP 90KW	hm	2.0000	0.0889	135.17	12.02
0301010019	PLANTA DE ASFALTO 150 TON/HR	hm	1.0000	0.0444	329.24	14.62
						34.93
		Subpartidas				
010101010110	PIEDRA CHANCADA PARA ASFALTO	m3		0.4500	57.52	25.88
010101010111	ARENA CHANCADA PARA ASFALTO	m3		0.5500	78.59	43.22
						69.11

Figura 64. APU de subpartida Mezcla Asfáltica Tibia para Recapeo (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

La subpartida Mezcla Asfáltica Tibia para Recapeo tiene 2 subpartidas en ella: Piedra Chancada para Asfalto y Arena Chancada para Asfalto.

Partida	02.03.01.01 PIEDRA CHANCADA PARA ASFALTO					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	C.U directo por : m3	57.52	
Código	Descripción Recurso					
	Materiales	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
0201010003	DERECHO DE CANTERA	m3		1.0000	2.00	2.00
	Subcontratos					
0401010001	EXPLOTACIÓN DE CANTERAS	m3		1.0314	4.88	5.03
0401010005	TRANSPORTE DE CANTERA A PLANTA DE CHANCAO	m3		1.0314	8.07	8.32
0401010006	ZARANDEADO	m3		1.0314	8.40	8.66
0401010007	CHANCAO PRODUCCIÓN DE PIEDRAS	m3		1.0314	15.34	15.82
0401010008	TRANSPORTE DE CHANCADORA A PLANTA DE ASFALTO	m3		1.0314	17.15	17.69
						55.52

Figura 65. APU de subpartida Piedra Chancada para Asfalto (Diseño sin corrección).
Fuente: Elaboración Propia.

Partida	02.03.01.02 ARENA CHANCADA PARA ASFALTO					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	C.U directo por : m3	78.59	
Código	Descripción Recurso					
	Materiales	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
0201010003	DERECHO DE CANTERA	m3		1.0000	2.00	2.00
	Subcontratos					
0401010001	EXPLOTACIÓN DE CANTERAS	m3		1.2000	4.88	5.86
0401010005	TRANSPORTE DE CANTERA A PLANTA DE CHANCAO	m3		1.2000	8.07	9.68
0401010003	ZARANDEO DE ARENAS	m3		1.2000	14.58	17.50
0401010008	TRANSPORTE DE CHANCADORA A PLANTA DE ASFALTO	m3		1.2000	17.15	20.58
0401010009	CHANCAO DE ARENA	m3		1.2000	19.14	22.97
						76.59

Figura 66. APU de subpartida Arena Chancada para Asfalto (Diseño sin corrección).
Fuente: Elaboración Propia.

Partida	02.03.02 TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 80.0000	EQ. 80.0000	C.U directo por : m3	26.77	
Código	Descripción Recurso					
	Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
0101010005	CAPATÁZ	hh		0.1000	0.0100	27.32
	Equipos					
0301010011	CARGADOR SOBRELLANTAS 125-155HP 3.0 Y3	hm		0.1000	0.0100	179.01
0301010012	CAMIÓN VOLQUETE 6X4, 15m3	hm		1.0000	0.1000	247.11
						26.50

Figura 67. APU de subpartida Transporte de Mezcla Asfáltica Tibia (Diseño sin Corrección).
Fuente: Elaboración Propia.

Sección Transversal. Se hizo uso de la sección transversal del pavimento solución sin corrección y se definió los anchos incidentes al metrado.

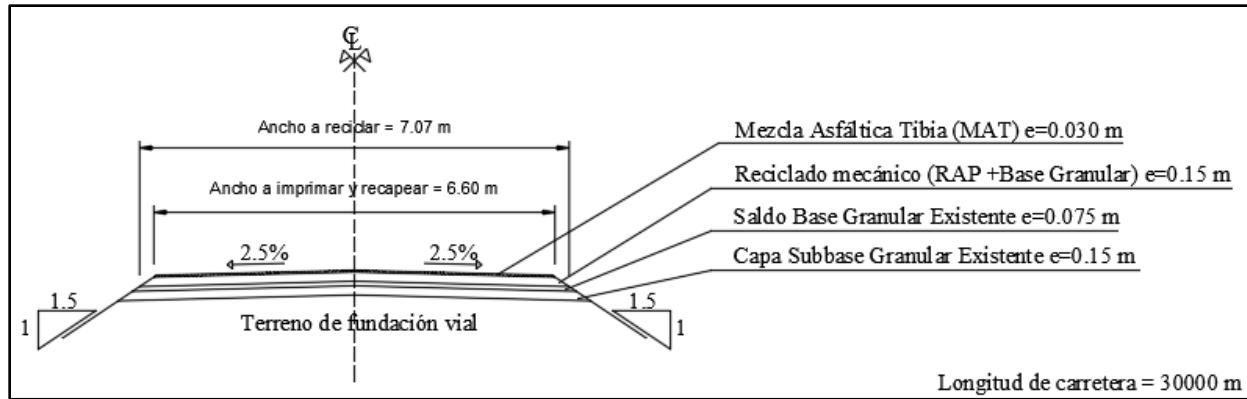


Figura 68. Sección transversal del pavimento solución (Diseño sin corrección).
Fuente: Elaboración Propia.

Metrado. Las medidas “Ancho a reciclar” y “Ancho a imprimir y recopilar” son transformadas a áreas, para ingresarlas en el metrado. Se tiene:

Tabla 41

Metrado de partidas en pavimento solución (Diseño sin corrección).

Partida	Unidad	Ancho (m)	Longitud (m)	Área (m ²)
Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente (e=0.15 m)	m ²	7.07	30000.00	212100.00
Imprimación Asfáltica	m ²	6.60	30000.00	198000.00
Recapado Asfáltico (e=0.030 m)	m ²	6.60	30000.00	198000.00

Fuente: Elaboración Propia.

Presupuesto. A continuación, se presenta el presupuesto para el pavimento solución sin corrección:

Presupuesto					
Presupuesto	0101001	PROYECTO DE CONSERVACION VIAL SANTA ROSA TRAMO 1 "DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE" (DISEÑO SIN CORRECCIÓN)			
Subpresupuesto	001	PAVIMENTO SOLUCIÓN SIN CORRECCIÓN			
Cliente		MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES		Costo al	25/02/2019
Lugar		PUNO - PUNO - PUNO			
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO SOLUCIÓN SIN CORRECCIÓN				6,547,902.00
01.01	RECICLADO DE PAVIMENTO ESTABILIZADO MECÁNICAMENTE ($e=0.15m$)	m2	212,100.00	5.62	1,192,002.00
01.02	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA	m2	198,000.00	4.27	845,460.00
01.03	RECAPADO ASFÁLTICO ($e=0.030m$)	m2	198,000.00	22.78	4,510,440.00
	Costo Directo				6,547,902.00
SON : SEIS MILLONES QUINIENTOS CUARENTISIETE MIL NOVECIENTOS DOS Y 00/100 SOLES					

Figura 69. Presupuesto de la construcción del pavimento solución (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Se registró un presupuesto de S/. 6,547,902.00 para la ejecución del pavimento sin corrección del CBR de Laboratorio.

Análogamente, se presenta el presupuesto de precios y cantidades de recursos requeridos por tipo:

Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo						
Obra	0101001	PROYECTO DE CONSERVACION VIAL SANTA ROSA TRAMO 1 "DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE" (DISEÑO SIN CORRECCIÓN)				
Subpresupuesto	001	PAVIMENTO SOLUCIÓN SIN CORRECCIÓN				
Fecha	25/02/2019	PUNO - PUNO - PUNO				
Lugar	210101	Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Código						
MANO DE OBRA						
0101010005	CAPATÁZ	hh	1,706.0528	27.32	46,609.36	
0101010006	PEÓN	hh	12,339.4614	15.34	189,287.34	
0101010007	OPERARIO	hh	2,145.5418	21.02	45,099.29	
0101010008	OFICIAL	hh	573.9125	17.04	9,779.47	
						<u>290,775.46</u>
MATERIALES						
0201010002	ASFALTO DILUIDO MC - 30	l	227,585.6876	2.80	637,239.93	
0201010003	DERECHO DE CANTERA	m³	13,853.0440	2.00	27,706.09	
0201010005	CEMENTO ASFÁLTICO PEN 120/150	l	1,157,718.5046	1.34	1,551,342.80	
0201010007	CAL HIDRATADA 1%	kg	391,843.1756	0.84	329,148.27	
0201010008	PETROLEO	gal	67,543.4733	9.00	607,891.26	
0201010009	ADITIVO WARMIX EVOOTHERM 3G	kq	5,818.2775	30.42	176,992.00	
						<u>3,330,320.34</u>
EQUIPOS						
0301010007	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			14,380.98	
0301010008	COMPRESORA NEUMÁTICA 87HP, 250-330 PCM	hm	356.2212	78.21	27,860.06	
0301010009	MINICARGADOR DE 70HP	hm	356.2209	87.43	31,144.39	
0301010010	CAMIÓN IMPRIMADOR 6X2, 178 - 210HP, 2000 GLNS	hm	356.2210	167.55	59,684.83	
0301010011	CARGADOR SOBRELLANTAS 125-155HP 3.0 Y3	hm	672.8619	179.01	120,449.01	
0301010012	CAMIÓN VOLQUETE 6X4, 15m³	hm	1,029.0831	247.11	254,296.72	
0301010013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP. 101-135HP 10-12TON	hm	914.4508	152.19	139,170.26	
0301010014	MOTONIVELADORA DE 145-150HP	hm	657.1799	206.65	135,806.23	
0301010015	RECICLADORA 396HP	hm	657.1799	700.59	460,413.69	
0301010016	RODILLO NEUMÁTICO AUTOP. 135HP, 9-20TON	hm	257.2708	154.94	39,861.53	
0301010017	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105HP	hm	257.2707	153.92	39,599.11	
0301010018	GRUPO ELECTRÓGENO DE 140HP 90KW	hm	1,147.8236	135.17	155,151.32	
0301010019	PLANTA DE ASFALTO 150 TON/HR	hm	573.9117	329.24	188,954.69	
						<u>1,666,772.83</u>
SUBCONTRATOS						
0401010001	EXPLOTACIÓN DE CANTERAS	m³	15,594.5683	4.88	76,101.49	
0401010002	TRANSPORTE INTERNO	m³	1,128.0333	8.07	9,103.23	
0401010003	ZARANDEO DE ARENAS	m³	9,617.9686	14.58	140,229.98	
0401010004	SUMINISTRO DE AGUA PARA LA OBRA	m³	15,899.5139	22.98	365,370.83	
0401010005	TRANSPORTE DE CANTERA A PLANTA DE CHANCADO	m³	14,466.5340	8.07	116,744.93	
0401010006	ZARANDEADO	m³	5,976.5969	8.40	50,203.41	
0401010007	CHANCADO PRODUCCIÓN DE PIEDRAS	m³	5,976.5981	15.34	91,681.02	
0401010008	TRANSPORTE DE CHANCADORA A PLANTA DE ASFALTO	m³	14,466.5338	17.15	248,101.05	
0401010009	CHANCADO DE ARENA	m³	8,489.9352	19.14	162,497.36	
						<u>1,260,033.31</u>
	Total			S/.		<u>6,547,902.00</u>

Figura 70. Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo del pavimento solución (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Discusión

Referente al estudio de tráfico, en primer lugar, la Estación E1 - Huaytire, donde se realizaron los conteos volumétricos de vehículos pesados del miércoles 20 al martes 26 de abril del 2016, permitió hallar el Índice Medio Diario Anual del tramo “Dv. Humajalso – Huaytire”. En segundo lugar, la Estación E3 – Mazocruz, la cual fue operativa entre el 17 al 19 de abril del 2016, sirvió como estación de censo de carga y se obtuvo los factores “vehículo pesado” y “presión de neumáticos” por tipo de vehículo pesado. En tercer lugar, las características geométricas de la vía dieron a conocer los factores direccional y carril. En último lugar, la tasa anual de crecimiento y el periodo de diseño del proyecto fueron valores de entrada que permitieron el cálculo del factor de crecimiento acumulado. Estas directrices del estudio fueron claves para la obtención del Número Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 8.2t para el periodo de diseño.

Las excavaciones a cielo abierto permitieron la extracción de suelo para las diferentes capas del pavimento existente. De esta manera se pudo analizar la estratificación y descubrir las características del suelo subyacente como son: Clasificación del Suelo SUCS y AASHTO, Límites de Consistencia, Óptimo Contenido de Humedad, Máxima Densidad Seca y Capacidad de Soporte. Es preciso señalar que el 98.3% de las muestras de base granular eran de clasificación A-1-a. Asimismo, el 91.7% de las muestras de subbase granular se clasificaron en el mismo grupo. Finalmente, el 47.6% y el 37.8% de las muestras de subrasante pertenecen a las clasificaciones A-1-a y A-1-1b respectivamente.

Los resultados de los Ensayos CBR de Laboratorio en las muestras del terreno de fundación vial se reflejaron en dos situaciones distintas:

- Cargas con corrección de Curvas Carga-Penetración.

- Cargas sin corrección de Curvas Carga-Penetración.

Ubicar deliberadamente estos valores de CBR en dos escenarios de prueba puso a manifiesto la diferencia estructural expresada en capacidad de soporte que se estaría perdiendo si no se implementara un proceso de corrección adecuado a las curvas Carga-Penetración (diferencia en capacidad de soporte evidenciada en el Método de las Diferencias Acumuladas).

En el primer escenario, se obtiene la capacidad de soporte con mejor aproximación del terreno de fundación vial; mientras que, en el segundo escenario, el impacto de no corregir las curvas Carga-Penetración se plasmó afectando estructuralmente en la capacidad de soporte del terreno de fundación vial, decrementando los valores de CBR considerablemente.

La siguiente tabla muestra el decremento del Índice CBR en ambos ambientes:

Tabla 42

Decremento del CBR debido a inexistente corrección de Curvas Carga-Penetración.

Tramo 1: "Dv. Humajalso - Huaytire"			Índices CBR (%)		Decremento (%)
Sector	Inicio	Fin	Con Corrección	Sin Corrección	
1	116+500	121+500	47.1	40.7	13.6
2	121+500	131+500	43.4	37.3	14.1
3	131+500	142+500	54.5	45.4	16.7
4	142+500	145+500	36.4	30.4	16.5

Fuente: Elaboración Propia.

Si los valores de CBR decrementan, los Módulos Resilientes también. Estos últimos son valores de entrada para el cálculo de los Números Estructurales Requeridos en el diseño de pavimentos. A medida que el valor del Módulo Resiliente sea más bajo, más alto el Número Estructural Requerido.

Se muestran los cambios de los Números Estructurales Requeridos:

Tabla 43

Valores del Número Estructural Requerido en ambos escenarios de corrección.

Tramo 1: "Dv. Humajalso - Huaytire"			Número Estructural Requerido	
Sector	Inicio	Fin	Con Corrección	Sin Corrección
1	116+500	121+500	1.87	1.94
2	121+500	131+500	1.91	1.99
3	131+500	142+500	1.80	1.89
4	142+500	145+500	2.00	2.09

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando el tipo de contrato por el que está regido el presente proyecto, el clima que engloba al tramo y los diversos niveles de envejecimiento de la carpeta asfáltica existente se diseñó una propuesta con corrección que atienda a los requerimientos del pavimento puesto en servicio. El diseño consideró una carpeta asfáltica con mezcla asfáltica tibia $e=0.025$ m + aditivo Warmix “Evotherm 3G”, reciclado en frío in situ estabilizado mecánicamente (RAP + base granular) $e=0.15$ m, saldo de base granular existente $e=0.075$ m y subbase granular existente $e=0.15$ m. El pavimento solución arrojó un Número Estructural Propuesto con corrección de 2.08

A continuación, se muestra la solución propuesta:

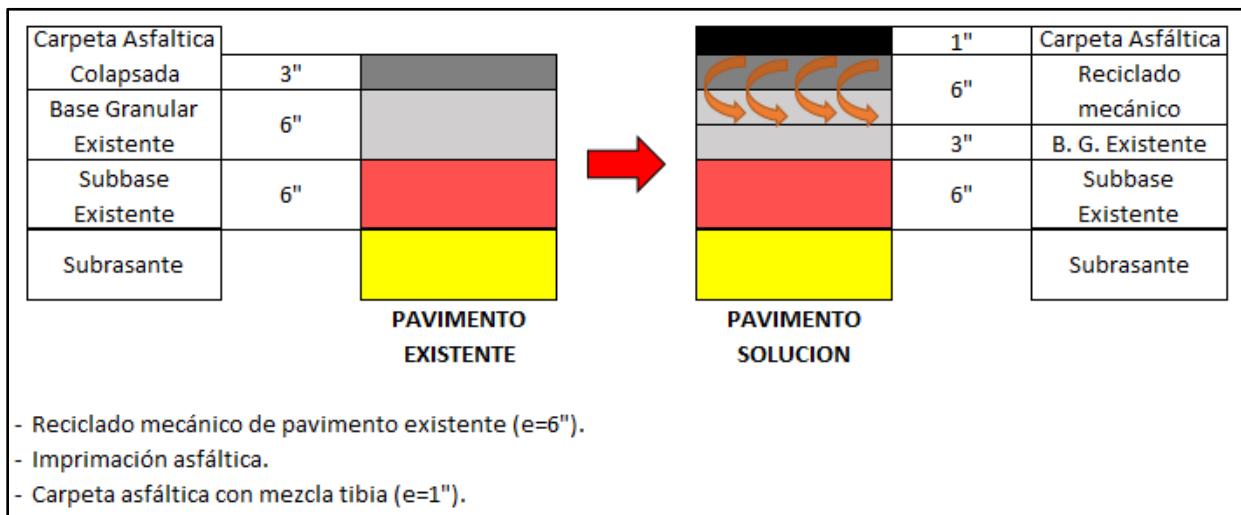


Figura 71. Conformación estructural de pavimento existente - pavimento solución (Diseño con corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Esta solución atiende únicamente a los Números Estructurales Requeridos con corrección, más no a los Números Estructurales Requeridos sin corrección. De esta manera se puede notar que por el hecho de no corregir estadística y físicamente las Curvas Carga-Penetración en el terreno de fundación vial del pavimento existente, el Número Estructural Requerido sin corrección arrojó un valor mayor que el Número Estructural Requerido con corrección y tuvo que ser atendido necesariamente por un Número Estructural Propuesto de mayor valor que el Número Estructural Propuesto obtenido en el diseño anterior para poder satisfacer la Filosofía de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993 ($SN_{prop} \geq SN_{req}$). Por esta razón, el diseño que se presenta (diseño estructural sin corrección) consideró:

Una carpeta asfáltica con mezcla asfáltica tibia $e=0.030$ m + aditivo Warmix “Evotherm 3G”, reciclado en frío in situ estabilizado mecánicamente (RAP + base granular) $e=0.15$ m, saldo de base granular existente $e=0.075$ m y subbase granular existente $e=0.15$ m. El pavimento solución arrojó un Número Estructural Propuesto sin corrección de 2.16 con el que pudo finalmente atender a los Números Estructurales Requeridos sin corrección.

A continuación, se muestra la solución propuesta:

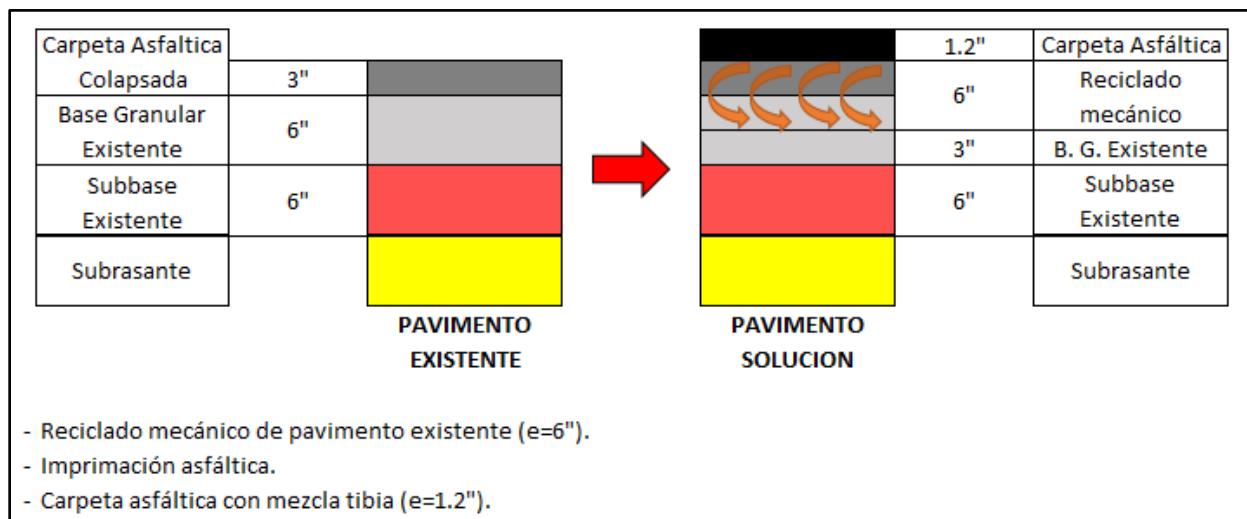


Figura 72. Conformación estructural de pavimento existente - pavimento solución (Diseño sin corrección).

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en las Figuras 71 y 72, el cambio que se efectuó en ambos escenarios se localizó sólo en el espesor de la capa de la carpeta asfáltica.

Cabe señalar que el Número Estructural Propuesto con corrección atendió a todos los Números Estructurales Requeridos con corrección y también a los tres primeros Números Estructurales sin corrección, más no al cuarto Número Estructural Requerido sin corrección. De manera que, se pudo haber pensado como solución implementar el mismo diseño estructural del pavimento con corrección para ambas situaciones más no para el último sector homogéneo de la carretera en el diseño sin corrección. Es decir, mantener una carpeta asfáltica con mezcla tibia de $e=1''$ para todos los sectores homogéneos en el diseño con corrección y también para los tres primeros sectores en el diseño sin corrección. Y, aumentar la carpeta asfáltica con mezcla tibia de $1''$ a $1.2''$ solo en el último sector del diseño sin corrección.

Es cierto que la situación anterior es válida para un diseño propuesto en gabinete ya que cumple la filosofía de diseño de pavimentos flexibles AASHTO 93, pero eso no es suficiente a la hora de diseñar un pavimento, sino también considerar las posibilidades del mismo para ser construido en obra a las condiciones en el que se encuentra. Es necesario indicar que los diseños además y de forma prioritaria deben ser concebidos no solo en función a un tema de modelo de gabinete, sino considerar las componentes complementarias que logran hacer viable el proyecto. Es decir que satisfaga las condiciones técnicas y económicas y del tipo de contrato como son las Conservaciones Viales, propuestas por el Proyecto Perú 1, del MTC, materia de esta investigación.

De acuerdo a norma del número de calicatas para CBR en función del IMDA (el cual es de 175 veh/día para este estudio de tráfico) encontrado en el Manual de Carreteras: “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” Sección: Suelos y Pavimentos, es de 1 calicata para CBR

cada 3 kilómetros. No obstante, se ejecutó 1 calicata para CBR por cada km, para afinar el estudio lo cual conlleva a mayor consumo de recursos en exploración, laboratorio y gabinete, además de tiempos adicionales. Todo esto reflejado en dinero, el cual de acuerdo al tipo de contrato no es reconocido en el pago. Sin embargo, aun teniendo valores de CBR por kilómetro la precisión para vencer posibles variabilidades del terreno de fundación podría resultar en frontera o inclusive sobrepasar lo previsto.

Esta condición conlleva a que el diseñador, totalmente entendible, ya que se trabaja con materiales geotécnicos, pueda tomar una holgura racional adicional en la diferencia de los números estructurales requeridos y propuestos, protegiendo a favor de la seguridad del proyecto, sin caer por lo explicado en sobredimensionamientos inexplicables. Siendo así, es plausible tomar un promedio entre tramos homogéneos del Número Estructural Requerido para poder ser atendido por un único Número Estructural Propuesto para cada escenario de corrección, como criterio del diseñador.

No sólo se ve afectado el diseño estructural del pavimento debido a una inexistente corrección de las Curvas Carga-Penetración, sino también el diseño económico referente a los costos directos estrechamente relacionados a la construcción de ambas soluciones.

Para analizar a fondo cual es el impacto relacionado al costo, primero, se calcularon los Análisis de Precios Unitarios para ambos casos.

Las partidas involucradas en el costo de construcción del pavimento solución con corrección fueron:

- Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente ($e=0.15$ m).
- Imprimación Asfáltica.
- Recapado Asfáltico ($e=0.025$ m)

La primera partida se refiere a un reciclado en frío in situ y su unidad es el m², su precio fue de S/. 5.62/m².

La segunda también es medida en m², su precio fue de S/. 4.27/m².

La tercera es un recapeo con mezcla asfáltica tibia con el uso de un aditivo químico Warmix Evotherm 3G, medido en m² y su precio fue de S/. 20.92/m².

Mientras que las partidas incidentes al costo de la construcción del pavimento solución sin corrección:

- Reciclado de Pavimento Estabilizado Mecánicamente (e=0.15 m).
- Imprimación Asfáltica.
- Recapado Asfáltico (e=0.030 m)

La primera partida se refiere a un reciclado en frío in situ y su unidad es el m², su precio fue de S/. 5.62/m².

La segunda también es medida en m², su precio fue de S/. 4.27/m².

La tercera es un recapeo con mezcla asfáltica tibia con el uso de un aditivo químico Warmix Evotherm 3G, medido en m² y su precio fue de S/. 22.78/m².

La diferencia en soles entre el recapado sin corrección y el recapado con corrección es de S/. 1.86/m².

El metrado de cada partida fue hallado por medio de la multiplicación de los respectivos anchos de recapeo, imprimado y reciclado para cada pavimento solución con la longitud de la vía utilizando las secciones transversales típicas propuestas debidamente acotadas.

Los presupuestos hallados para los pavimentos solución con corrección y sin corrección (solo costos directos de ejecución) fueron S/. 6,179,622.00 y S/. 6,547,902.00. De manera que se

comprueba que la corrección de las Curvas Carga-Penetración en el Ensayo CBR de Laboratorio para este tipo de proyecto y en las soluciones planteadas se estaría ahorrando S/. 368,280.00.

Es imperativo especificar que los precios que se establecieron para cada recurso en el análisis de precios unitarios incidentemente relacionado a la construcción del pavimento en ambos escenarios de corrección fueron precios de obra y no precios de mercado ya que incluir estos últimos sería abrirse a un abanico de precios según la ubicación donde el recurso es producido y comercializado.

Además de lo expuesto, no tendría mucho valor el hecho de recurrir a precios externos que no están enmarcados en el presente proyecto ya que los precios de obra son establecidos según el rendimiento que se tiene en la misma para cada recurso (rendimientos del lugar a la que hace alusión la tesis), y no frente a un rendimiento estándar de una revista de costos.

Es necesario aclarar que los precios de los costos directos son evaluados y aprobados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, reconfirmando que son coherentes con el mercado zonal donde se ejecuta el proyecto.

Para concluir, se tienen los siguientes impactos:

Tabla 44
Impacto estructural y económico en ambos escenarios de corrección.

Diseño estructural						Diseño económico	
Con corrección			Sin corrección			Con corrección	Sin corrección
Índice CBR (%)	SNreq	SNprop	Índice CBR (%)	SNreq	SNprop	Presupuesto (S/.)	
47.1	1.87		40.7	1.94			
43.4	1.91		37.3	1.99		6,179,622.00	6,547,902.00
54.5	1.80	2.08	45.4	1.89	2.16		
36.4	2.00		30.4	2.09			

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusiones y consideraciones finales

- 1 La solución, referida al diseño utilizando las Curvas Cargas-Penetración corregidas del Ensayo del CBR para el terreno de fundación se constituye en una optimización y mejor aproximación en el diseño estructural de pavimentos, cuyos impactos se sintetizan en las conclusiones, para lo cual, se ve pertinente alcanzar las siguientes consideraciones, y a partir del ítem 5, los impactos, tal como propuesto en los objetivos de la presente investigación.
- 2 Esta investigación para encontrar el pavimento solución presenta tres factores limitantes: el primero, el tipo de contrato por el que está regido el proyecto mediante el Programa de Infraestructura Vial Proyecto Perú que normativamente no se reconocen los costos de transporte ni de producción, ni de colocación de materiales, es decir, el contrato transfiere al constructor una gran restricción presupuestal, que debe verse reflejada en la solución que proponga, ya que el contrato estipula que el constructor proponga una solución enmarcada dentro de las soluciones propuestas en el Estudio de Perfil, pudiendo hacer cambios sólo de índole no sustancial, lo cual constituye en una importante restricción.
- 3 En segundo lugar, definitivamente la construcción de pavimentos en altura, a 4000msnm en pampa de puna, que es el caso del proyecto estudiado, promueve cambios medio ambientales importantes que van a impactar en el funcionamiento del pavimento, siendo críticos referidos a temperaturas, pluviosidad, radiación UV, cambios importantes en el gradiente térmico, etc., referidos principalmente al concreto asfáltico, condiciones que deben prever consideraciones adicionales especiales, que para el caso, conllevó por el poco espesor de la carpeta asfáltica solución propuesta en los estudios de perfil, recurrir a poder trabajarla a temperaturas menores, dentro de la tecnología de mezclas tibias.

- 4 En tercer lugar, la solución propuesta de reciclar la carpeta envejecida con parte de la base granular existente, formando una nueva base granular estabilizada, fue imperativa dada la presencia de deterioros muy severos de la carpeta, vistas en piel de cocodrilo masiva y ahueamientos, imposibilitando intervenciones superficiales por ejemplo de tratamiento de fisuras, evidenciando carpetas asfálticas ya oxidadas y rigidizadas existentes. Fresarla y transportarla a botaderos no constituía una solución económica por lo indicado en la consideración 2.
- 5 La resistencia estructural expresada en capacidad de soporte (Índice CBR) del terreno de fundación vial para el Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa Tramo 1 “Dv. Humajalso - Huaytire” se vio afectada considerablemente al no implementar el proceso de corrección de las Curvas Carga-Penetración; el Índice CBR decrementó en un 15.2% en promedio en todos los sectores del tramo evaluado.
- 6 Por un lado, la incidencia de la corrección de tipo estadística realizada en la elaboración de las Curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio se manifiesta en dos situaciones diferentes. Las cargas de las penetraciones objetivo (registradas en el lector de cargas del ensayo) son reemplazadas en la función polinómica (propia de la corrección) generando un aumento y reducción de las mismas. Para las muestras del terreno de fundación vial del tramo en estudio, este ajuste estadístico incrementa en unos casos y decrementa en otros el valor de las cargas en un 6.7% y 5.7% respectivamente. Por otro lado, las cargas aumentan un 29.5% cuando se aplica únicamente la corrección de naturaleza física para los mismos suelos del terreno de fundación vial. En resumen, la corrección de tipo física tiene mayor incidencia que la de tipo estadística.

- 7 En este proyecto en particular, los suelos del terreno de fundación vial son incidentemente de origen granular donde cobra mayor importancia realizar las correcciones de las curvas carga-penetración, sobre todo la de tipo física debido al reacomodo de partículas existente entre las partículas que se asientan en la superficie de molde del Ensayo CBR de Laboratorio, intrínsecas a suelos granulares.
- 8 El impacto estructural de la inexistente implementación del proceso de corrección de las Curvas Carga-Penetración del terreno de fundación vial se vio reflejado en el espesor de la carpeta asfáltica. El diseño se tornó de 1 pulgada de espesor de carpeta con mezcla asfáltica tibia (diseño con corrección) a 1.2 pulgadas de espesor de carpeta con mezcla asfáltica tibia (diseño sin corrección), incorporando ambas soluciones el aditivo Warmix Evotherm 3G para alcanzar los tiempos necesarios de compactación que logren mantener la mezcla asfáltica en una condición trabajable para las condiciones climáticas críticas y conseguir la compactación de especificación 98% MDS.
- 9 Los factores tiempo y temperatura de mezclado afectan a la mezcla desde su elaboración hasta su puesta en servicio. Condiciones que deben incluirse en el diseño, fabricación y colocación de mezclas asfálticas, a fin de que la misma pueda ofrecer una buena performance durante la vida útil de proyecto.
- 10 El valor del Índice CBR al 100% MDS y a 0.1" de penetración para la base granular existente (no-tratada) era del 100.0% en promedio, sin embargo, en el momento de reciclarla con el RAP este valor cae en un 30.0%. Este hallazgo se constituye en uno de los aportes en esta investigación. Ocurre que la base granular triturada, angulosa y rugosa queda ahora mezclada con una serie de partículas de connotación superficial relativamente lisa, que si bien es cierto son partículas trituradas, ya que son parte de la

mezcla asfáltica antigua, sin embargo se encuentran cubiertas con una película de asfalto envejecido, lo cual incorpora una lisura en la textura, que conlleva a decrementar la angulosidad y rugosidad de la base granular pura, pudiendo generar ligeros movimientos relativos internos, conllevando a decrementos del valor del CBR de la base reciclada, como indicado en un 30% de disminución, conllevándolo a CBRs en orden de grandeza de una subbase granular.

- 11 De acuerdo al análisis de costos unitarios realizados para la partida de recapado con mezcla asfáltica tibia $e=1$ pulgada, se obtuvo un costo por metro cuadrado de 1.86 nuevos soles, por debajo del costo por metro cuadrado para la partida recapado con mezcla asfáltica tibia $e=1.2$ pulgadas.
- 12 Se verificó una importante diferencia en los costos en ambos escenarios de corrección. Si se corrigieran las Curvas Carga-Penetración se estaría ahorrando en términos económicos 368,280.00 nuevos soles (6.0 % del costo directo con corrección). Cabe recalcar que no se añadieron partidas de construcción de base ni subbase granular ya que estos materiales fueron utilizados nuevamente en ambos pavimentos solución y no hicieron parte del costo directo.
- 13 Se introdujo en esta investigación como aporte adicional una planilla de cálculo en macro sistematizada que corrige automáticamente las Curvas Carga-Penetración resultados del ensayo del CBR para las de naturaleza estadística y física de los suelos de fundación estudiados.

Recomendaciones

1. Se sugiere cuantificar no solo el impacto estructural y económico de la inexistencia de una corrección de las Curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio, sino también el impacto ambiental, productivo y social que este podría ocasionar.
2. El análisis de corrección de la presente población de muestras del estudio es dirigido a materiales esencialmente granulares debido a que esa era la naturaleza del terreno de fundación del tramo de la obra en evaluación. Importante se considera también para futuras investigaciones poder evaluar los impactos de la implementación o no de un proceso de corrección completo aterrizando las incidencias de estas correcciones de tipo estadística y física para suelos reciclados con RAP, e inclusive otras mezclas, que podrían incluir hasta importantes porcentajes de suelos finos.
3. Se recomienda afinar las directrices al respecto del tema de corrección de Curvas Carga-Penetración del Ensayo del CBR de Laboratorio en la Norma Peruana MTC E-132, completando a más detalle el proceso de corrección de las Curvas Carga-Penetración como lo tiene indicado con mayor detalle las Normas Americanas ASTM D-1883 y AASHTO T-193, en su versión más reciente. Inclusive la norma peruana indica como opcional hacer la lectura de la colección completa de mediciones, lo cual, por la importancia que ha mostrado tener en esta investigación la corrección de las Curvas-Carga-Penetración, esta colección de mediciones recomendamos debería ser de carácter obligatorio. De otra forma no habría como identificar inflexiones en las curvas, ya que no existiría la curva, sólo dos puntos: a 0.1" y a 0.2" de penetración. Y los impactos técnico-económicos registrados son significativos, que para la presente investigación refiere sólo se estudiaron en suelos granulares.

4. Otra recomendación para futuras investigaciones sería medir los valores de CBR de laboratorio del reciclado RAP-base granular, para diferentes calidades de base granular, así, poder establecer un ratio de decremento del CBR resultante del material reciclado, que para el caso de esta investigación fue del orden del 30%, lo cual conlleva a contar con una estructura de menor soporte, comparada con la base granular sin combinarla. Asimismo, también podría ser una variable el grado de envejecimiento del RAP.

Referencias

- AASHTO T 193-13 . (2017). *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio.*
- Arquie, G. (1978). *Compactación en carreteras y aeropuertos.* Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A.
- ASTM D1883-16. (2016). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.* Pensilvania.
- Burgos Sarmiento, T. (2015). *Informe suelos de fundación y subrasante.* Trujillo.
- Cabello Rivadeneyra, S., & Limonchi Tamamoto, D. (2015). Análisis e implementación del "CCVNS" para el Proyecto: Corredor Vial Huancavelica - Lircay - EMP. PE-3S (Huallapampa) y EMP. PE-3S (La Mejorada) - Acobamba - EMP.PE-3S (Puente Alcomachay). Lima.
- Campbell, D., & Stanley, J. (1966). *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social.* Buenos Aires: Amorrortu Editores.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Bapstista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación.* México: Mc Graw-Hill.
- Hernández-Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación.* México: McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). *Producto Bruto Interno por Departamentos 2014.* Lima.
- Ministerio de Justicia. (2003). *Decreto Supremo N°-2003-MTC.* Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras - Conservación Vial Volumen N°1.* Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *IMDA*. Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG–2018)”*. Lima.

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

Pardo Merino, A. (2005). *Análisis de datos con SPSS 13 Base*. Madrid: S.A. McGraw-Hill/Interamericana de España.

Restrepo Sierra, H. A., & Stephens Zapata, S. A. (2015). *Estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos*. Medellín.

Rico Rodriguez, A., & Del Castillo, H. (1999). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*. México D.F.: Limusa.

Rodríguez Cepeda, J. A. (2014). *Análisis de desempeño de mezclas asfálticas tibias*. Sangolqui.

The Asphalt Institute. (1970). *Thickness Design-Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets. Manuel Series No. 1 (MS-1)*. Maryland.

Tupia Córdova, C. A. (2001). *Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un equipo dinámico*. Lima.

ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEORICO	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	METODOLOGIA
<p>Problema general: ¿La implementación o no del proceso de corrección del CBR de Laboratorio del terreno de fundación vial en la etapa de diseño del pavimento del tramo 1 de la Carretera Binacional Perú - Bolivia tendrá influencia significativa en el diseño estructural del pavimento?</p> <p>Problema específico: 1. ¿De qué manera influye la inexistente corrección al costo directo del diseño del pavimento?</p>	<p>Objetivo general: Evaluar los impactos que influirían en el diseño estructural del pavimento y costo directo del pavimento debido a una inexistente corrección de las Curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR en el tramo 1.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> Realizar el diseño de pavimentos para el Proyecto de Conservación Vial Santa Rosa tramo Dv. Humajalso - Huaytire con la Metodología AASHTO 1993 en dos situaciones particulares: CBR del terreno de fundación vial con corrección y CBR del terreno de fundación vial sin corrección. En ambas proponiendo reciclar un RAP+ parte de la base granular existente, subyaciendo a una mezcla asfáltica que resultó siendo necesaria en tibio. Realizar el cuadro de costos directos de la construcción del pavimento en dos situaciones: CBR del terreno de fundación vial con corrección y CBR del terreno de fundación vial sin corrección. 	<p>Antecedentes: Tupia (2001) estableció una correlación matemática entre el CBR in situ y el PDC in situ que permitió evaluar las condiciones del terreno de fundación de las vías de nuestro territorio y determinar parámetros locales. Además, se habló del método de corrección de CBR in situ, que es equivalente a la corrección del Ensayo CBR de Laboratorio.</p> <p>Se indagó en normas internacionales como la norma ASTM D1883-16 (2016) y la norma AASHTO T 193-13 (2017) que informan de todas las implicancias en el Ensayo CBR de Laboratorio. De la misma manera, respaldan íntegramente el método de la corrección de dicho ensayo y los tipos de corrección que se deben realizar a los suelos ensayados una vez ploteadas las Curvas Carga-Penetración.</p>	<p>1. Se evidenciará una diferencia significativa de capacidad de soporte (Índice CBR) en el diseño estructural del pavimento al no hacer la corrección de las Curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio en el terreno de fundación vial para el tramo Dv. Humajalso-Huaytire.</p> <p>2. El presupuesto de obra estrechamente relacionado al costo directo del diseño del pavimento disminuirá convenientemente en términos económicos (nuevos soles) si se corrige las curvas Carga-Penetración del Ensayo CBR de Laboratorio en el terreno de fundación vial para el tramo Dv. Humajalso - Huaytire.</p>	<p>De tipo Independiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> La corrección del CBR de Laboratorio del terreno de fundación vial. Se realizan los 2 tipos de correcciones del ensayo según la norma ASTM D1883-16. El primero, se mide mediante Regresión Polinómica y el segundo mediante el Método de la tangente. <p>De tipo Dependiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> Diseño del pavimento. Confección de las capas apoyadas sobre el terreno de fundación vial que soportarán las cargas dinámicas producto del paso vehicular. El software AASHTO93 servirá de agente de medición. Costos directos de la construcción del pavimento. Son todos los gastos que estén directamente relacionados con la obra de construcción, en este caso, a la confección del pavimento solución. Esta variable es medida con el software S10 al integrar en ella las partidas necesarias para la tarea. 	<p>Tipo de investigación:</p> <ol style="list-style-type: none"> Nivel de complejidad: Correlacional Tipo de análisis: Cuantitativo. <p>Diseño de investigación: De tipo Experimental - Cuasiexperimental.</p> <p>Población: Dv. Humajalso – Huaytire (Tramo 1 de la Carretera Binacional)</p> <p>Muestra: Terreno de fundación vial.</p> <p>Instrumentos de investigación: Los ensayos de suelo.</p> <p>Técnicas de procesamiento de datos:</p> <ol style="list-style-type: none"> Resultado de ensayos de laboratorio. Información recolectada de libros e investigaciones científicas.

Anexo B. Propuesta estructural con y sin corrección como nueva alternativa de diseño.

En el diseño estructural con corrección (pavimento con carpeta asfáltica con mezcla tibia de 1" de espesor), el SNprop (2.08) atendió a los SNreq (1.87, 1.91, 1.80 y 2.00) sin problema alguno en los 4 sectores homogéneos del tramo en estudio. Mientras que en el diseño sin corrección (pavimento con carpeta asfáltica con mezcla tibia de 1.2" de espesor) el SNprop (2.16) atendió con holgura a los SNreq (1.94, 1.99, 1.89) en los 3 primeros sectores, más no en el cuarto sector donde el SNreq era de 2.09.

Como otra alternativa de diseño sin corrección, se pudo haber pensado establecer dos secciones de pavimento como solución en vez de una única sección uniforme considerando lo siguiente:

- Para los sectores 1, 2 y 3, los SNreq (1.94, 1.99, 1.89) pueden ser atendidos con el SNprop del diseño con corrección (2.08). Es decir, se diseña un pavimento con espesor de carpeta asfáltica con mezcla tibia de 1".
- Para el sector 4, atender al SNreq (2.09) con el SNprop del diseño sin corrección (2.16). Es decir, se diseña un pavimento con espesor de carpeta asfáltica con mezcla tibia de 1.2".

Tabla 45
Propuesta de diseño estructural alternativa.

Sector	Diseño estructural alternativo					
	Con corrección			Sin corrección		
	Índice CBR (%)	SNreq	SNprop	Índice CBR (%)	SNreq	SNprop
1	47.1	1.87		40.7	1.94	
2	43.4	1.91		37.3	1.99	2.08
3	54.5	1.80	2.08	45.4	1.89	
4	36.4	2.00		30.4	2.09	2.16

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo C. Ficha de Ensayo Análisis Granulométrico por Tamizado.

**CONSORCIO CONSERVACIÓN
VIAL SANTA ROSA**




Obra: SERVICIO DE GESTIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL: "DV. HUMAJALSO - DESAGUADERO Y TACNA - TARATA - CAPAZO - MAZOCRUZ"

Contrato No: 002-2016-MTC/20

Registro: N°

PC-ESU-10-F1

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
NORMAS TECNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : ESTUDIO DE SUELOS PARA DISEÑO DEL PAVIMENTO

TRAMO : TRAMO I - DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE

LADO : EJE

CALICATA : C-02

PROFUNDIDAD : De 0.075 a 0.225 m.

Nº DE MUESTRA: M-01

HECHO POR : J.L.P.G

UBICACIÓN : km.: 116+500

FECHA : 01/03/2016

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO	% RETENIDO		% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
			% RETENIDO	% PARCIAL			
5"	127.000						Pesos de Muestra
4"	101.600						Material Grueso > Nº 4: (gr.) 6226
3"	75.000						Material Fino < Nº 4: (gr.) 7587
2 1/2"	60.350						Peso total de la muestra (gr.) 13813.0
2"	50.800				100.0		Fracción Mat. Fino: (gr.) 600.0
1 1/2"	38.100	120.0	0.9	0.9	99.1		Límites de Consistencia
1"	25.400	751.0	5.4	6.3	93.7		Límite Líquido : % 17
3/4"	19.000	757.0	5.5	11.8	88.2		Límite Plástico : % NP
1/2"	12.500	1483.0	10.7	22.5	77.5		Indice Plástico : % NP
3/8"	9.500	946.0	6.8	29.4	70.6		Clasificación del Suelo
Nº 4	4.750	2169.0	15.7	45.1	54.9		Clasificación (SUCS) : GM
Nº 10	2.000	140.3	12.8	57.9	42.1		Clasificación (AASHTO) : A-1-a(0)
Nº 20	0.840	93.3	8.5	66.5	33.5		Cont. de Humedad (%): 5.2
Nº 40	0.425	84.0	7.7	74.1	25.9		Máxima Den. Seca (gr/cm ³): (%) 2.13
Nº 50	0.300	43.9	4.0	78.2	21.8		Optimo Cont. de Humedad (%): 7.163
Nº 100	0.150	81.8	7.5	85.7	14.3		
Nº 200	0.075	40.8	3.7	89.4	10.6		
< Nº 200	FONDO	115.9	10.6	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA

Apertura (mm)	Porcentaje que pasa (%)
0.010	10
0.100	12
0.500	20
1.000	35
2.000	45
5.000	60
10.000	75
20.000	85
50.000	90
100.000	95

Observaciones:

Elaborado por:	
Nombre / Función:	D:
José Luis Pantoja Galván	
Tesista	M:
	A:
Firma:	

Aprobado por:	
Nombre / Función:	D:
Mauricio V. Mendoza Pillaca	
Ing*. Especialista de Suelos y Pavimentos	M:
	A:
Firma:	

V.B Supervisión	
Nombre / Función:	D:
Guillermo Lazo Lazaró	
MSc. Ing. Jefe Especialista de Suelos y Pavimento	M:
	A:
Firma:	

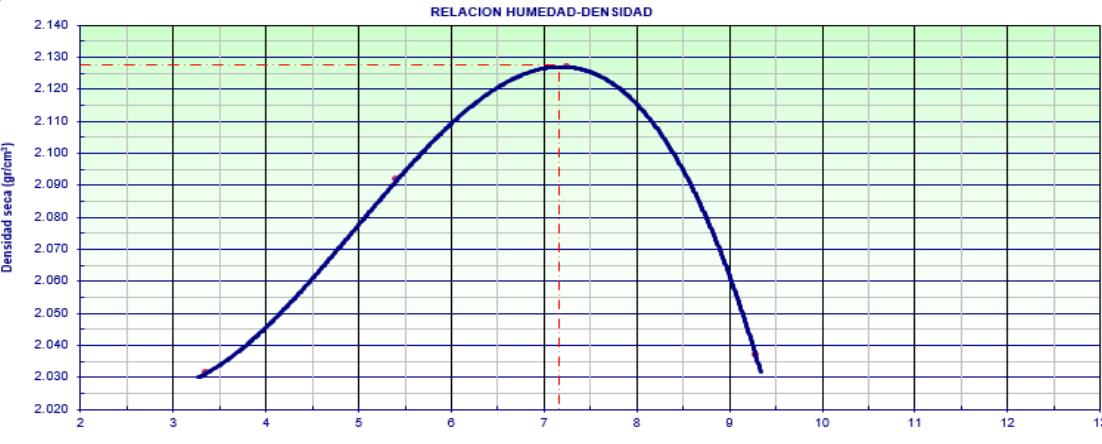
Anexo D. Ficha de Ensayo Humedad Natural.

 CONSORCIO CONSERVACIÓN VIAL SANTA ROSA COSAPI MOTAENGIL	Obra: SERVICIO DE GESTIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL: "DV. HUMAJALSO - DESAGUADERO Y TACNA - TARATA - CAPAZO - MAZOCRUZ"																																						
Contrato No: 002-2016-MTC/20		Registro: N°	PC-ESU-09-F1																																				
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS																																							
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216																																							
DATOS DE LA MUESTRA																																							
CONCEPTO	ESTUDIO DE SUELOS PARA DISEÑO DEL PAVIMENTO																																						
TRAMO	TRAMO I - DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE		LADO : EJE																																				
CALICATA	C-02		PROFUNDIDAD : De 0.075 a 0.225 m.																																				
Nº DE MUESTRA	M-01		HECHO POR : J.L.P.G																																				
UBICACIÓN	km.: 116+500		FECHA : 01/03/2016																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #ffffcc;">ENSAYO N°</th> <th style="background-color: #ffffcc;">1</th> <th style="background-color: #ffffcc;">2</th> <th style="background-color: #ffffcc;">3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nro. DE TARA</td> <td>T-16</td> <td>T-19</td> <td>T-12</td> </tr> <tr> <td>PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.</td> <td>1785.9</td> <td>1792.50</td> <td>1780.50</td> </tr> <tr> <td>PESO TARA + SUELO SECO gr.</td> <td>1713.9</td> <td>1717.40</td> <td>1705.20</td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA TARA gr.</td> <td>325.4</td> <td>254.30</td> <td>314.90</td> </tr> <tr> <td>PESO DEL AGUA gr.</td> <td>72.0</td> <td>75.10</td> <td>75.30</td> </tr> <tr> <td>PESO SUELTO SECO gr.</td> <td>1388.5</td> <td>1463.10</td> <td>1390.30</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD %</td> <td>5.19</td> <td>5.13</td> <td>5.42</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %</td> <td colspan="3" style="background-color: #ffffcc;">5.2</td> </tr> </tbody> </table>				ENSAYO N°	1	2	3	Nro. DE TARA	T-16	T-19	T-12	PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	1785.9	1792.50	1780.50	PESO TARA + SUELO SECO gr.	1713.9	1717.40	1705.20	PESO DE LA TARA gr.	325.4	254.30	314.90	PESO DEL AGUA gr.	72.0	75.10	75.30	PESO SUELTO SECO gr.	1388.5	1463.10	1390.30	HUMEDAD %	5.19	5.13	5.42	HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %	5.2		
ENSAYO N°	1	2	3																																				
Nro. DE TARA	T-16	T-19	T-12																																				
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	1785.9	1792.50	1780.50																																				
PESO TARA + SUELO SECO gr.	1713.9	1717.40	1705.20																																				
PESO DE LA TARA gr.	325.4	254.30	314.90																																				
PESO DEL AGUA gr.	72.0	75.10	75.30																																				
PESO SUELTO SECO gr.	1388.5	1463.10	1390.30																																				
HUMEDAD %	5.19	5.13	5.42																																				
HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %	5.2																																						
Observaciones: <hr/> <hr/>																																							
Elaborado por: Nombre / Función: José Luis Pantoja Galván Tesista Firma: 	Aprobado por: Nombre / Función: Mauricio V. Mendoza Pillaca Ing*, Especialista de Suelos y Pavimentos Firma: 	V° B° Supervisión Nombre / Función: Guillermo Lazo Lázaro MSc. Ing. Jefe Especialista de Suelos y Pavimento Firma: 																																					

Anexo E. Ficha de Ensayo Límites de Consistencia.

 CONSORCIO CONSERVACIÓN VIAL SANTA ROSA COSAPI MOTAENGIL		Obra: SERVICIO DE GESTIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL: "DV. HUMAJALSO - DESAGUADERO Y TACNA - TARATA - CAPAZO - MAZOCRUZ"			
		Contrato No: 002-2016-MTC/20	Registro: N°	PC-ESU-11-F1	
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS					
LÍMITES DE CONSISTENCIA					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90					
DATOS DE LA MUESTRA					
CONCEPTO	ESTUDIO DE SUELOS PARA DISEÑO DEL PAVIMENTO				
TRAMO	TRAMO I - DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE				
CALICATA	C-02				
Nº DE MUESTRA	M-01				
UBICACIÓN	km.: 116+500				
LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)					
Nº TARA	T-08	T-13	T-04		
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	40.25	46.72	48.80		
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	37.20	43.23	44.85		
PESO DE AGUA (gr.)	3.05	3.49	3.95		
PESO DE LA TARA (gr.)	18.60	23.30	23.90		
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	18.60	19.93	20.95		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	16.40	17.51	18.85		
NUMERO DE GOLPES	27	21	14		
LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)					
Nº TARA				Promedio	
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)					
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)					
PESO DE AGUA (gr.)					
PESO DE LA TARA (gr.)					
PESO DEL SUELO SECO (gr.)					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)					
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES					
					
CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA				OBSERVACIONES	
LÍMITE LIQUIDO (%)	17				
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NP				
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	NP				
Elaborado por:		Aprobado por:		Vº Bº Supervisión	
Nombre / Función: Jose Luis Pantoja Galván Tesista Firma: 		Nombre / Función: Mauricio V. Mendoza Pillaca Ing*, Especialista de Suelos y Pavimentos Firma: 		Nombre / Función: Guillermo Lazo Lázaro MSc. Ing. Jefe Especialista de Suelos y Pavimento Firma: 	

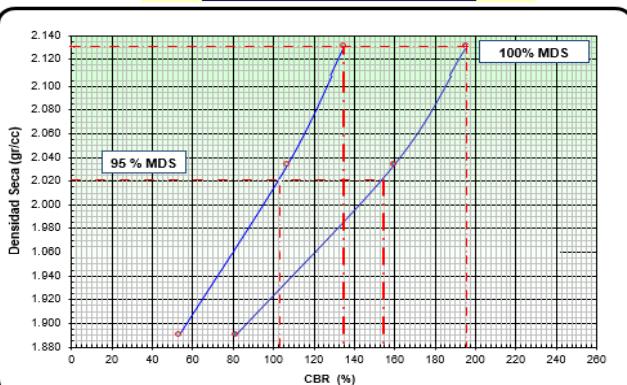
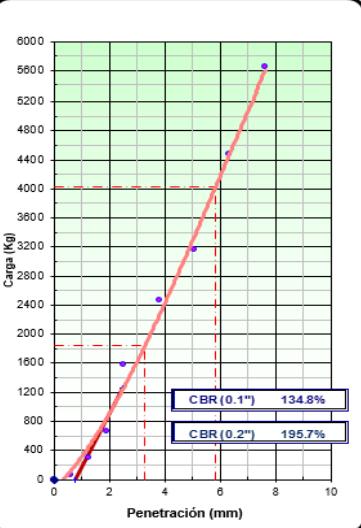
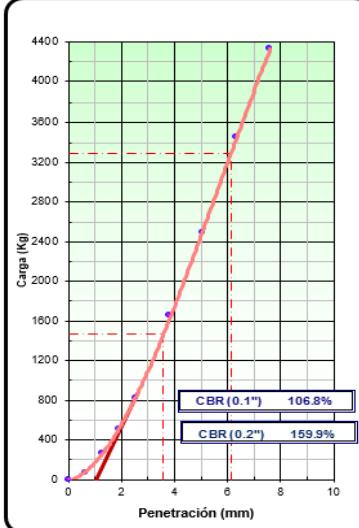
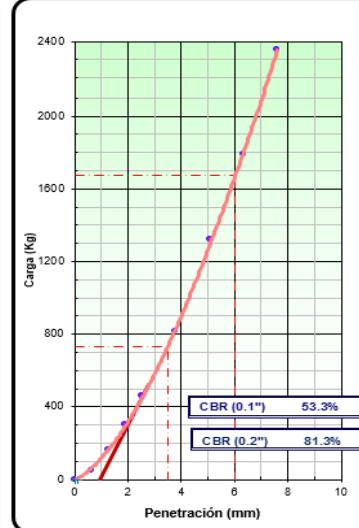
Anexo F. Ficha de Ensayo Proctor Modificado.

CONSORCIO CONSERVACIÓN VIAL SANTA ROSA  		Obra: SERVICIO DE GESTIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL: "DV. HUMAJALSO - DESAGUADERO Y TACNA - TARATA - CAPAZO - MAZOCRUZ" Contrato No: 002-2016-MTC/20 Registro: Nº _____ PC-ESU-23-F1				
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	ESTUDIO DE SUELOS PARA DISEÑO DEL PAVIMENTO					
TRAMO	TRAMO I - DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE					LADO: EJE
CALICATA	C-02					PROFUNDIDAD: De 0.075 a 0.225 m.
Nº DE MUESTRA:	M-01					HECHO POR: J.L.P.G
UBICACIÓN	km.: 116+500					FECHA: 01/03/2016
Ensayo Nº		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.	10964	11188	11350	11232	
Peso molde + base	gr.	6500	6500	6500	6500	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	4464	4688	4850	4732	
Volumen del molde	cm ³	2126	2126	2126	2126	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³	2.100	2.205	2.281	2.226	
Recipiente Nº		Tc-01	Tc-02	Tc-03	Tc-06	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	786.3	986.3	879.3	796.3	
Peso del suelo seco + tara	gr.	772.2	952.3	845.0	760.2	
Peso de Tara	gr.	353.1	324.9	372.6	371.4	
Peso de agua	gr.	14.1	34.0	34.3	36.1	
Peso del suelo seco	gr.	419.1	627.4	472.4	388.8	
Contenido de agua	%	3.4	5.4	7.3	9.3	
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	2.031	2.092	2.127	2.037	
					Densidad máxima (gr/cm ³)	2.127
					Humedad óptima (%)	7.2
RELACION HUMEDAD-DENSIDAD						
Densidad seca (gr/cm ³)						
Contenido de humedad (%)						
Observaciones: _____ _____						
Elaborado por: Nombre / Función: José Luis Pantoja Galván Tesista Firma: _____		Aprobado por: Nombre / Función: Mauricio V. Mendoza Píllaca Ing*. Especialista de Suelos y Pavimentos Firma: _____		Vº Bº Supervisión Nombre / Función: Guillermo Lazo Lázaro MSc. Ing. Jefe Especialista de Suelos y Pavimento Firma: _____		
D-:	M-:	D-:	M-:	D-:	M-:	
A-:		A-:		A-:		

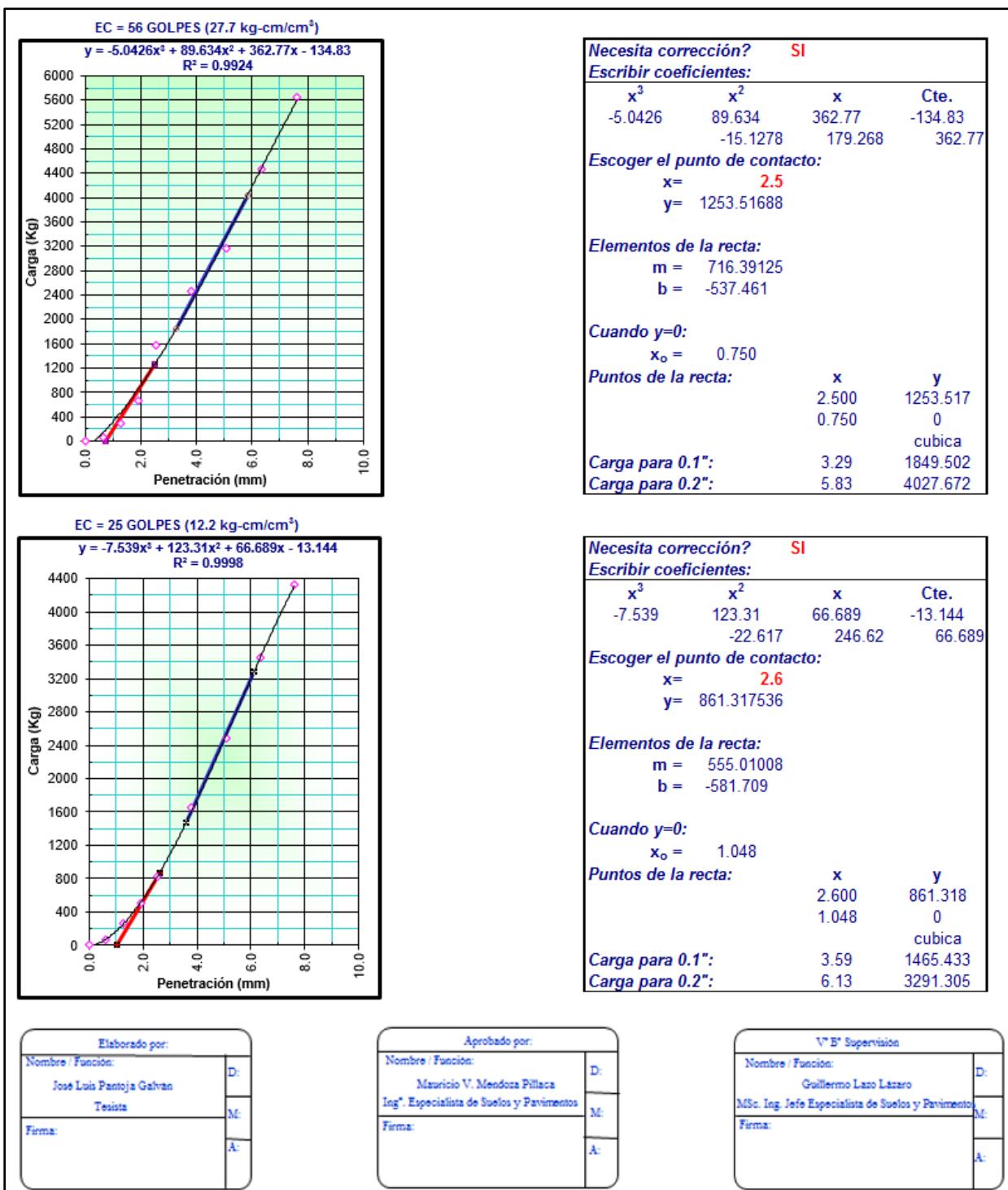
Anexo G. Ficha de Ensayo California CBR (Datos CBR).

CONSORCIO CONSERVACIÓN VIAL SANTA ROSA  		Obra: SERVICIO DE GESTIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL : "DV. HUMAJALSO - DESAGUADERO Y TACNA - TARATA - CAPAZO - MAZOCRUZ" Contrato No: 002-2016-MTC/20 Registro: N° _____ PC-ESU-07-F1 Hoja: 1 de 2									
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AAHTO T 193											
DATOS DE LA MUESTRA											
CONCEPTO	ESTUDIO DE SUELOS PARA DISEÑO DEL PAVIMENTO					LADO: EJE					
TRAMO	TRAMO I - DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE					PROFUNDIDAD: De 0.075 a 0.225 m.					
CALICATA	C-02					HECHO POR: J.L.P.G					
Nº DE MUESTRA	M-01					FECHA: 01/03/2016					
UBICACIÓN	km.: 116+500										
COMPACTACIÓN											
Molde Nº	7		8		9						
Capas Nº	5		5		5						
Golpes por capa Nº	56		25		10						
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO					
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12613	12624	12406	12425	12108	12115					
Peso de molde + base (g)	7745	7745	7780	7780	7795	7795					
Peso del suelo húmedo (g)	4868	4879	4626	4645	4313	4320					
Volumen del molde (cm ³)	2131	2131	2127	2127	2129	2129					
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.284	2.290	2.175	2.180	2.026	2.027					
Tara (Nº)	Tc-12	Tc-22	Tc-13	Tc-23	Tc-14	Tc-24					
Peso suelo húmedo + tara (g)	987.3	745.3	1055.3	765.3	845.3	785.3					
Peso suelo seco + tara (g)	942.0	706.6	1006.8	722.0	809.6	736.0					
Peso de tara (g)	314.9	255.9	308.2	252.5	312.5	263.8					
Peso de agua (g)	45.3	38.7	48.5	43.3	35.7	49.3					
Peso de suelo seco (g)	627.1	450.7	698.6	469.5	497.1	472.2					
Contenido de humedad (%)	7.2	8.6	6.9	9.2	7.2	10.4					
Densidad seca (g/cm ³)	2.130	2.108	2.034	1.999	1.890	1.837					
EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
01-mar-16	09:40	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
02-mar-16	09:40	24	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
03-mar-16	09:40	48	0	0.0	0.0	2	0.1	0.0	2	0.0	0.0
04-mar-16	09:40	72	1	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
05-mar-16	09:40	96	2	0.0	0.0	4	0.0	0.0	5	0.1	0.0
PENETRACION											
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm ²	MOLDE N°			MOLDE N°			MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION	
Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0			0				0		
0.635		56			60				50		
1.270		286			256				162		
1.905		655			502				302		
2.540	70.5	1580	1849.5	135	823	1465.4	107		456	730.8	53
3.810		2455			1655				812		
5.080	105.7	3166	4027.7	196	2488	3291.3	160		1322	1674.6	81
6.350		4466			3455				1788		
7.620		5645			4322				2355		
Observaciones: _____											
Elaborado por: Nombre / Función: José Luis Pantoja Galván Técnico Firma: _____ A:				Aprobado por: Nombre / Función: Mauricio V. Mendoza Pillaca Ing*. Especialista de Suelos y Pavimentos Firma: _____ A:				V° B° Supervisión Nombre / Función: Guillermo Lazo Lázaro MSc. Ing. Jefe Especialista de Suelos y Pavimento Firma: _____ A:			

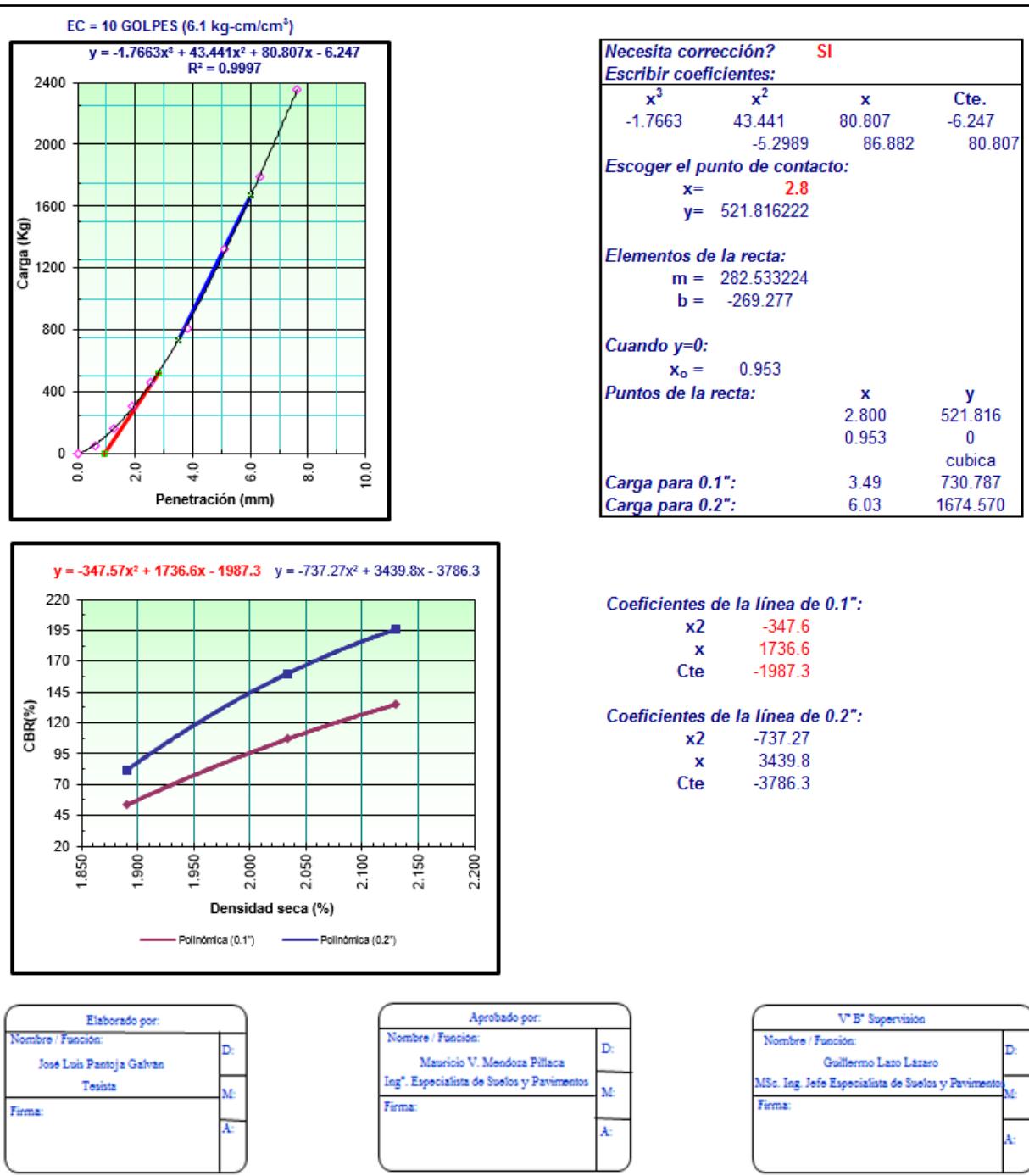
Anexo H. Ficha de Ensayo California CBR (Gráficos CBR).

CONSORCIO CONSERVACIÓN VIAL SANTA ROSA  		Obra: SERVICIO DE GESTIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL : "DV. HUMAJALSO - DESAGUADERO Y TACNA - TARATA - CAPAZO - MAZOCRUZ" Contrato No: 002-2016-MTC/20 Registro: Nº _____ PC-ESU-07-F1 Hoja: 2 de 2			
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AAHTO T 193					
DATOS DE LA MUESTRA					
CONCEPTO : ESTUDIO DE SUELOS PARA DISEÑO DEL PAVIMENTO TRAMO : TRAMO I - DV. HUMAJALSO - HUAYTIRE CALICATA : C-02 N° DE MUESTRA : M-01 UBICACIÓN : km.: 116+500			LADO: EJE PROFUNDIDAD: De 0.075 a 0.225 m. HECHO POR: J.L.P.G FECHA: 01/03/2016		
DETERMINACIÓN DEL CBR			DATOS DEL PRÓCTOR MODIFICADO		
			PROCTOR MODIFICADO : 1557 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³) : 2.127 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 7.2 AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³): 2.021		
PORCENTAJE DEL CBR			OBSERV.:		
EC = 56 GOLPES 			EC = 25 GOLPES 		
EC = 10 GOLPES 					
Observaciones:					
Elaborado por: Nombre / Función: José Luis Pantoja Galván Tesista Firma: _____ A: _____		Aprobado por: Nombre / Función: Mauricio V. Mendoza Píllaca Ing*. Especialista de Suelos y Pavimentos Firma: _____ M: _____		Vº Bº Supervisión Nombre / Función: Guillermo Lazo Lazaro MSc. Ing. Jefe Especialista de Suelos y Pavimento Firma: _____ D: _____	

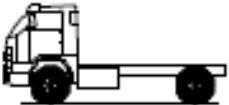
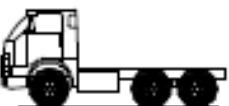
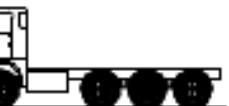
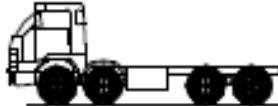
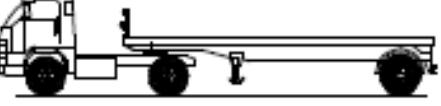
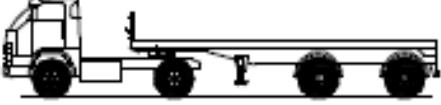
Anexo I. Ficha de Ensayo California CBR (Corrección CBR 1).

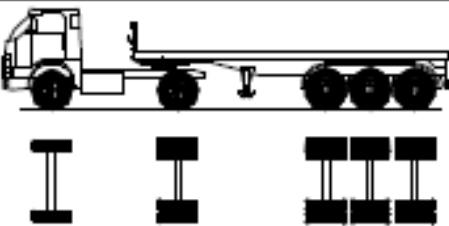
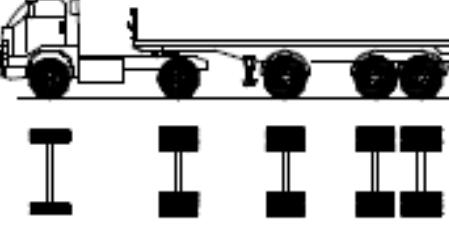
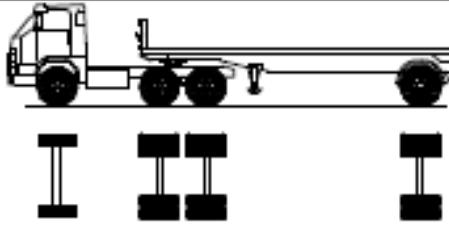
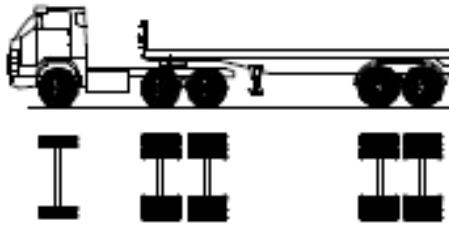
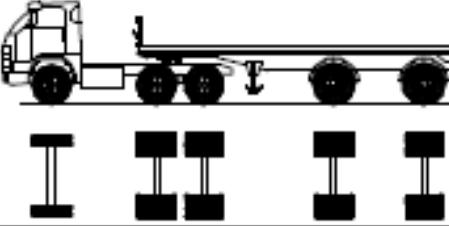
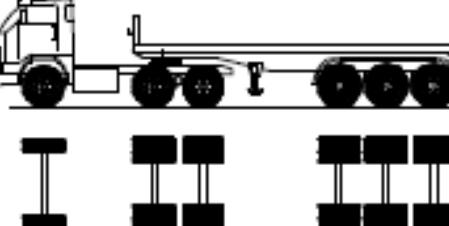


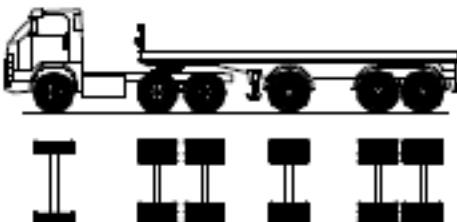
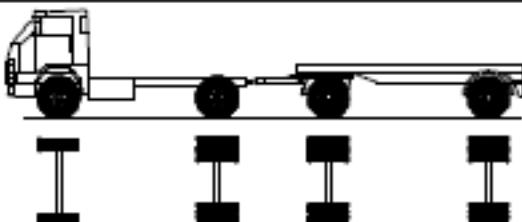
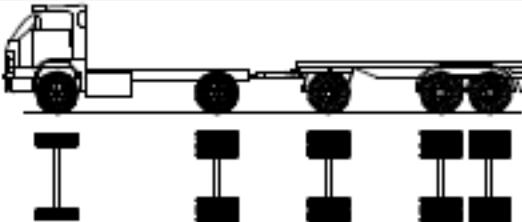
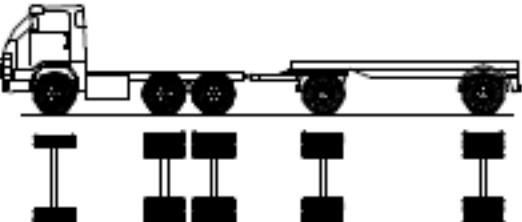
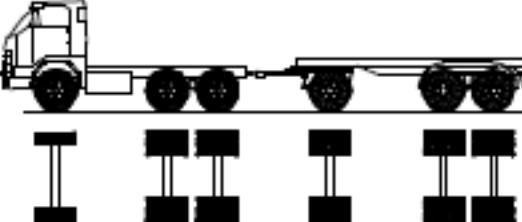
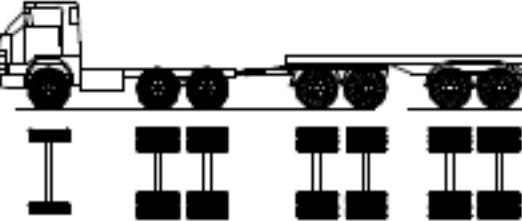
Anexo J. Ficha de Ensayo California CBR (Corrección CBR 2).

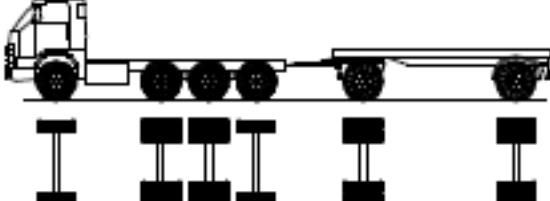
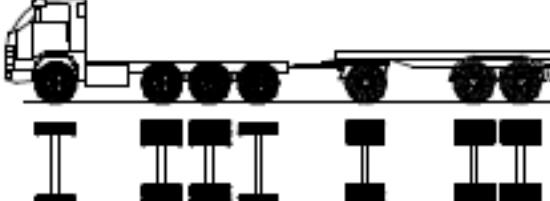
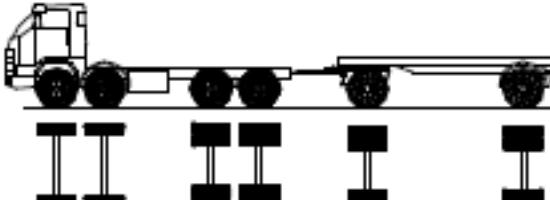
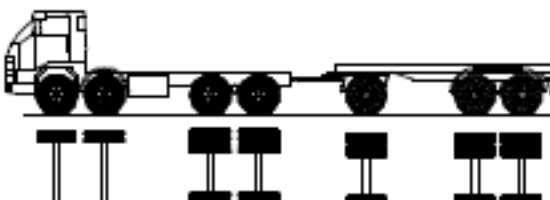
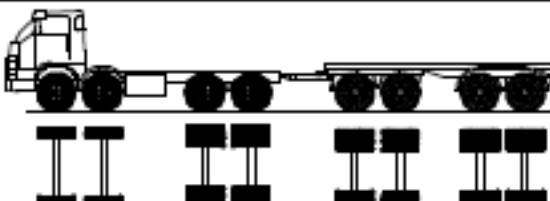
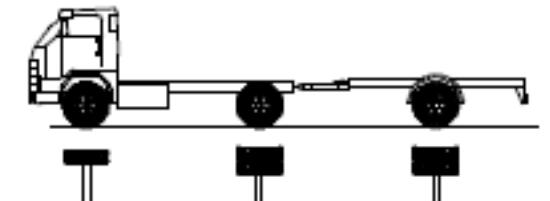


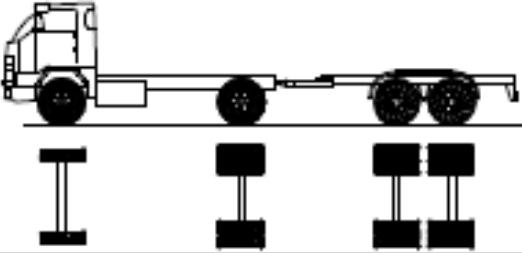
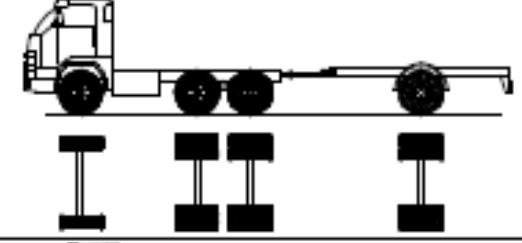
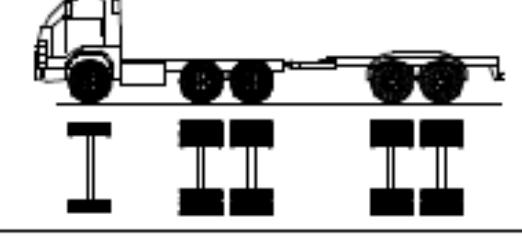
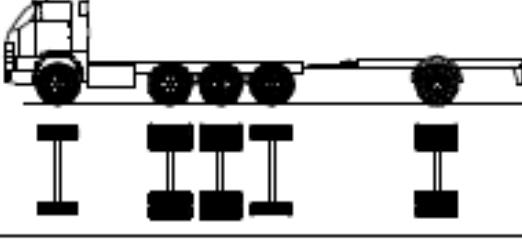
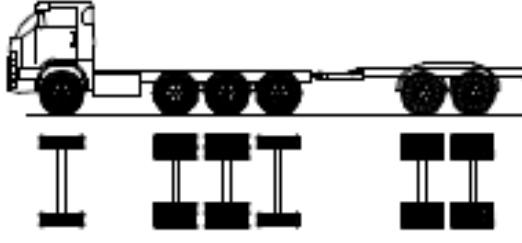
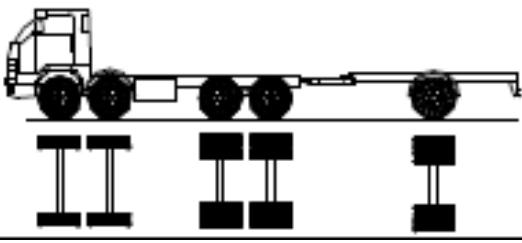
Anexo K. Tabla de pesos y medidas máximas permitidas por configuración vehicular.

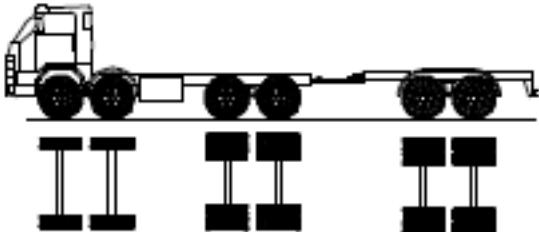
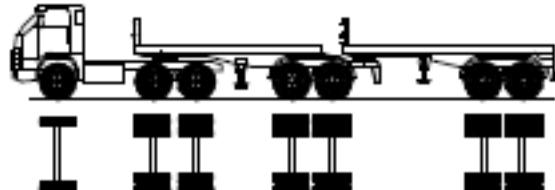
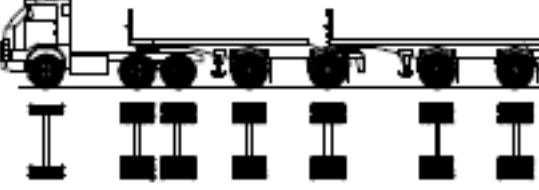
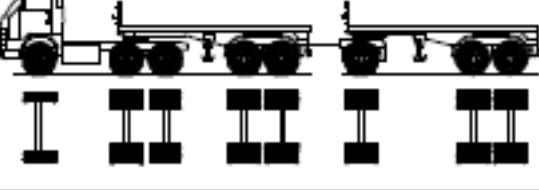
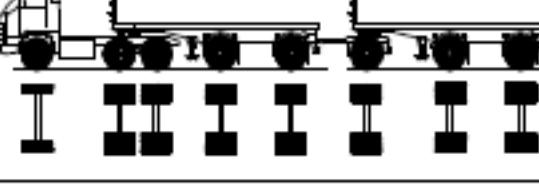
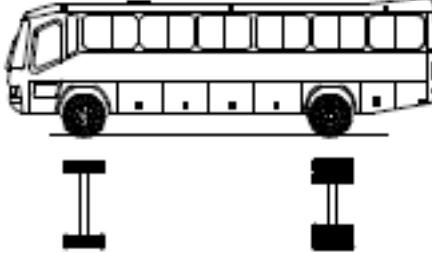
TABLA DE PESOS Y MEDIDAS								
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant.	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
C2		12,30	7	11	—	—	—	18
C3		13,20	7	18	—	—	—	25
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	—	—	—	30
8x4		13,20	7+7 ⁽⁵⁾	18	—	—	—	32
T2S1		20,50	7	11	11	—	—	29
T2S2		20,50	7	11	18	—	—	36
T2Se2		20,50	7	11	11	11	—	40

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant.	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
T2S3		20,50	7	11	25	--	--	43
T2Se3		20,50	7	11	11 ⁽⁴⁾	18	--	47
T3S1		20,50	7	18	11	--	--	36
T3S2		20,50	7	18	18	--	--	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	--	47
T3S3		20,50	7	18	25	--	--	48 ⁽²⁾

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant.	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
T3Se3		20,50	7	18	11 ⁽⁴⁾	18	--	48 ⁽²⁾	
C2R2		23,00	7	11	11	11	--	40	
C2R3		23,00	7	11	11	18	--	47	
C3R2		23,00	7	18	11	11	--	47	
C3R3		23,00	7	18	11	18	--	48 ⁽²⁾	
C3R4		23,00	7	18	18	18	--	48 ⁽²⁾	

Configura- ción vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1°	2°	3°	4°		
C4R2		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	11	—	48 ⁽²⁾	
C4R3		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	18	—	48 ⁽²⁾	
8x4R2		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	11	—	48 ⁽²⁾	
8x4R3		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	18	—	48 ⁽²⁾	
8x4R4		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	18	—	48 ⁽²⁾	
C2RB1		20,50	7	11	11	—	—	29	

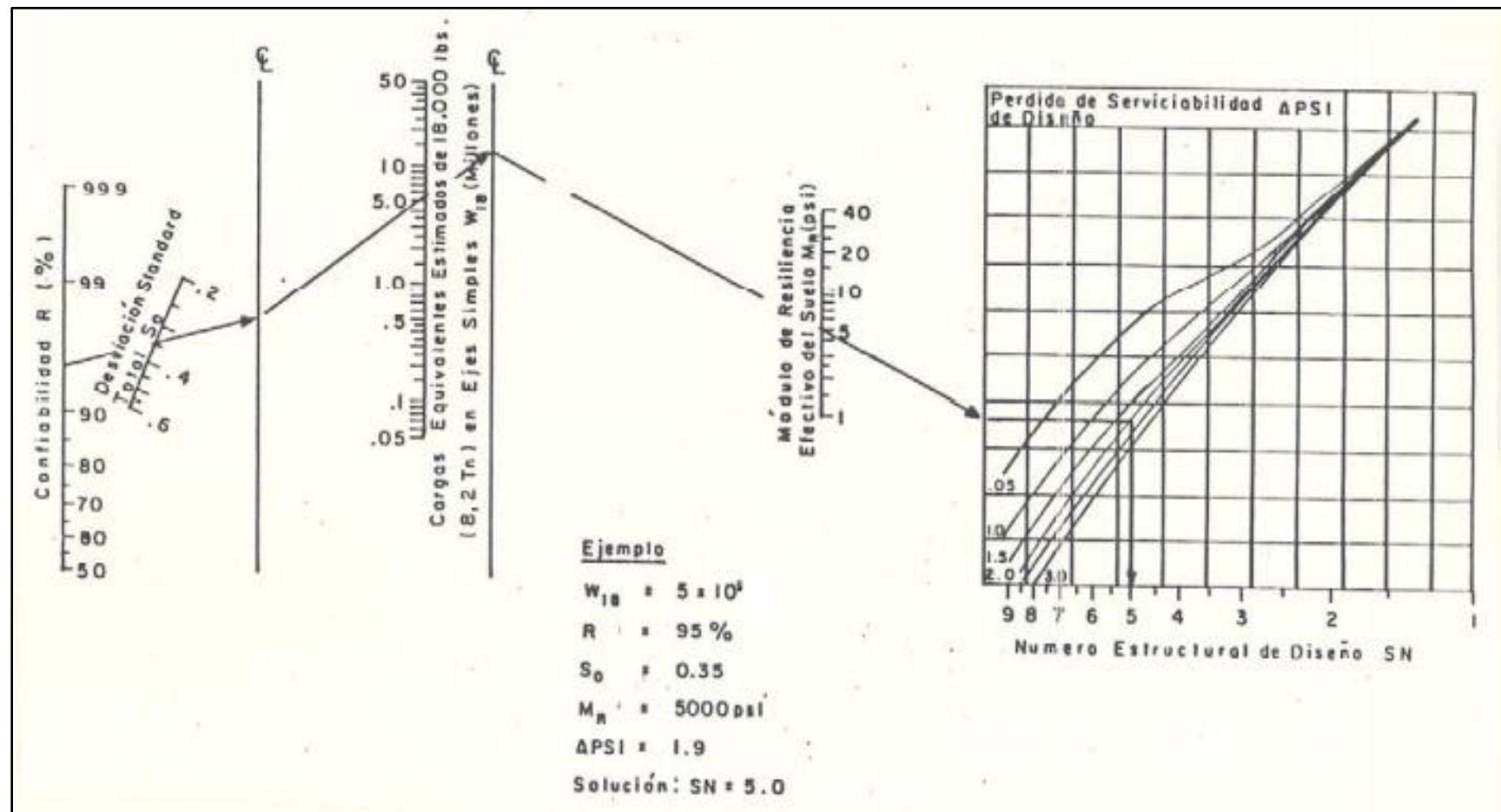
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
C2RB2		20,50	7	11	18	--	--	36	
C3RB1		20,50	7	18	11	--	--	36	
C3RB2		20,50	7	18	18	--	--	43	
C4RB1		20,50	7	23 ⁽¹⁾	11	--	--	41	
C4RB2		20,50	7	23 ⁽¹⁾	18	--	--	48	
6x4 RB1		20,50	7+7 ⁽²⁾	18	11	--	--	43	

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
8x4 RB2		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	—	—	48 ⁽²⁾	
T3S2 S2		23,00	7	18	18	18	—	48 ⁽²⁾	
T3Se2 Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11 + 11 ⁽³⁾	—	48 ⁽²⁾	
T3S2 S1S2		23,00	7	18	18	11	18	48 ⁽²⁾	
T3Se2 S1Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11	11 + 11 ⁽³⁾	48 ⁽²⁾	
B2		13,20	7	11	—	—	—	18	

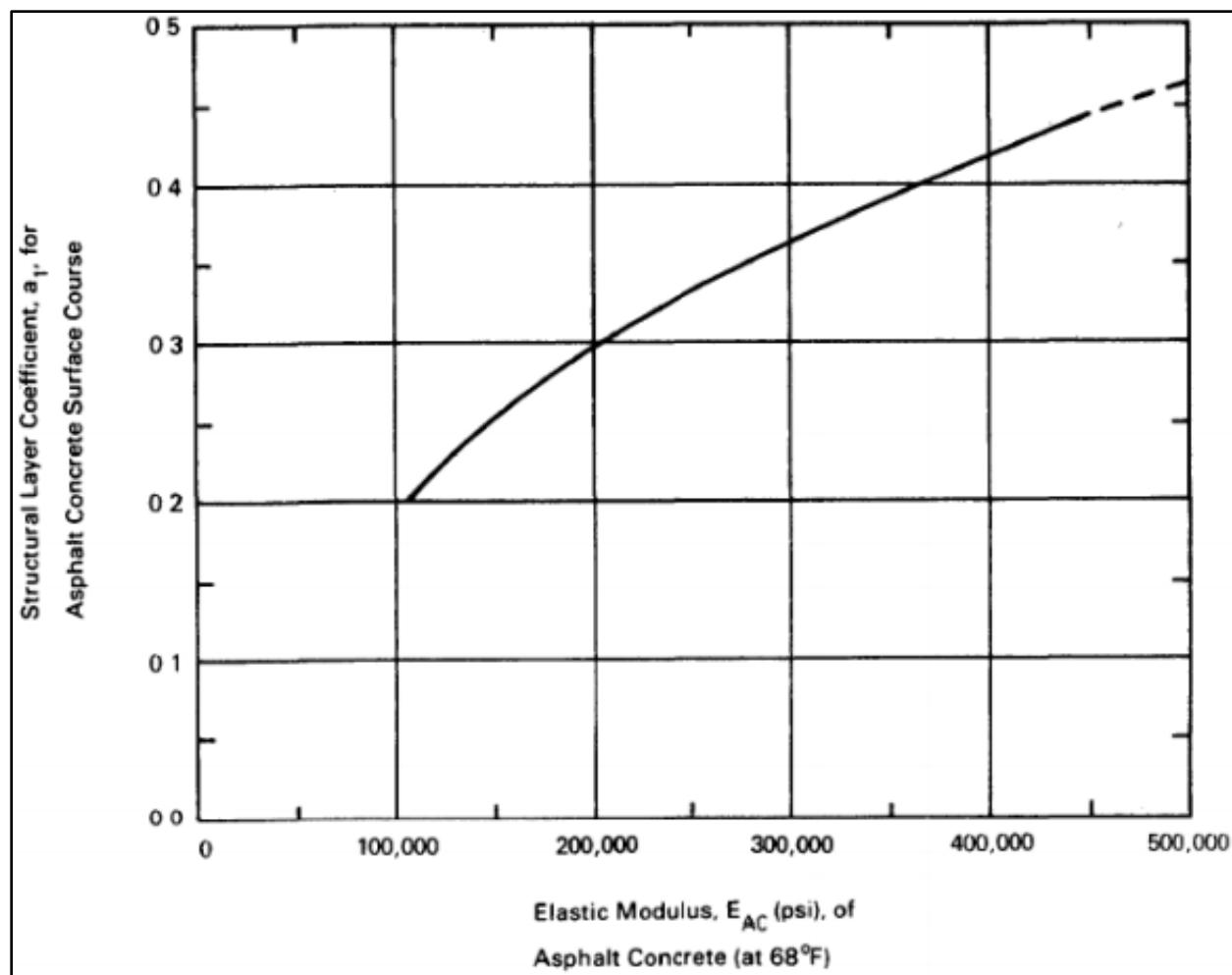
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
B3-1		14,00	7	16	--	--	--	23	
B4-1		15,00	7+7 ⁽⁵⁾	16	--	--	--	30	
BA-1		18,30	7	11	7	--	--	25	

- (1) Conjunto de ejes con un eje direccional
- (2) Vehículos con facilidad de distribución de peso por ejes
- (3) Conjunto de ejes separados compuesto por dos ejes simples donde la distancia entre centros de ruedas es superior a 2,40 m
- (4) Eje direccional
- (5) Carga máxima para conjunto de ejes direccionales compuestos por dos ejes simples donde la distancia entre centros de ruedas es superior a 1,70 m

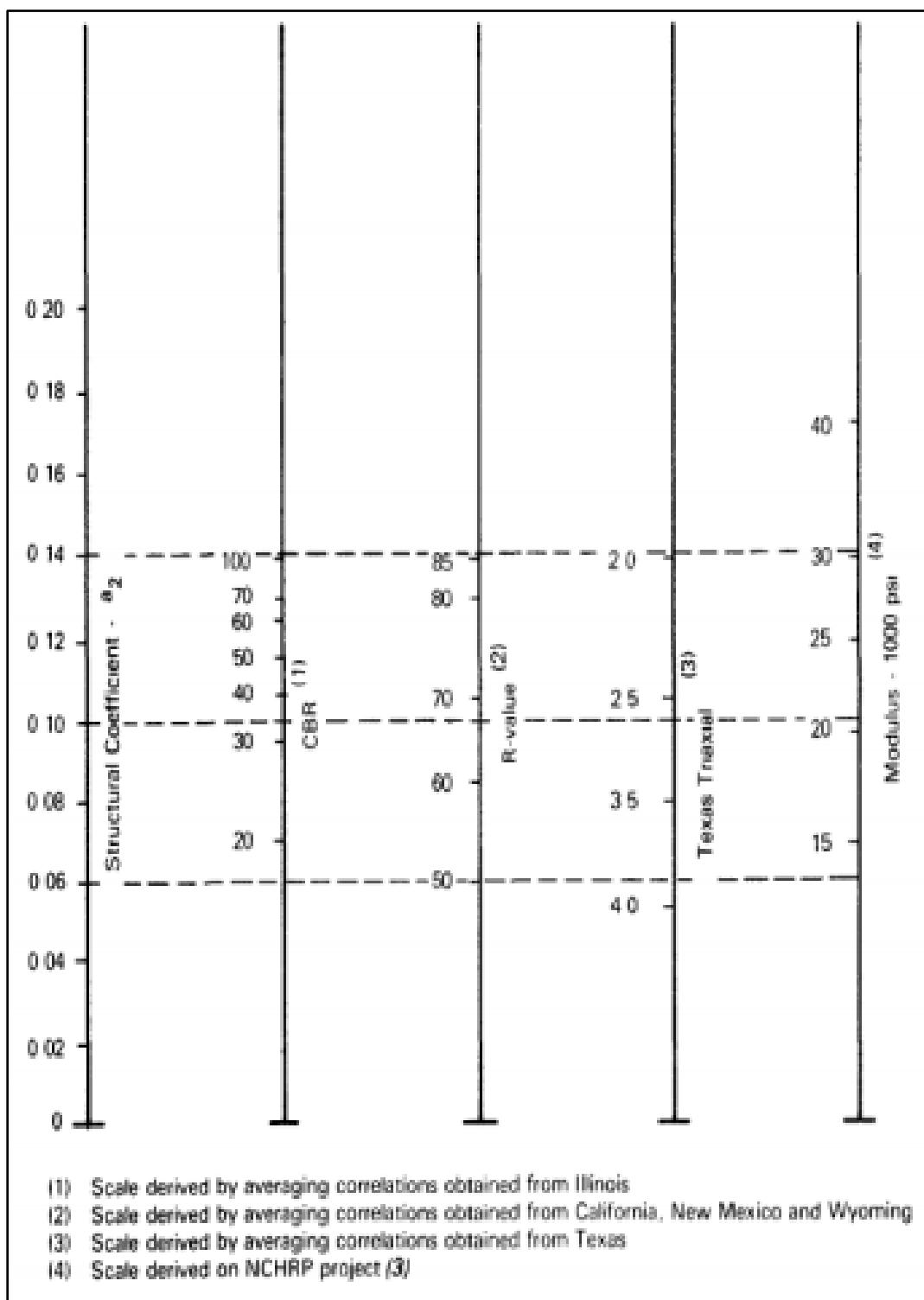
Anexo L. Ábaco de Nomograma para Diseño de Pavimentos Flexibles.



**Anexo M. Ábaco de valores de Coeficiente Estructural para mezclas de Concreto Asfáltico
a partir del Módulo de Elasticidad.**



Anexo N. Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Bases Granulares no-tratadas.



Anexo O. Ábaco de valores del Coeficiente Estructural para Subbases Granulares no-tratadas.

