



Evaluación funcional y evaluación estructural del corredor vial Santo Domingo -

10 de agosto (E25) del tramo km 1+500 hasta el km 3+000.

Quishpe Muela, Luis Eduardo

Departamento de Ciencias de la Tierra Y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Morales Muñoz, Byron Omar Msc.

17 de marzo del 2021



Documento	TESIS Luis Eduardo Quishpe Muela.pdf (D98430256)
Presentado	2021-03-15 12:08 (-05:00)
Presentado por	lequishpe1@espe.edu.ec
Recibido	bomorales1.espe@analysis.orkund.com
Mensaje	Urkund Tesis Luis Eduardo Quishpe Muela Mostrar el mensaje completo 6% de estas 42 páginas, se componen de texto presente en 10 fuentes.

BYRON OMAR
MORALES MUÑOZ

Firmado digitalmente por BYRON
OMAR MORALES MUÑOZ
Fecha: 2021.03.16 16:50:21 -05'00'



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Civil

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Evaluación funcional y evaluación estructural del corredor vial Santo Domingo - 10 de agosto (E25) del tramo km 1+500 hasta el km 3+000” fue realizado por el señor **Quishpe Muela, Luis Eduardo** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de marzo de 2021

BYRON OMAR
MORALES MUÑOZ

Firmado digitalmente por BYRON
OMAR MORALES MUÑOZ
Fecha: 2021.03.16 16:50:21 -05'00'

Ing. Morales Muñoz, Byron Omar Msc.

C. C: 171256590-0



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Civil

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Quishpe Muela, Luis Eduardo**, con cédula de ciudadanía n° 230054546-0, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Evaluación funcional y evaluación estructural del corredor vial Santo Domingo - 10 de agosto (E25) del tramo km 1+500 hasta el km 3+000”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de marzo de 2021

Firma


Quishpe Muela, Luis Eduardo

C.C.: 230054546-0



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Quishpe Muela, Luis Eduardo**, con cédula de ciudadanía n° 230054546-0, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Evaluación funcional y evaluación estructural del corredor vial Santo Domingo - 10 de agosto (E25) del tramo km 1+500 hasta el km 3+000"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de marzo de 2021

Quishpe Muela, Luis Eduardo

C.C.: 230054546-0

Dedicatoria

A mis padres Clarita y Eduardo que han sido puntal fundamental e incondicional, que con sus consejos y sabiduría he podido encaminarme de manera correcta, además gracias a su sacrificio me han permitido e incentivado a conseguir este logro.

A mis hermanas Cristina y Carito que durante mi etapa universitaria me han apoyado de diferentes maneras y sé que siempre fueron un respaldo.

A mi novia Sammy quien siempre supo brindarme todo el apoyo necesario para poder culminar mis estudios.

Luis Eduardo

Agradecimiento

Agradezco a Dios que ha sido siempre guía en todas las etapas de mi vida. A mis padres Clarita y Eduardo que me permitieron y ayudaron durante toda esta etapa de mi vida, por ser mi respaldo incondicional y ejemplo de esfuerzo y valentía ante la vida.

A mi hermana Carito porque sé que siempre estuve en tus oraciones y porque sin ti esto nunca lo hubiera ni imaginado lograr, tu iniciaste esto y siempre te lo agradeceré.

A mi hermana Cris por siempre estar pendiente a cada momento, ayudarme y apoyarme en gran manera, no sé cómo agradecerte tanto.

A ti Sammy por darme tu apoyo y ser mi compañía, te admiro y siempre serás la persona más especial de mi vida.

A mi tutor Ing. Byron Morales por su esfuerzo, gestión y orientación de este proyecto.

A mis amigos de facultad por acompañarme en estos años de aprendizaje y de experiencias.

Luis Eduardo

Índice de contenido

Urkund.....	2
Autoría de responsabilidad	4
Autorización.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de contenido.....	8
Índice de tablas	13
Índice de figuras	18
Resumen	23
Abstract.....	24
Capítulo I.....	25
Descripción general del proyecto	25
Identificación del Problema.....	27
Macro	27
Meso.....	27
Micro.....	28
Descripción resumida del proyecto	29
Objetivos generales y específicos.....	29
Objetivo general.....	29
Objetivos específicos	29
Metas.....	30

Datos del proyecto.....	30
Ubicación del proyecto.....	30
Situación actual de la vía.....	32
Importancia y justificación.....	33
Metodología de la investigación.....	34
Capítulo II.....	35
Estudio de tráfico	35
Introducción.....	35
Alcance.....	35
Investigación preliminar del proyecto.....	35
Estimación de tráfico.	36
Conteo Vehicular	36
Cuadro del volumen vehicular en los dos sentidos	42
Tránsito promedio diario semanal (TPDS) (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007)	49
Tránsito promedio diario mensual (TPDM) (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).....	49
Cálculo y estimación de tránsito promedio diario anual (TPDA).....	50
Proyección de tráfico futuro (TF).....	52
Método aritmético	52
Método geométrico	52
Volumen horario de máxima demanda (VHMD).....	53
Factor horario de máxima demanda (FHMD).....	54

	10
Velocidad de diseño	55
Velocidad de proyecto	56
Límites de Velocidad	57
Nivel de servicio según Highway Capacity Manual 2010	57
Tránsito promedio diario anual de la intersección	59
Capítulo III.....	76
Proyecto ejecutivo.....	76
Consideraciones generales	76
Proyecto geométrico.....	76
Coordenadas polígono fundamental.	76
Diseño horizontal.....	77
Diseño vertical	83
Evaluación funcional de pavimento flexible del corredor vial Santo Domingo – 10 de agosto del tramo km 1+500 hasta el km 3+000.	84
Inspección visual	84
Inventario de daños en el corredor vial	85
Evaluación estructural de pavimento flexible del corredor vial Santo Domingo – 10 de agosto del tramo km 1+500 hasta el km 3+000.	123
Toma de muestras de pavimento existente	124
Estructura de pavimento flexible	131
Caracterización de material granular	135
Caracterización de la sub rasante.....	168

Diseño de pavimento asfáltico método AASHTO 93.	172
Índice de serviciabilidad.....	177
Proyecto de drenaje vial	185
Ubicación del proyecto en función de las estaciones meteorológicas.	185
Capítulo IV	194
Seguridad vial.....	194
Importancia de la seguridad vial	194
Control de tráfico	194
Señalización horizontal.....	195
Señalización vertical.....	195
Señales regulatorias (S.R).....	195
Señales preventivas	199
Capítulo V	213
Presupuesto referencial.....	213
Rubros y Cantidades de obra	213
Determinación de APU's	214
Presupuesto	215
Capítulo VI	216
Conclusiones y recomendaciones.....	216
Conclusiones.....	216
Recomendaciones.....	217

Referencias	219
Anexos	223

Índice de tablas

<i>Tabla 1 Red estatal Santo Domingo de los Colorados.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2 Coordenadas del proyecto.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3 Conteo vehicular lunes 10 de febrero del 2020.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4 Conteo vehicular martes 11 de febrero del 2020</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5 Conteo vehicular miércoles 12 de febrero del 2020</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 6 Conteo vehicular jueves 13 de febrero del 2020.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 7 Conteo vehicular viernes 14 de febrero del 2020.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 8 Conteo vehicular sábado 15 de febrero del 2020.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 9 Conteo vehicular domingo 16 de febrero del 2020.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10 Conteo vehicular en 7 días</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 11 Volumen vehicular en los dos sentidos.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 12 Conteo vehicular diario.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 13 TPDA días de estudio.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 14 Días por mes del año 2020.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 15 Tráfico promedio mensual (TM).....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 16 Tránsito promedio diario mensual.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 17 Tráfico proyectado futuro.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 18 Volumen horario de máxima demanda</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 19 Clasificación funcional de las vías en base al TPDA.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 20 Velocidad de diseño</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 21 Límite de velocidad en vías rurales.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 22 Ajuste para ancho de carril y ancho de berma (f_{LS}).....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 23 Factor de ajuste por densidad de puntos de acceso.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 24 Factores de ajuste para terreno plano, ondulado y pendientes negativas específicas.</i>	<i>62</i>

Tabla 25 <i>Factor de ajuste por vehículos pesados</i>	63
Tabla 26 <i>Factores de ajuste por porcentaje de zonas de no rebasar</i>	64
Tabla 27 <i>Factor de ajuste por pendiente para tipo de terreno</i>	66
Tabla 28 <i>Factores de equivalencia para camiones y buses según tipo de terreno</i>	66
Tabla 29 <i>Coeficientes a y b de acuerdo al flujo vehicular en el sentido contrario</i>	68
Tabla 30 <i>Factores de ajuste por zonas de no rebase PTSF</i>	68
Tabla 31 <i>Método HCM 2010 para determinación de niveles de servicio carreteras de dos carriles clase I</i>	69
Tabla 32 <i>Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE)</i>	70
Tabla 33 <i>Tabla nacional de pesos y dimensiones</i>	72
Tabla 34 <i>Factores de distribución</i>	73
Tabla 35 <i>Variables cálculo de ejes equivalentes de 8.2 T</i>	75
Tabla 36 <i>Coordenadas polígono fundamental</i>	77
Tabla 37 <i>Ángulos curvas espirales</i>	77
Tabla 38 <i>Parámetros curvas espirales</i>	78
Tabla 39 <i>Parámetros curva circular</i>	78
Tabla 40 <i>Unidades y símbolo de Fisuras longitudinales y transversales</i>	88
Tabla 41 <i>Unidades y símbolos de fisuras parabólicas</i>	91
Tabla 42 <i>Unidades y símbolos de fisuras de borde</i>	93
Tabla 43 <i>Unidades y símbolos piel de Cocodrilo</i>	96
Tabla 44 <i>Unidades y símbolos abultamiento</i>	98
Tabla 45 <i>Unidades y símbolos hundimiento</i>	101
Tabla 46 <i>Unidades y símbolos ahuellamiento</i>	104
Tabla 47 <i>Unidades y símbolos descascaramiento</i>	106
Tabla 48 <i>Severidad según profundidad</i>	109
Tabla 49 <i>Unidades y símbolos baches</i>	110

Tabla 50 <i>Unidades y símbolos pérdida de agregado.</i>	114
Tabla 51 <i>Afectación de daños 1+500 Km hasta 2+000 Km</i>	115
Tabla 52 <i>Resumen de afectación de daño del pavimento 1+500 Km hasta 2+000 Km</i>	116
Tabla 53 <i>Afectación de daños 2+000 Km hasta 2+500 Km</i>	118
Tabla 54 <i>Resumen de afectación de daño del pavimento 2+000 Km hasta 2+500 Km</i>	119
Tabla 55 <i>Afectación de daños 2+500 Km hasta 3+000 Km</i>	120
Tabla 56 <i>Resumen de afectación de daño del pavimento 2+500 Km hasta 3+000 Km</i>	122
Tabla 57 <i>Área afectada según el tipo de daño.</i>	123
Tabla 58 <i>Resumen total área afectada.</i>	123
Tabla 59 <i>Espesores de estructura de pavimento.</i>	130
Tabla 60 <i>Granulometría de subbases.</i>	132
Tabla 61 <i>Especificaciones de las bases granulares.</i>	133
Tabla 62 <i>Tamices de malla cuadrada para base clase I</i>	133
Tabla 63 <i>Tamices de malla cuadrada para base clase II</i>	134
Tabla 64 <i>Tamices de malla cuadrada para base clase III.</i>	134
Tabla 65 <i>Tamices de malla cuadrada para base clase IV.</i>	134
Tabla 66 <i>Granulometría base calicata 1 abscisa 1+560</i>	138
Tabla 67 <i>Granulometría sub base calicata 1 abscisa 1+560.</i>	140
Tabla 68 <i>Granulometría sub rasante calicata 1 abscisa 1+560.</i>	141
Tabla 69 <i>Humedad calicata 1 abscisa 1+500</i>	146
Tabla 70 <i>Resumen de humedades de calicatas</i>	146
Tabla 71 <i>Limites de consistencia calicata 1</i>	152
Tabla 72 <i>Resultado límites de consistencia calicata 1</i>	153
Tabla 73 <i>Clasificación AASHTO y SUCS calicata 1</i>	155
Tabla 74 <i>Especificaciones para la prueba proctor modificada.</i>	157

Tabla 75 <i>Ensayo proctor modificado calicata 1 abscisa 1+560 km.</i>	161
Tabla 76 <i>Resultados ensayo proctor modificado</i>	162
Tabla 77 <i>Registro de datos de ensayo CBR abscisa 1+560 km.</i>	165
Tabla 78 <i>Resultados penetración calicata 1</i>	166
Tabla 79 <i>Abscisas y valores CBR.</i>	168
Tabla 80 <i>Características geotécnicas del suelo in situ.</i>	170
Tabla 81 <i>Tabla criterio de aceptación capas de estructura</i>	171
Tabla 82 <i>Nivel de confiabilidad (R)</i>	172
Tabla 83 <i>Valores recomendados para desviación estándar (So).</i>	172
Tabla 84 <i>Factores de desviación normal</i>	173
Tabla 85 <i>Tabla índices de serviciabilidad de referencia.</i>	178
Tabla 86 <i>Escala de clasificación PSI según AASHTO</i>	179
Tabla 87 <i>Valores de m_i para modificar los coeficientes estructurales o de capa de bases y sub bases sin tratamiento, en pavimentos flexibles.</i>	181
Tabla 88 <i>Espesores mínimos de capas</i>	182
Tabla 89 <i>Espesores de diseño estructura.</i>	185
Tabla 90 <i>Intensidades máximas en 24 horas para varios periodos de retorno.</i>	187
Tabla 91 <i>Coefficiente de escorrentía</i>	189
Tabla 92 <i>Dimensiones señalética doble vía.</i>	197
Tabla 93 <i>Dimensiones señalética de no rebasar</i>	198
Tabla 94 <i>Dimensiones señalética límite máximo de velocidad</i>	199
Tabla 95 <i>Dimensiones señalética preventiva.</i>	200
Tabla 96 <i>Guía para el uso de señales en curvas cerradas y abiertas.</i>	201
Tabla 97 <i>Dimensiones señalética curva abierta.</i>	202
Tabla 98 <i>Dimensiones señalética puente angosto.</i>	203
Tabla 99 <i>Dimensiones señalética bandas transversales de alerta.</i>	204

Tabla 100 <i>Dimensiones señalética zona de derrumbes</i>	204
Tabla 101 <i>Dimensiones señalética vía compartida con ciclistas</i>	205
Tabla 102 <i>Dimensiones señalética peatones en la vía</i>	206
Tabla 103 <i>Dimensiones señalética D6 – 2</i>	210
Tabla 104 <i>Resumen señalética en vía</i>	211
Tabla 105 <i>Cantidades de obra</i>	213
Tabla 106 <i>Rubro 1</i>	214
Tabla 107 <i>Presupuesto referencial</i>	215

Índice de figuras

Figura 1 <i>Ubicación del Proyecto</i>	31
Figura 2 <i>Volúmenes de tráfico</i>	43
Figura 3 <i>Conteo vehicular por día</i>	45
Figura 4 <i>Tráfico vehicular mensual (TM)</i>	48
Figura 5 <i>Carretera convencional básica</i>	57
Figura 6 <i>Metodología de investigación aplicada a las intersecciones sin semáforo</i>	58
Figura 7 <i>Intersección Troncal de la Costa y Vinces</i>	59
Figura 8 <i>Abscisas curva espiral N° 1 izquierda</i>	79
Figura 9 <i>Abscisas curva espiral N° 2 izquierda</i>	79
Figura 10 <i>Abscisas curva espiral N° 3 derecha</i>	80
Figura 11 <i>Abscisas curva espiral N° 4 izquierda</i>	80
Figura 12 <i>Abscisas curva espiral N°5 derecha</i>	81
Figura 13 <i>Abscisas curva espiral N° 6 izquierda</i>	81
Figura 14 <i>Abscisas curva espiral N° 7 Derecha</i>	82
Figura 15 <i>Abscisas curva espiral N° 8</i>	82
Figura 16 <i>Perfil longitudinal Km 1+500 hasta Km 2+000</i>	83
Figura 17 <i>Perfil longitudinal Km 2+000 hasta Km 2+500</i>	83
Figura 18 <i>Perfil longitudinal Km 2+500 hasta Km 3+000</i>	84
Figura 19 <i>Esquema fisura longitudinal</i>	88
Figura 20 <i>Fisuras longitudinales en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	89
Figura 21 <i>Fisuras transversales en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	89
Figura 22 <i>Esquema fisura media luna o parabólica</i>	91
Figura 23 <i>Fisuras media luna o parabólicas en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	92
Figura 24 <i>Esquema fisura de borde</i>	94
Figura 25 <i>Fisura de borde en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	94

Figura 26 <i>Esquema fisura piel de cocodrilo</i>	96
Figura 27 <i>Piel de cocodrilo en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	97
Figura 28 <i>Esquema deformación de abultamiento</i>	99
Figura 29 <i>Abultamiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	99
Figura 30 <i>Esquema deformación de Hundimiento</i>	101
Figura 31 <i>Hundimiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	102
Figura 32 <i>Hundimiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	102
Figura 33 <i>Esquema deformación de ahuellamiento</i>	104
Figura 34 <i>Ahuellamiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	105
Figura 35 <i>Esquema pérdida por descascaramiento</i>	107
Figura 36 <i>Descascaramiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	107
Figura 37 <i>Descascaramiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	108
Figura 38 <i>Esquema de Baches</i>	110
<i>Figura 39 Baches en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	111
Figura 40 <i>Baches en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	111
Figura 41 <i>Baches en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	112
Figura 42 <i>Baches en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	112
Figura 43 <i>Pérdida de agregado en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	114
Figura 44 <i>Pérdida de agregado en vía Santo Domingo – 10 de agosto</i>	114
Figura 45 <i>Calicata 1 abscisa 1+560</i>	125
Figura 46 <i>Calicata 1 toma de muestras y medición de capas</i>	125
Figura 47 <i>Calicata 2 abscisa 1+850</i>	126
Figura 48 <i>Calicata 2 toma de muestras</i>	126
Figura 49 <i>Calicata 3 abscisa 2+020</i>	127
Figura 50 <i>Calicata 3 medidas de capa</i>	127
Figura 51 <i>Calicata 4 abscisa 2+240</i>	128

Figura 52 <i>Calicata 4 toma de muestras</i>	128
Figura 53 <i>Calicata 5 abscisa 2+530</i>	129
Figura 54 <i>Calicata 5 toma de muestras</i>	129
Figura 55 <i>Calicata 6 abscisa 2+940</i>	130
Figura 56 <i>Sección transversal de estructura de pavimento flexible</i>	131
Figura 57 <i>Posición de los tamices</i>	137
Figura 58 <i>Agitador mecánico</i>	137
Figura 59 <i>Separación de las muestras</i>	138
Figura 60 <i>Curva granulométrica base calicata 1 abscisa 1+560</i>	139
Figura 61 <i>Curva granulométrica sub base calicata 1 abscisa 1+560</i>	140
Figura 62 <i>Curva granulométrica sub rasante calicata 1 abscisa 1+560</i>	142
Figura 63 <i>Peso de la cápsula</i>	144
Figura 64 <i>Peso de cápsula con muestra húmeda</i>	144
Figura 65 <i>Cápsulas dentro del horno</i>	145
Figura 66 <i>Peso de cápsula con muestra seca</i>	145
Figura 67 <i>Perfil de humedad</i>	147
Figura 68 <i>Copa de Casagrande</i>	150
Figura 69 <i>Ranura trapecial</i>	150
Figura 70 <i>Ensayo límite plástico</i>	151
Figura 71 <i>Gráfica logarítmica límites de consistencia calicata 1</i>	153
Figura 72 <i>Ábaco de Casagrande calicata 1</i>	154
Figura 73 <i>Clasificación AASHTO calicata 1</i>	154
Figura 74 <i>Carta de plasticidad de Base</i>	155
Figura 75 <i>Carta de plasticidad sub base</i>	156
Figura 76 <i>Carta de plasticidad sub rasante</i>	156
Figura 77 <i>Peso del molde cilíndrico</i>	159

Figura 78 <i>Peso de pistón</i>	160
Figura 79 <i>Compactación de capas dentro de molde cilíndrico</i>	160
Figura 80 <i>Material compactado</i>	161
Figura 81 <i>Curva humedad vs densidad seca calicata 1</i>	162
Figura 82 <i>Gráfica penetración vs esfuerzo</i>	167
Figura 83 <i>Relación humedad – densidad</i>	167
Figura 84 <i>Gráfica CBR calicata 1</i>	168
Figura 85 <i>Diagrama Frecuencia vs CBR</i>	169
Figura 86 <i>Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica a1</i>	174
Figura 87 <i>Ábaco para estimar el número estructural de la base granular a2</i>	175
Figura 88 <i>Ábaco para estimar el número estructural de la sub base granular a3</i>	176
Figura 89 <i>Curva de deterioro del pavimento</i>	180
Figura 90 <i>Precipitación de lluvia promedio Santo Domingo</i>	180
Figura 91 <i>Cálculo de SN con software AASHTO 93</i>	182
Figura 92 <i>Localización de estaciones meteorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador</i>	186
Figura 93 <i>Geometría del diseño de cuneta triangular</i>	193
Figura 94 <i>Geometría de cuneta actual</i>	193
Figura 95 <i>Señales regulatorias</i>	196
Figura 96 <i>Señalética doble vía</i>	197
Figura 97 <i>Señalética no rebasar</i>	198
Figura 98 <i>Señalética límite máximo de velocidad</i>	199
Figura 99 <i>Señalética curva abierta izquierda / derecha</i>	202
Figura 100 <i>Señalética puente angosto</i>	203
Figura 101 <i>Señalética bandas transversales de alerta</i>	203
Figura 102 <i>Señalética zona de derrumbes</i>	204

Figura 103 Señalética vía compartida con ciclistas	205
Figura 104 Señalética peatones en la vía.....	206
Figura 105 Soporte de poste simple – urbano	207
Figura 106 Soporte de dos postes – urbano.....	208
Figura 107 Soporte normal de dos postes – rural.....	208
Figura 108 Soporte en voladizo.....	209
Figura 109 Señalética D6-2.....	209
Figura 110 Ubicación lateral de los delineadores de curva horizontal.....	210
Figura 111 Ubicación longitudinal de los delineadores de curva horizontal	211

Resumen

El presente proyecto desarrolla la evaluación del pavimento de la vía Santo Domingo -10 de agosto del km 1+500 hasta 3+000, cantón Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, este tramo de vía representa de importancia dado que conecta diferentes parroquias rurales de Santo Domingo y dado el crecimiento de volumen vehicular pesado por motivo de comercio este tramo de vía ha sido afectado. Para la apropiada evaluación funcional y estructural del pavimento se determinó las características de la vía, mediante un inventario de daños en el pavimento con mediciones en sitio, conteo vehicular para hallar el TPDA (Tráfico promedio diario anual) de la vía, ensayos destructivos y toma de muestras, para mediante ensayos de laboratorio clasificar el material colocado en la estructura actual. Al realizar la evaluación de la estructura de la vía se pudo evidenciar que se encuentra en condiciones regular y pobre, por este motivo, luego de evaluar tanto la estructura del pavimento como el sistema de drenaje de la vía, se recomienda una propuesta de reposición de la estructura de pavimento para la carga vehicular proyectada, esto aumentará la vida útil de la vía, además de mejorar el nivel de servicio de vehículos que transitan diariamente.

PALABRAS CLAVE

- **EVALUACIÓN**
- **FUNCIONAL**
- **ESTRUCTURAL**

Abstract

This project develops the evaluation of the pavement of the Santo Domingo road -10 August from km 1 + 500 to 3 + 000, Santo Domingo canton, province of Santo Domingo de los Tsáchilas, this section of road represents of importance since it connects different rural parishes of Santo Domingo and given the growth of heavy vehicle volume due to trade, this stretch of road has been affected.

For the appropriate functional and structural evaluation of the pavement, the characteristics of the road were determined, an inventory of damage to the pavement with measurements on site, vehicle counting to find the AADT (Annual average daily traffic) of the road, destructive tests and taking samples, for through tests of laboratory classify the material placed in the current structure. When evaluating the structure of the road, it was possible to show that it is in regular and poor condition, for this reason, after evaluating both the structure of the pavement and the drainage system of the road, a proposal for replacement of the road is recommended the pavement structure for the projected vehicular load, this will increase the useful life of the road, in addition to improving the level of service of vehicles that travel daily.

KEY WORDS:

- **EVALUATION**
- **FUNCTIONAL**
- **STRUCTURAL**

Capítulo I

Descripción general del proyecto

Antecedentes

Una vía de transporte es edificada fundamentalmente para la circulación de vehículos en condiciones de seguridad, comodidad y confortabilidad. Las vías están conformadas por una o varias calzadas, y estas podrían estar conformadas por uno o más carriles y tener una o dos direcciones de circulación. (Geovanny, 2015)

Según el Ministerio de Transportes y Obras Públicas (2013) la infraestructura vial en el Ecuador, ha mantenido una historia de incidentes reiterados, como colapso y estancamiento de caminos, formadas por el riesgo sísmico o por los diferentes factores climáticos a los que por varios años los gobiernos han tenido que afrontar con soluciones inmediatistas.

Con el paso de los años la carga vehicular se ha ido incrementando al igual que la población, como resultado ha aumentado el tráfico, tiempo y costo de viaje, por tanto, se presenta la necesidad de mejorar o ampliar las vías según el volumen vehicular que presentan las mismas, lo que obliga a que las vías cumplan con condiciones técnicas de diseño óptimas.

“La red vial de un país es primordial para su progreso y crecimiento porque es el único medio que facilita el transporte de los usuarios y las cargas”, dilucida el Msc. Julián Rivera, especialista en transporte por la Universidad de Piura, en el Ecuador es imprescindible aumentar la cantidad y mejorar la calidad de la red vial existente, considerando que la construcción vial contribuye con el desarrollo económico, aumentando la producción y mejora la calidad de vida de la población de la zona.

El presente proyecto presenta los estudios de ingeniería para la reposición vial de la vía Santo Domingo – 10 de agosto desde la abscisa Km 1+500 hasta la abscisa Km 3+00,

La vía Troncal de la Costa (E25) es una de las 12 vías primarias que conforman la Red Vial Estatal de Ecuador, esta atraviesa las provincias de Loja, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, El Oro Guayas, y Pichincha.

La red estatal Troncal de la Costa (E25) se inicia en la Vía Colectora Quito-La Independencia (E28) en la localidad de San Miguel de los Banco en la Provincia de Pichincha. La troncal se dirige al sur hasta la ciudad de Santo Domingo en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. A partir de Santo Domingo, el terreno que la troncal recorre se caracteriza por ser plano hasta la frontera con Perú. La misma que por la variación climática propia de la zona, y un incremento vehicular representativo, se presume que ha provocado un acrecentamiento de patologías, las cuales son perceptibles a simple vista, evidenciando el deterioro avanzado de la capa de rodadura del pavimento.

Jácome Mantilla, 2014 acota que la inversión del patrimonio público de forma adecuada mediante un proceso oportuno de construcción y fiscalización genera una apropiada circulación vehicular con menor desgaste en el pavimento.

López Castillo, 2014 afirma que la estructura del pavimento que forma una carretera se encuentra sometida a la acción perpetua del tráfico y de los cambios climáticos. Estos factores, contiguo con la degeneración natural de los materiales, producen que el firme soporte un proceso de gradual desperfecto. Este deterioro de la estructura sufre una reducción gradual en el índice de serviciabilidad y confort del tráfico, que al pasar valores específicos se hacen necesaria una acción de conservación.

Se evidencia que a pesar de haber tomado en cuenta un mantenimiento preventivo en este trayecto de la vía por parte del MTOP Santo Domingo, debido al aumento de tráfico pesado por parte del posicionamiento de canteras en el sector, es manifestado por el director del MTOP Santo Domingo que el análisis de cargas no fue

tomado en cuenta en un estudio previo de la vía y la afectación es cada vez más evidente.

El aumento constante del transporte en este sector, en los últimos años ha generado que los modos de falla sean altos, demostrando el deterioro de la estructura de pavimento. Los diferentes deterioros superficiales, que son notables, pueden causar afectaciones más graves de no ser reparados a tiempo.

Identificación del Problema

Macro

Se debe garantizar un mejor nivel de: seguridad, comodidad, estética y economía, además compatible con el medio ambiente de las vías del mundo, con el pasar del tiempo se han realizado una diversidad de investigaciones, con la finalidad de mejorar el diseño de la estructura vial y encaminar a la innovación de los materiales de construcción, de esta manera prolongar la durabilidad de estos y acrecentar la vida útil del proyecto, aun así, las investigaciones se han centrado primordialmente en las infraestructuras viales nuevas y en menor afán a las existentes.

Meso

El Ecuador posee aproximadamente 10000 km de red vial estatal en un estado apropiado (Ministerio de transporte y obras públicas, 2017), en su mayoría estas están constituidas por pavimento flexible, estas vías han sido impresionado por numerosos factores como las características del terreno de fundación del proyecto, el clima al que está expuesto y sus variantes en todo el territorio ecuatoriano, expuesto a un gradiente térmico que varía en un intervalo entre los 9°C y 30°C en un día, el crecimiento del tránsito vehicular generado año a año, expone al pavimento a un esfuerzo mayor al que fue diseñado.

Los parámetros mencionados han ocasionado fallas y daños en el pavimento, producto de los daños y ausencia de mantenimiento preventivo, expone al usuario a percibir el bajo confort e inseguridad, por este motivo se debe realizar una rehabilitación de la vía mediante un estudio óptimo de la vía.

Micro

La provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas posee en su gran mayoría vías de pavimento flexible, las mismas que se han perjudicado por el crecimiento vehicular y condiciones quizás no consideradas en el diseño inicial. Es posible evidenciar en la vía Santo Domingo – 10 de agosto, zonas de daños, desprendimientos, fisuras y deformaciones en el pavimento, se presume que como causantes se tiene: la sobrecarga de esfuerzos en los carriles de la vía en razón de que las principales canteras de la ciudad de Santo Domingo utilizan este tramo a diario, el aumento progresivo de la población en los últimos años en los recintos que conecta esta vía, además del flujo vehicular potencialmente alto debiéndose a los cierres frecuentes de la vía Alóag – Santo Domingo ya sea por derrumbes o mantenimiento, ya que esta vía conecta las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Pichincha, adicionalmente el Ministerio de Transportes y Obras Públicas requiere presupuesto mensual para los mantenimientos mensuales en este tramo de vía. (Área de estructuras MTOP - SD, 10 de octubre del 2018).

Por estos aspectos antes mencionados se tiende la estructura de pavimento y la carpeta de rodadura a deteriorar de forma gradual, se presume una alta fatiga de los elementos que conforman la estructura de pavimento; exponiendo así a los usuarios a un índice de insatisfacción, inseguridad y menor confort, como resultado una reducción total del nivel de servicio. Finalmente es preciso sugerir una evaluación funcional y

evaluación estructural en busca de una solución de este problema de forma eficiente y óptima.

Descripción resumida del proyecto

El presente proyecto busca desarrollar una evaluación adecuada para mejorar la resistencia que conforman los materiales y su durabilidad en la vida útil del pavimento flexible, mediante una evaluación funcional y estructural.

El nivel de susceptibilidad dependerá de tres aspectos importantes: caracterización de las patologías presentes, morfología de la zona de estudio y tipo de materiales utilizados en su construcción. Esta caracterización brindara parámetros de estudio como: contenido de humedad, resistencia a cargas, y control de deformaciones.

Los resultados finales del estudio expresarán la caracterización de las patologías, el índice de serviciabilidad de la vía, presentar una alternativa de reposición económica de alta durabilidad y las recomendaciones para cada una de las incidencias que se presenten, cabe resaltar que el proyecto será realizado implementando los equipos del Laboratorio de Ensayo de Materiales y todos estos resultados serán entregados para referencia como estudio a nivel pre preliminar del proyecto del Ministerio de Transportes y Obras Públicas de Santo Domingo (MTO-P-SDT).

Objetivos generales y específicos

Objetivo general

Desarrollar una evaluación funcional, evaluación estructural del corredor vial Santo Domingo 10 de agosto (E25) del tramo km 1+500 hasta el km 3+000.

Objetivos específicos

- Caracterizar las patologías de la capa de rodadura, mediante la metodología de inventario de daños en pavimentos.
- Determinar el índice de serviciabilidad de la carpeta de rodadura existente.

- Caracterizar los materiales que componen la estructura de pavimento, mediante ensayos destructivo.
- Evaluar la sub rasante mediante ensayos.
- Determinar las proyecciones de estudio de tráfico mediante método manual de observación de campo.
- Analizar una alternativa de reposición de la estructura de pavimento, capa de rodadura y drenaje vial.
- Analizar la seguridad vial del tramo en estudio.

Metas

- Determinar el índice de estado del pavimento por la metodología del Instituto de vías INVIAS.
- Índice de servicio método AASHTO 93.
- Registro de espesores de las capas que conforman la estructural del pavimento.
- Conocer la capacidad portante y características de la sub rasante.
- TPDA y Esals de diseño.
- Diseño de pavimento flexible método AASHTO 93
- Señalización horizontal y vertical del tramo en estudio.

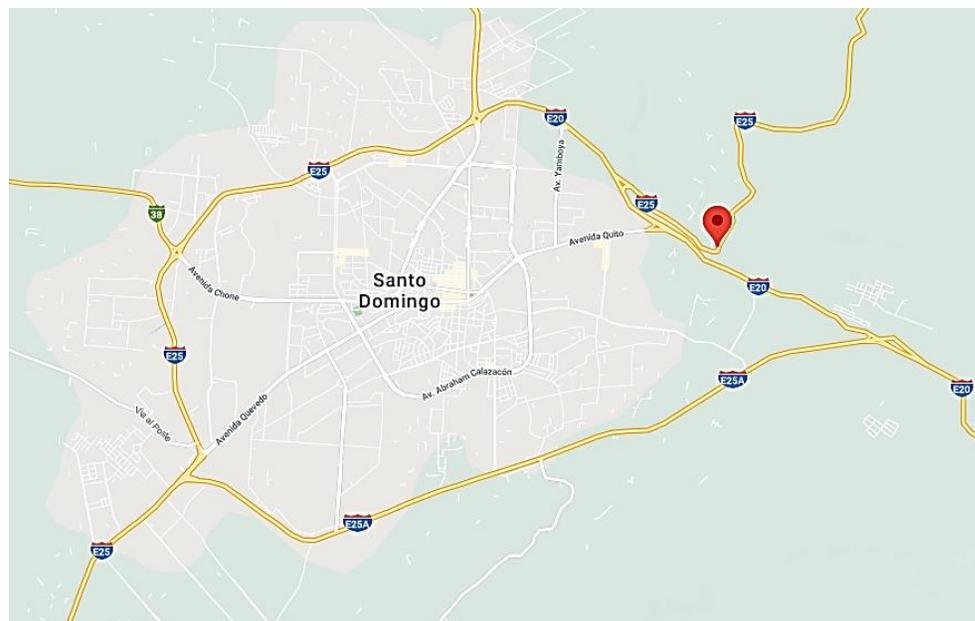
Datos del proyecto

Ubicación del proyecto

El corredor vial de estudio se encuentra ubicada en la parroquia Santa María del Toachi, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, en la ciudad de Santo Domingo, en la red estatal E25 el tramo del Km 1+500 hasta el Km 3+000.

Figura 1

Ubicación del Proyecto



Nota: Recuperado de Google maps, red estatal Santo Domingo de los Colorados.

Tabla 1

Red estatal Santo Domingo de los Colorados.

Red Estatal	Denominación
E 25	Vía Santo Domingo - Las Mercedes
E 25A	Vía Quevedo
E 20	Vía Alóag - Quito
E 38	Vía Chone

Nota: Recuperado de Ministerio de transportes y Obras Públicas 2010 MTOP (2010).

Tabla 2

Coordenadas del proyecto

Inicio del Proyecto:		Fin del Proyecto:	
Norte:	9972836,69 m.	Norte:	9979856,56 m.
Este:	707105,20 m.	Este:	707653,68 m.
Elevación:	577,63 m.	Elevación:	523,25 m.

Nota: Recuperado de Ministerio de transportes y Obras Públicas MTOP (2010).

Situación actual de la vía

Con el transcurrir del tiempo la vía Santo Domingo – 10 de agosto, se evidencia la afectación constante por varios factores como el clima, donde por varios años fue afectado el tramo de estudio por el crecimiento del cauce del río Toachi en la estación invernal, además de la carga vehicular que transita en sector por el paso constante de buses interprovinciales y locales, volquetas y camiones plataforma, estos últimos que transportan material procedente de canteras del sector en dirección a Santo Domingo, como consecuencia el desperfecto de la estructura del pavimento con daños significativos, esto perjudica la transitabilidad de la vía afectando al desarrollo de la zona.

Es una vía sinuosa, rodeada de zona vegetal donde la plataforma de la vía tiene un ancho de 10,30 metros, consta de 2 carriles para circulación; la estructura vial consta de una capa de rodadura compuesta de material pétreo, constituida por gravas trituradas.

La vía tiene drenaje tanto longitudinal como transversal no tiene una eficiencia completa ya que esta vía no posee alcantarilladas, existen cunetas en los 2 costados con capacidad suficiente y el libre flujo de agua hidrológica en temporada de invierno.

El clima es tropical en Santo Domingo de los Tsáchilas en temporada de lluvia es bochornosa y nublada, la temporada seca es usualmente nublado y tiene altas temperaturas durante todo el año, Santo Domingo de los Tsáchilas tiene precipitaciones significativas la mayoría de los meses, la provincia tiene una media de 287 días de lluvia que equivalen a 9,4 meses, con una estación seca corta. El clima aquí se clasifica como Am por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura promedio en Santo Domingo de los Tsáchilas es 22.8 °C. Hay alrededor de precipitaciones de 2658 mm. El mes más seco es agosto. Hay 51 mm de precipitación en agosto. En marzo, la precipitación alcanza su

pico, con un promedio de 479 mm. Con un promedio de 24.0 °C, abril es el mes más cálido. A 22.1 °C en promedio, noviembre es el mes más frío del año.

Se registran periodos con un promedio anual de humedad relativa del 90%. Con periodos de humedad bajos entre los meses de febrero y marzo con menos de 88.5%, siendo el punto más alto entre los meses de septiembre y octubre (Climate-Data.org, 2019).

Importancia y justificación

Siendo Santo Domingo de los Tsáchilas la 6ta provincia con mayor densidad en Ecuador, además conexión directa de las regiones costa y sierra, el volumen vehicular liviano y pesado por motivo de comercio afecta a la red vial de esta provincia, se puede nombrar razones científicas por las que los pavimentos de las principales ciudades deben ofrecer un índice de serviciabilidad óptimo. Silva Saldaña (2016) define a un pavimento como “un compuesto de capas superpuestas, colocadas de forma horizontal, las que son diseñadas y edificadas de manera técnica con los materiales adecuados y perfectamente compactados”. (p. 505) Las mismas que transfieren las cargas del volumen vehicular a la subrasante, la encargada de oponer resistencia de dichos esfuerzos.

El cumplimiento funcional según Hurtado Arias (2016) es la capacidad que tiene el pavimento para proporcionar una superficie de calidad para el volumen vehicular de un corredor vial y el desempeño estructural es la capacidad que tiene un pavimento de conservar en óptimas condiciones su estructura, sin mostrar fallas visibles en su estructura, se debe realizar trabajos de mantenimiento y preventivos de la estructura de pavimento considerando el tiempo adecuado para realizar una rehabilitación de la vía.

Los pavimentos se diseñan para una durabilidad determinada, con el transcurrir del tiempo este empieza a deteriorarse hasta encontrarse en una mala condición.

El crecimiento económico y productivo de un país se mide de acuerdo al estado de su red vial, ya que a través de esta se moviliza la producción agrícola, pecuaria, comercial y turística; concentradas en los sectores rurales y urbano marginales del Ecuador, por esta razón, el Estado y los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales (GAD) tienen la responsabilidad de conservar la red vial en perfecto estado, ya que de ésta depende el crecimiento social, económico y turístico del país; por esta razón, se hace indispensable proporcionar de maquinaria y recursos esenciales para el mantenimiento de las vías que son el motor para el desarrollo económico y social de una región (Batallas, 2016).

Metodología de la investigación

El tipo de investigación según Latorre et al. (1996) es:

- Según su finalidad es aplicada.
- Según su alcance temporal es longitudinal.
- Según su nivel o profundidad es explicativa.
- Según su carácter de medida es cuantitativa.

El diseño de la investigación según Hernández et al. (2010) el diseño de investigación es descriptivo a causa que se busca describir fenómenos, contextos y situaciones.

El diseño del pavimento del presente proyecto sigue el análisis y metodología que es recomendada por la AASHTO en la Guía de Diseño de Pavimentos, edición 1993. Los espesores se calculan en referencia a la metodología propuesta en la Guía para Caminos de Bajo Tráfico y se comprobarán con los mismos cuadros recomendados en el mismo documento.

Capítulo II

Estudio de tráfico

Introducción

El estudio de tránsito se realiza con la finalidad de adquirir información relacionada con la circulación vehicular en zonas específicas dentro de un sistema vial, aporta con información importante que determina la asignación del volumen, clasificación y composición vehicular presentada en el corredor vial Santo Domingo – 10 de agosto.

Según Ordóñez (2009) define al volumen de tránsito como el valor numérico de vehículos que pasan por un punto definido de la vía, en un intervalo de tiempo. La unidad de medida para el volumen es vehículos por unidad de tiempo. El periodo de tiempo más usual utilizado es en 24 horas, definido como vehículos por día, los volúmenes diarios son utilizados como base de planificación de las vías.

Alcance

El alcance del presente estudio de tráfico contiene la determinación en campo de los volúmenes de tráfico actual del corredor vial, iniciando con estudios de campo, matriz de conteo vehicular por tipo de vehículo, matriz semanal de conteo vehicular, estimación de tráfico, proyecciones anuales de demanda y determinación del tráfico promedio diario anual.

Investigación preliminar del proyecto.

Para el análisis del presente tramo vial es indispensable conocer el flujo de tránsito que circula en la actualidad, es preciso conocer el volumen y tamaño de los vehículos ya que influyen en el diseño geométrico, el peso y número de ejes de los vehículos son factores importantes en el diseño de la estructura de pavimento.

Tráfico: Es el número de vehículos que utilizarán la vía durante su vida útil y determina las especificaciones técnicas del diseño para catalogar la jerarquía de la carretera o tipo de camino vecinal. Se lo determina tras un conteo de tránsito.

Tráfico actual: Es el tráfico existente o el tráfico que circularía en una vía nueva si estuviese en servicio.

Tráfico futuro: Es la proyección del tráfico anual a n años con una tasa de crecimiento i del parque automotor.

$$TPDA \text{ futuro} = TPDA \text{ actual} (1 + i)^n$$

Donde: i es función del consumo de combustibles, neumáticos, matrícula vehicular, importación de vehículos.

Estimación de tráfico.

El estudio del volumen de tránsito es realizado con la finalidad de adquirir información con respecto al movimiento vehicular en el corredor vial, la medición elemental más significativa es el conteo vehicular con que se obtiene la estimación de volúmenes.

Los vehículos que transitan por una vía generalmente se clasifican en dos grupos, vehículos livianos y vehículos pesados:

Vehículos livianos: Se refiere a todo vehículo de tamaño mediano, fabricado principalmente para la movilización de personas, todo vehículo con un peso no mayor a 2.700 kg y en esta categoría se refiere a todo automóvil que no posea doble llanta en sus ejes (Yaguachi, 2019).

Vehículos pesados: Según el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 2:1996, define a un vehículo pesado como un automotor que supera un peso bruto de 3856 kg o que goza de un área frontal mayor a 4.18 m².

Conteo Vehicular

El presente conteo vehicular se lo realizó en el tramo de estudio en los 2 sentidos (Santo Domingo – 10 de agosto y 10 de agosto – Santo Domingo), durante 7 días continuos desde el lunes 10 de febrero del 2020 hasta el Domingo 16 de febrero del 2020 en horario desde 6h00 hasta 18h00 horas, a continuación, se presenta el volumen vehicular obtenido:

Tabla 3

Conteo vehicular lunes 10 de febrero del 2020

Sentido	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo					
	Hora	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
6:00 - 7:00	31	5	19	6	61	52	7	15	6	80	
7:00 - 8:00	99	10	29	23	161	112	15	33	19	179	
8:00 - 9:00	119	9	41	13	182	189	16	43	19	267	
9:00 - 10:00	86	11	26	28	151	146	17	31	15	209	
10:00 - 11:00	148	12	49	19	228	144	20	52	23	239	
11:00 - 12:00	135	8	66	29	238	228	14	61	21	254	
12:00 - 13:00	83	8	35	8	134	92	12	30	24	158	
13:00 - 14:00	133	13	44	18	208	123	17	48	21	209	
14:00 - 15:00	159	14	50	24	247	133	13	39	20	205	
15:00 - 16:00	168	17	36	22	243	122	12	38	23	195	
16:00 - 17:00	108	14	29	18	169	101	9	31	19	160	
17:00 - 18:00	86	11	24	15	136	81	7	25	15	128	
TOTAL	1355	132	448	223	2158	1453	159	446	225	2283	

Tabla 4*Conteo vehicular martes 11 de febrero del 2020*

Sentido	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo					
	Hora	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
6:00 - 7:00	29	5	18	6	58	50	7	15	6	78	
7:00 - 8:00	94	10	28	22	154	109	15	32	18	174	
8:00 - 9:00	113	9	39	12	173	183	16	42	18	259	
9:00 - 10:00	82	10	25	27	144	142	16	30	15	203	
10:00 - 11:00	141	11	47	18	217	140	19	50	22	231	
11:00 - 12:00	128	8	63	28	227	153	14	59	20	246	
12:00 - 13:00	79	8	33	8	128	89	12	29	23	153	
13:00 - 14:00	126	12	42	17	197	119	16	47	20	202	
14:00 - 15:00	151	13	48	23	235	129	13	38	19	199	
15:00 - 16:00	160	16	34	21	231	118	12	37	22	189	
16:00 - 17:00	103	13	28	17	161	98	9	30	18	155	
17:00 - 18:00	82	10	23	14	129	79	7	24	15	125	
TOTAL	1288	125	428	213	2054	1409	156	433	216	2214	

*Nota: conteo vehicular registrado en 12 horas y según sentido de la vía.***Tabla 5***Conteo vehicular miércoles 12 de febrero del 2020*

Sentido	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo					
	Hora	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
6:00 - 7:00	27	5	16	6	54	52	7	15	6	80	
7:00 - 8:00	86	8	24	20	138	112	15	33	19	179	
8:00 - 9:00	102	7	34	11	154	188	16	43	19	266	
9:00 - 10:00	74	9	22	24	129	146	16	31	15	208	
10:00 - 11:00	127	10	41	17	195	144	20	52	23	239	

Sentido	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo					
	Hora	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
11:00 - 12:00	116	7	55	25	203	158	14	60	21	253	
12:00 - 13:00	72	7	29	7	115	92	12	30	24	158	
13:00 - 14:00	114	11	37	16	178	123	16	48	21	208	
14:00 - 15:00	137	12	41	20	210	133	13	39	20	205	
15:00 - 16:00	145	15	30	19	209	122	12	38	23	195	
16:00 - 17:00	93	12	24	16	145	101	9	31	19	160	
17:00 - 18:00	74	9	20	13	116	81	7	25	15	128	
TOTAL	1167	112	373	194	1846	1452	157	445	225	2279	

Nota: conteo vehicular registrado en 12 horas y según sentido de la vía.

Tabla 6

Conteo vehicular jueves 13 de febrero del 2020

Sentido	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo					
	Hora	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
6:00 - 7:00	29	5	18	6	58	47	7	14	6	74	
7:00 - 8:00	92	9	27	21	149	102	14	31	19	166	
8:00 - 9:00	110	8	38	12	168	172	15	40	19	246	
9:00 - 10:00	80	10	24	26	140	133	16	29	15	193	
10:00 - 11:00	137	11	45	18	211	131	19	48	23	221	
11:00 - 12:00	125	7	61	27	220	144	13	75	21	253	
12:00 - 13:00	77	7	32	7	123	84	11	28	24	147	
13:00 - 14:00	123	12	41	17	193	112	16	44	21	193	
14:00 - 15:00	147	13	46	22	228	121	12	36	20	189	
15:00 - 16:00	156	16	33	20	225	111	11	35	23	180	
16:00 - 17:00	100	13	27	17	157	92	9	29	19	149	
17:00 - 18:00	80	10	22	14	126	74	7	23	15	119	

TOTAL	1256	121	414	207	1998	1323	150	432	225	2130
--------------	------	-----	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	------

Nota: conteo vehicular registrado en 12 horas y según sentido de la vía.

Tabla 7

Conteo vehicular viernes 14 de febrero del 2020

Hora	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo				
	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
			2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
6:00 - 7:00	36	6	23	8	73	55	8	17	7	87
7:00 - 8:00	115	11	34	26	186	120	16	37	22	195
8:00 - 9:00	117	10	42	18	187	149	7	43	24	223
9:00 - 10:00	126	13	34	17	190	145	12	45	33	235
10:00 - 11:00	138	12	46	19	215	132	20	49	24	225
11:00 - 12:00	135	9	39	33	216	128	13	49	30	220
12:00 - 13:00	122	19	45	18	204	124	18	34	24	200
13:00 - 14:00	121	10	39	15	185	109	13	41	18	181
14:00 - 15:00	145	11	44	20	220	118	9	36	17	180
15:00 - 16:00	154	14	31	18	217	108	8	32	20	168
16:00 - 17:00	109	12	24	15	160	82	8	26	17	133
17:00 - 18:00	72	9	20	13	114	66	6	21	13	106
TOTAL	1390	136	421	220	2167	1336	138	430	249	2153

Nota: conteo vehicular registrado en 12 horas y según sentido de la vía.

Tabla 8

Conteo vehicular sábado 15 de febrero del 2020

Hora	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo				
	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
			2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
6:00 - 7:00	22	5	13	4	44	35	7	8	3	53
7:00 - 8:00	69	9	20	16	114	76	15	16	9	116
8:00 - 9:00	83	8	29	9	129	128	16	21	9	174

Sentido	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo					
	Hora	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
9:00 - 10:00	60	10	18	20	108	99	16	15	8	138	
10:00 - 11:00	104	11	34	13	162	98	19	25	11	153	
11:00 - 12:00	95	7	46	20	168	107	14	30	10	161	
12:00 - 13:00	58	7	25	6	96	62	12	15	12	101	
13:00 - 14:00	93	12	31	13	149	83	16	24	10	133	
14:00 - 15:00	111	13	35	17	176	90	13	19	10	132	
15:00 - 16:00	118	15	25	15	173	83	12	19	11	125	
16:00 - 17:00	76	13	20	13	122	69	9	15	9	102	
17:00 - 18:00	60	10	17	11	98	55	7	12	8	82	
TOTAL	949	120	313	157	1539	985	156	219	110	1470	

Nota: conteo vehicular registrado en 12 horas y según sentido de la vía.

Tabla 9

Conteo vehicular domingo 16 de febrero del 2020

Sentido	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo					
	Hora	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
6:00 - 7:00	15	5	9	3	32	31	6	8	3	48	
7:00 - 8:00	47	9	14	11	81	67	12	17	10	106	
8:00 - 9:00	57	8	20	6	91	113	13	22	10	158	
9:00 - 10:00	41	9	13	14	77	88	13	16	8	125	
10:00 - 11:00	71	10	24	9	114	86	16	26	12	140	
11:00 - 12:00	64	7	32	14	117	95	11	30	11	147	
12:00 - 13:00	40	7	17	4	68	55	10	15	12	92	
13:00 - 14:00	63	11	21	9	104	74	13	24	11	122	
14:00 - 15:00	76	12	24	12	124	80	10	20	10	120	
15:00 - 16:00	80	14	17	11	122	73	10	19	12	114	

Sentido	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo					
	Hora	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
16:00 - 17:00	52	12	14	9	87	61	7	16	10	94	
17:00 - 18:00	41	9	12	7	69	49	6	13	8	76	
TOTAL	647	113	217	109	1086	872	127	226	117	1342	

Nota: conteo vehicular registrado en 12 horas y según sentido de la vía.

Tabla 10

Conteo vehicular en 7 días

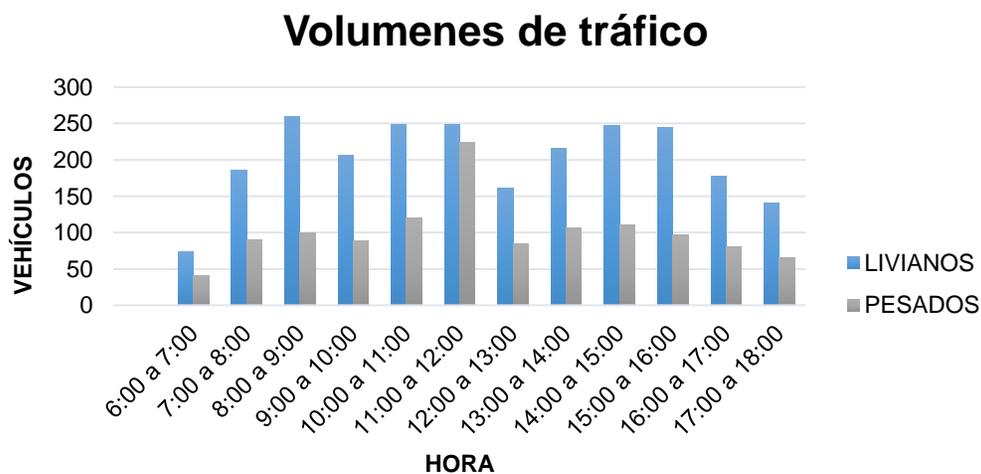
Sentido	Santo Domingo - 10 de agosto					10 de agosto - Santo Domingo					
	Hora	Livianos	Buses	Pesados		Total	Livianos	Buses	Pesados		Total
				2 ejes	> 2 Ejes				2 ejes	> 2 Ejes	
6:00 - 7:00	189	36	116	39	380	322	49	92	37	500	
7:00 - 8:00	602	66	176	139	983	698	102	199	116	1115	
8:00 - 9:00	701	59	243	81	1084	1122	99	254	118	1593	
9:00 - 10:00	549	72	162	156	939	899	106	197	109	1311	
10:00 - 11:00	866	77	286	113	1342	875	133	302	138	1448	
11:00 - 12:00	798	53	362	176	1389	943	93	364	134	1534	
12:00 - 13:00	531	63	216	58	868	598	87	181	143	1009	
13:00 - 14:00	773	81	255	105	1214	743	107	276	122	1248	
14:00 - 15:00	926	88	288	138	1440	804	83	227	116	1230	
15:00 - 16:00	981	107	206	126	1420	737	77	218	134	1166	
16:00 - 17:00	641	89	166	105	1001	604	60	178	111	953	
17:00 - 18:00	495	68	138	87	788	485	47	143	89	764	
Total:	8052	859	2614	1323	12848	8830	1043	2631	1367	13871	

Nota: conteo vehicular registrado en 12 horas y según sentido de la vía.

Cuadro del volumen vehicular en los dos sentidos

Tabla 11*Volumen vehicular en los dos sentidos*

Hora	Livianos	Buses	Pesados	Total
6:00 - 7:00	73	12	41	126
7:00 - 8:00	186	24	90	300
8:00 - 9:00	260	22	100	382
9:00 - 10:00	206	25	89	320
10:00 - 11:00	249	30	120	399
11:00 - 12:00	249	21	148	418
12:00 - 13:00	161	21	85	267
13:00 - 14:00	216	27	107	350
14:00 - 15:00	247	25	110	382
15:00 - 16:00	245	26	97	368
16:00 - 17:00	178	22	80	280
17:00 - 18:00	140	17	65	222
Total	2410	272	1132	38141

*Nota: Volumen vehicular por tipo de vehículo y hora del día.***Figura 2***Volúmenes de tráfico*

El mayor volumen de tráfico tanto liviano como pesado en el corredor vial se presenta en el horario de 11:00 a 12:00 am.

Conteo vehicular por día

Se presenta el tránsito total por días de la semana, obtenidos de la suma de los tránsitos diarios ($TA = \sum TM$), la tabla 12 y la figura 3 se aprecia el resumen de vehículos por día.

Tabla 12

Conteo vehicular diario

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total semanal
4441	4268	4125	4128	4320	3009	2428	26719

Tabla 13

TPDA días de estudio

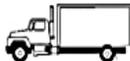
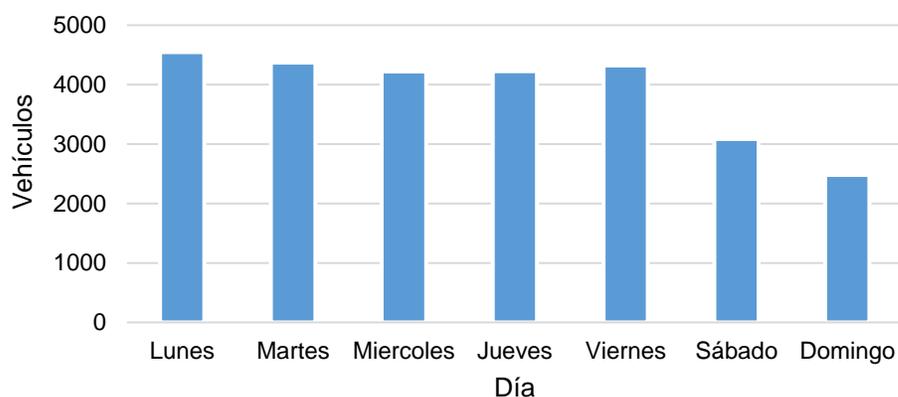
Clase	Tipo	Día 1 10-feb- 20	Día 2 11-feb- 20	Día 3 12-feb- 20	Día 4 13-feb- 20	Día 5 14-feb- 20	Día 6 15-feb- 20	Día 7 16-feb- 20
Livianos		2808	2697	2619	2579	2726	1934	1519
Buses		291	281	269	271	274	276	240
Pesados 2 Ejes		894	861	818	846	851	532	443
Pesados > 2 Ejes		448	429	419	432	469	267	226
TOTAL		4441	4268	4125	4128	4320	3009	2428

Figura 3*Conteo vehicular por día***Volumen de tránsito promedio**

Volumen de tránsito se refiere a la cantidad de vehículos que llegan a un punto determinado en el corredor vial, estos varían durante los meses, semanas, días y horas, por este motivo el flujo vehicular no dura constante por más de una hora.

Tránsito mensual y anual

El tránsito se consigue al sumar los valores del tránsito mensual ($TA = \sum TM$) y el tránsito mensual (TM) se obtiene por estimación, para esto se determina el número de días de cada mes del año 2020 como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 14*Días por mes del año 2020*

Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Enero	4	4	5	5	5	4	4
Febrero	4	4	4	4	4	5	4
Marzo	5	5	4	4	4	4	5
Abril	4	4	5	5	4	4	4
Mayo	4	4	4	4	5	5	5
Junio	5	5	4	4	4	4	4
Julio	4	4	5	5	5	4	4

Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Agosto	5	4	4	4	4	5	5
Septiembre	4	5	5	4	4	4	4
Octubre	4	4	4	5	5	5	4
Noviembre	5	4	4	4	4	4	5
Diciembre	4	5	5	5	4	4	4

$$TM \text{ enero} = (4 * 4441) + (4 * 4268) + (5 * 4125) + (5 * 4128) + (5 * 4320) + (4 * 3009) \\ + (4 * 2428) = 119\,449 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ febrero} = (4 * 4441) + (4 * 4268) + (4 * 4125) + (4 * 4128) + (4 * 4320) \\ + (5 * 3009) + (4 * 2428) = 109\,885 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ marzo} = (5 * 45494441) + (5 * 4268) + (4 * 4125) + (4 * 4128) + (4 * 4320) \\ + (4 * 3009) + (5 * 2428) = 118\,013 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ abril} = (4 * 4441) + (4 * 4268) + (5 * 4125) + (5 * 4128) + (4 * 4320) + (4 * 3009) \\ + (4 * 2428) = 115\,129 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ mayo} = (4 * 4441) + (4 * 4268) + (4 * 4125) + (4 * 4128) + (5 * 4320) + (5 * 3009) \\ + (5 * 2428) = 116\,633 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ junio} = (5 * 4441) + (5 * 4268) + (4 * 4125) + (4 * 4128) + (4 * 4320) + (4 * 3009) \\ + (4 * 2428) = 115\,585 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ julio} = (4 * 4441) + (4 * 4268) + (5 * 4125) + (5 * 4128) + (5 * 4320) + (4 * 3009) \\ + (4 * 2428) = 119\,449 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ agosto} = (5 * 4441) + (4 * 4268) + (4 * 4125) + (4 * 4128) + (4 * 4320) + (5 * 3009) \\ + (5 * 2428) = 116\,754 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ septiembre} \\ = (4 * 4441) + (5 * 4268) + (5 * 4125) + (4 * 4128) + (4 * 4320) \\ + (4 * 3009) + (4 * 2428) = 115\,269 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ octubre} = (4 * 4441) + (4 * 4268) + (4 * 4125) + (5 * 4128) + (5 * 4320) \\ + (5 * 3009) + (4 * 2428) = 118\,333 \text{ veh/mes}$$

$$TM \text{ noviembre} = (5 * 4441) + (4 * 4268) + (4 * 4125) + (4 * 4128) + (4 * 4320) \\ + (4 * 3009) + (5 * 2428) = 113\,745 \text{ veh/mes}$$

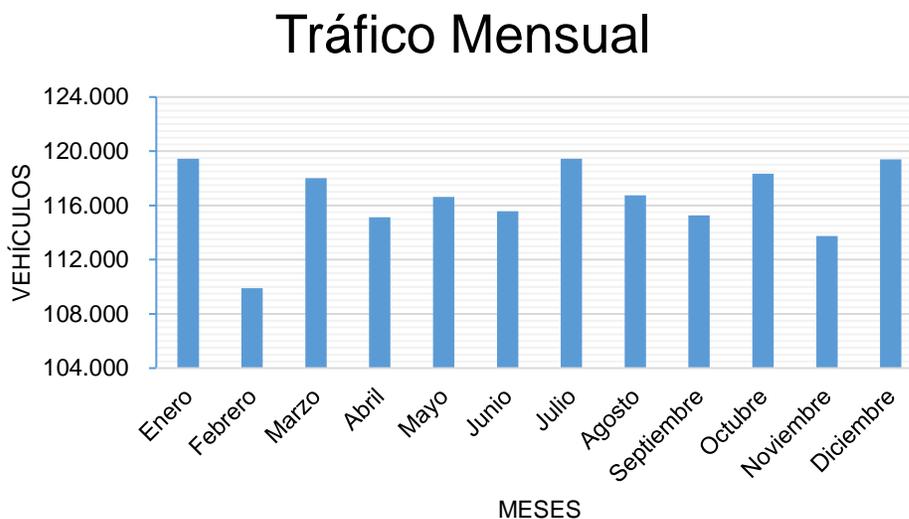
$$TM \text{ diciembre} = (4 * 4441) + (5 * 4268) + (5 * 4125) + (5 * 4128) + (4 * 3009) \\ + (4 * 3085) + (4 * 2428) = 119\,397 \text{ veh/mes}$$

En la tabla 14 se detalla los valores obtenidos para el tráfico promedio mensual y anual de la vía, así como en la figura 4 se detalla de manera gráfica.

Tabla 15

Tráfico promedio mensual (TM)

Enero	119449
Febrero	109885
Marzo	118013
Abril	115129
Mayo	116633
Junio	115585
Julio	119449
Agosto	116754
Septiembre	115269
Octubre	118333
Noviembre	113745
Diciembre	119397
Total	1397641

Figura 4*Tráfico vehicular mensual (TM)*

Nota: Volumen vehicular por meses del año.

El número de vehículos que transitan por una sección del corredor vial en un intervalo de tiempo, dividido para el número de días del periodo. Este estudio precisa verificar el estado de servicio que se percibe el usuario.

Se clasifica por el lapso de duración se tienen los siguientes volúmenes absolutos:

- **Tránsito anual (TA):** volumen vehicular que atraviesa por el corredor vial en 1 año.
- **Tránsito mensual (TM):** volumen vehicular que atraviesa por el corredor vial en 1 mes.
- **Tránsito semanal (TS):** volumen vehicular que atraviesa por el corredor vial en 1 semana.
- **Tránsito diario (TD):** volumen vehicular que atraviesa por el corredor vial en 1 día.

- **Tránsito horario (TH):** volumen vehicular que atraviesa por el corredor vial en 1 hora.

El volumen de tránsito es considerado como dinámico, es importante notar los cambios regulares del tráfico vehicular en el intervalo de mayor demanda. (Ogoño Aginsaca & Orozco Calva, 2020).

Tránsito promedio diario semanal (TPDS) (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007)

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

$$TPDS = \frac{26\,719}{7} = 3\,817 \text{ veh/día}$$

Tránsito promedio diario mensual (TPDM) (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007)

$$TPDM = \frac{TM}{31}$$

$$\text{Enero: TPDM} = \frac{121\,762}{31} = 3\,927.80 = 3\,928 \text{ veh/día}$$

Tabla 16

Tránsito promedio diario mensual

Mes	TM	Días	TPDM (veh/día)	
Enero	119449	31	3853,19	3853
Febrero	109885	28	3924,46	3924
Marzo	118013	31	3806,87	3807
Abril	115129	30	3837,63	3838
Mayo	116633	31	3762,35	3762
Junio	115585	30	3852,83	3853
Julio	119449	31	3853,19	3853
Agosto	116754	31	3766,26	3766
Septiembre	115269	30	3842,30	3842
Octubre	118333	31	3817,19	3817

Mes	TM	Días	TPDM (veh/día)
Noviembre	113745	30	3791,50
Diciembre	119397	31	3851,52
Total:	1 397 641		

Cálculo y estimación de tránsito promedio diario anual (TPDA)

Es definido como el volumen vehicular que circulan por un punto determinado del corredor vial durante un año, es expresado en vehículos por día, las diferentes técnicas estadísticas aplicadas a la ingeniería de tránsito nos permiten cuantificar los valores de tránsito promedio diario semanal (TPDS) a cantidades de tránsito promedio diario anual (TPDA) tomando en consideración que los datos son sujetos a iguales técnicas de análisis, con un determinado nivel de confiabilidad, los resultados se pueden aplicar a otras muestras o al universo de la población (NEVI-12, 2012).

Para este cálculo de la desviación estándar se utilizará la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: desviación estándar de la muestra

TDi: tráfico diario del día sondeado

TPDS: tráfico promedio diario semanal

$$TPDS = 3\,893 \text{ veh/día}$$

$$\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2$$

$$= (4441 - 3817)^2 + (4268 - 3817)^2 + (4125 - 3817)^2 + (4128 - 3817)^2 \\ + (4320 - 3817)^2 + (3009 - 3817)^2 + (2428 - 3817)^2 = 3\,659\,988$$

$$S = \sqrt{\frac{3\,659\,988}{7-1}} = 781.02$$

Para la estimación de la desviación estándar poblacional σ se utilizará:

$$\sigma = \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

N: número de días de un año

n: tamaño de la muestra en un número de días de toma de datos

S: desviación estándar de la muestra

$$\sigma = \left(\sqrt{\frac{365-7}{365-1}} \right) * \frac{781.02}{\sqrt{7}}$$

$$\sigma = 292.75$$

El cálculo del tráfico promedio diario anual TPDA se utilizará:

$$TPDA = TPDS \pm Zc * \sigma$$

Donde:

σ : desviación estándar poblacional

Zc: número de desviación estándar correspondiente al nivel de confiabilidad

Para niveles de confiabilidad del 90% y 95% en una distribución normal, los valores de la constante Zc son de 1.64 y 1.96 respectivamente (NEVI-12, 2012).

Para el presente proyecto se utilizará un nivel de confiabilidad del 95%.

$$TPDA = 3893 \pm 1.96 * 292.75$$

$$TPDA = 4\,466.80 \frac{veh}{día}$$

$$TPDA = 4\,467 \frac{veh}{día}$$

Proyección de tráfico futuro (TF)

Para estimar el crecimiento vehicular se utilizó los métodos aritmético y geométrico, con sustento en la normativa vigente MTOP, la cual tiene estudios desde 1963 sobre la tasa de crecimiento (i), determina que para el Ecuador la tasa varía entre el 5% y 7%, adicional se considera una proyección de tránsito de 15 a 20 años. Para este proyecto se utiliza la mayor tasa de crecimiento y la menor proyección de vida útil del pavimento, de esta forma se considera la situación más crítica que podría ocurrir en la zona de estudio.

Método aritmético

$$TPDA_f = TPDA_o * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

Donde:

TPDA_f: tráfico proyectado

TPDA_o: tráfico correspondiente al año base

í: índice de crecimiento de tráfico

t: número de años

$$TPDA_f = 4\,467 * \left(1 + \frac{7}{100}\right)^{20}$$

$$TPDA_f = 17\,285.88 \approx 17\,286 \frac{veh}{día}$$

Método geométrico

$$TPDA_f = TPDA_o * e^{\left(\frac{i*t}{100}\right)}$$

Donde:

TPDA_f: tráfico proyectado

TPDA_o: tráfico correspondiente al año base

í: índice de crecimiento de tráfico

t: número de años

$$TPDA_f = 4\,467 * e^{\left(\frac{7*15}{100}\right)}$$

$$TPDA_f = 12\,765.13 \frac{veh}{día} \approx 12\,765 \frac{veh}{día}$$

Tráfico proyectado Futuro durante 20 años, con análisis por método geométrico.

Tabla 17

Tráfico proyectado futuro

Años	Tránsito anual (veh/año)
2020	1397641
2021	1498981
2022	1607670
2023	1724239
2024	1849260
2025	1983347
2026	2127156
2027	2281392
2028	2446812
2029	2624226
2030	2814503
2031	3018578
2032	3237449
2033	3472191
2034	3723953
2035	3993970
2036	4283566
2037	4594159
2038	4927274
2039	5284541
2040	5667714

Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

El valor máximo de volumen de hora pico alcanzado en una hora de estudio es de: 492 veh/hora, de la suma mostrada en la tabla 18.

Tabla 18*Volumen horario de máxima demanda*

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	TOTAL
10/2/2020	11/2/2020	12/2/2020	13/2/2020	14/2/2020	15/2/2020	16/2/2020	
492	473	456	473	440	329	264	2927

Factor horario de máxima demanda (FHMD)

La demanda horaria es relacionada con el volumen por hora, este valor se producto de la división entre el volumen vehicular consignado en un intervalo menor, para el periodo sub horario y este es registrado en horas (Guillén, 2016)

Para el cálculo del factor horario de máxima demanda se utiliza la siguiente expresión:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N * qmax}$$

Donde:

N: número de periodos en el transcurso de la hora de máxima demanda (HMD)

qmax: flujo máximo (número de vehículos).

Al efectuar la obtención de datos los resultados son de 135 vehículos en 15 minutos, el volumen de máxima demanda es de 492 y el valor de N=4 por ser evaluado en 15 minutos.

$$FHMD = \frac{492}{4 * 135}$$

$$FHMD = 0.911 \text{ veh/hora}$$

Clasificación funcional de las vías en base al TPDA

Tabla 19*Clasificación funcional de las vías en base al TPDA*

Descripción	Clasificación funcional	Tráfico promedio Diario Anual (TPDA) al año de horizonte	
		Límite inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Nota: Recuperado de Ministerio de transporte y obras públicas MTOP (2012)

Donde:

C1: Equivale a carreteras de mediana capacidad

C2: Equivalente a carretera convencional básica y camino básico

C3: Camino agrícola/forestal

Según MTOP (2012) se define como años de operación (n): a la duración en tiempo que comprende desde la inauguración del proyecto hasta el fin de su vida útil, teniendo las siguientes consideraciones:

Proyectos de rehabilitación y mejoras n = 20 años.

Proyectos especiales de nuevas vías n = 30 años.

Mega proyectos nacionales n = 50 años.

Según la clasificación funcional de las vías en base al TPDA, la vía de estudio es una C1 con un TPDA de 4467 veh/día.

Velocidad de diseño

La Norma de Diseño Geométrico de Carreteras (MTOP, 2003), precisa las velocidades de diseño acorde al tipo de terreno (llano, ondulado y montañoso) para carreteras, se indica en la siguiente tabla:

Tabla 20*Velocidad de diseño*

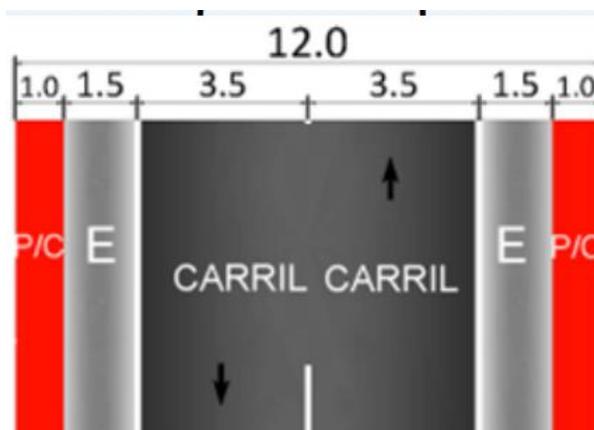
CATEGORIA DE LA VÍA		TPDA ESPERADO	VELOCIDAD DE DISEÑO Km/h											
			BÁSICA (RELIEVE LLANO)				PERMISIBLES EN TRAMOS DIFÍCILES							
							(RELIEVE ONDULADO)				(RELIEVE MONTAÑOSO)			
			Para el calculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el calculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad		Para el calculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad	
		Recomen	Absoluta	Recomen	Absoluta	Recomen	Absoluta	Recomen	Absoluta	Recomen	Absoluta	Recomen	Absoluta	
R-I o R-II	(TIPO)	> 8000	120	110	100	95	110	90	95	85	90	80	90	80
I	Todos	3000-8000	110	100	100	90	100	80	90	80	80	60	80	60
II	Todos	1000-3000	100	90	90	85	90	80	85	80	70	50	70	50
III	Todos	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60	40
IV	5,5E,6 y 7	100-300	80	60	80	60	60	35	60	35	50	25	50	25
V	4 y 4E	< 100	60	50	60	50	50	35	50	35	40	25	40	25

Nota: Recuperado de a Norma de Diseño Geométrico de Carreteras MTOP (2003).

Como se especificó en el apartado anterior la categoría de la vía es de 1, el tipo de terreno del presente proyecto es de ondulado, bajo estos parámetros la velocidad de diseño para la vía es de 80 km/h.

Velocidad de proyecto

Según el plan estratégico de movilidad realizado por el Ministerio de Transportes de Obras públicas, para una carretera convencional básica equivalente a la vía del presente proyecto, la velocidad de proyecto es de 80 km/h.

Figura 5*Carretera convencional básica*

Nota: Recuperado de Plan estratégico de Movilidad MTOP (2013).

Límites de Velocidad

Según la ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad vial, señala la velocidad máxima permitida en vías rurales, a continuación, se detalla la velocidad por tipo de vehículos.

Tabla 21

Límite de velocidad en vías rurales

Tipo de vehículo	Límite de velocidad	
	Rectas en carretera	Curvas en carretera
Vehículos livianos, motocicletas y similares	100 km/h	60 km/h
Vehículos de transporte público de pasajeros	90 km/h	50 km/h
Vehículos de transporte de carga	70 km/h	40 km/h

Nota: Recuperado de Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, Asamblea Constituyente (2012).

Se tomará como referencia estas velocidades para la seguridad vial de la vía.

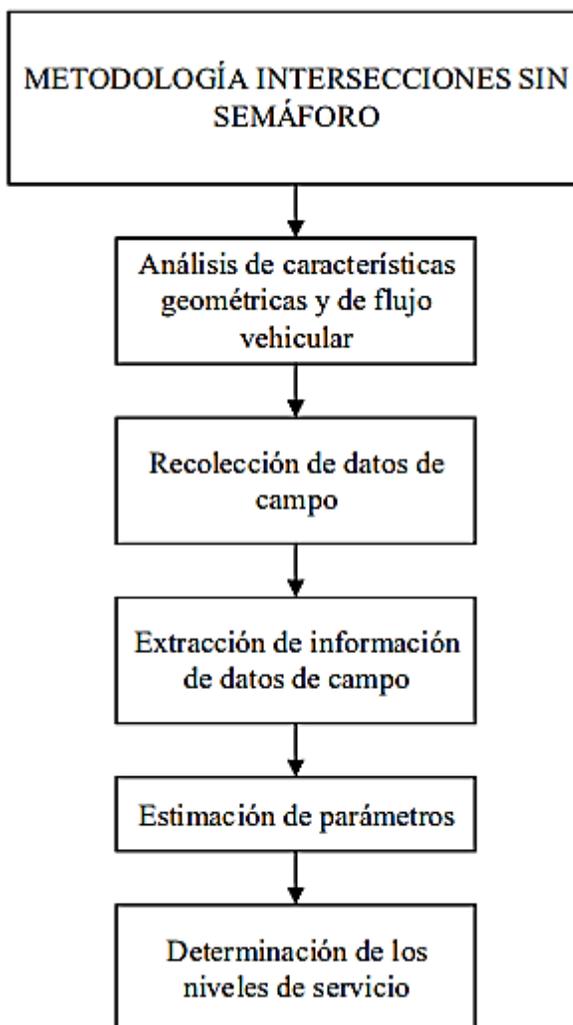
Nivel de servicio según Highway Capacity Manual 2010

Se realizó una zonificación del tramo de vía de estudio, para encontrar la ubicación de la intersección que comprende gran demanda vehicular, existe una

principal intersección donde es ausente la semaforización, por lo que se aplica la siguiente metodología.

Figura 6

Metodología de investigación aplicada a las intersecciones sin semáforo

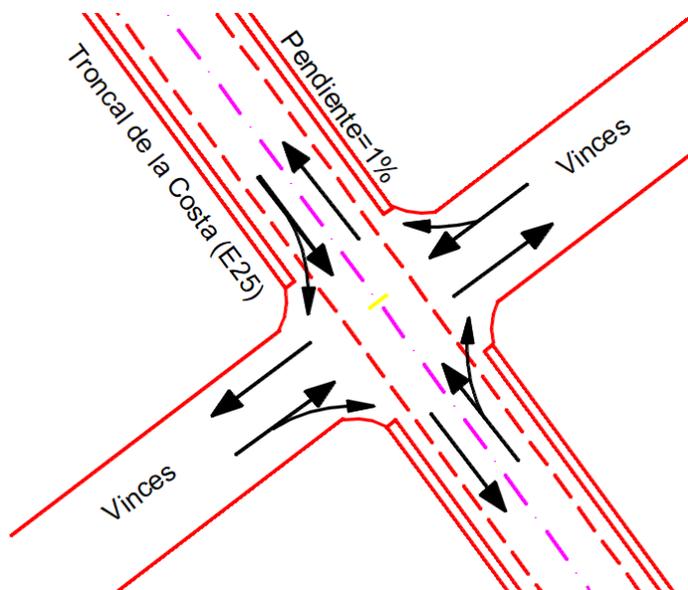


Nota: Recuperado de Hernández and Santos (2015).

La intersección de la vía Troncal de la Costa y Vinces, está ubicada en el km 2+550, es una intersección donde se crea congestión vehicular debido a que es usada como ruta de buses y la calle Vinces es empleada para entrada y salida vehicular de carga pesada, por la existencia de depósitos de materiales de construcción en la zona.

Figura 7

Intersección Troncal de la Costa y Vinces



Tránsito promedio diario anual de la intersección

Por medio del conteo vehicular en un periodo de 15 minutos realizado en la vía, se puede encontrar el volumen con la sumatoria de la cantidad de vehículos que cruzan por la intersección. El intervalo de tiempo del conteo vehicular fue de 12 horas seguidas, donde es considerado los factores que pueden afectar el volumen de tráfico, estos factores dependen de la condición de la vía (Hernández & Santos, 2015).

TPDA = 4467 veh/día

La hora de máxima demanda según el estudio de tráfico es de 11:00 a 12:00 am. con un volumen vehicular de 492 vehículos y un pico máximo de 135 vehículos en 15 minutos.

Identificación de las características de la vía

- Segmento de 1.50 Km
- Volumen de demanda: 492 Veh/hora.
- Distribución direccional: 50/50

- Factor de hora pico (PHF): 0.911
- Zona de no adelantamiento 100%
- Terreno ondulado
- 31% camiones
- Velocidad de flujo libre: 24.85 millas/h
- Ancho de carril: 18 ft; Ancho de la berma: 6 ft
- 3 puntos de acceso por km

Estimación de flujo libre:

El cálculo de la velocidad de flujo libre de una vía puede variar entre 45 mi/h a 70 mi/h, para estimar la velocidad de flujo libre se propone el uso de la velocidad base de flujo libre, esta última puede ser tomada de datos históricos de vías semejantes, luego de estimar esta velocidad se continúa a determinar la velocidad según la ecuación 15-2 del Highway Capacity Manual (Council, 2010).

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

Donde:

FFS: velocidad de flujo libre (mi/h)

BFFS: velocidad de flujo libre base (mi/h)

f_{LS} : factor de ajuste por ancho de carril y berma (mi/h)

f_A : factor de ajuste por densidad de puntos de acceso (mi/h)

Tabla 22

Ajuste para ancho de carril y ancho de berma (f_{LS})

Lane Width (ft)	Shoulder Width (ft)			
	< 2	< 4	< 6	>= 6
< 10	6,4	4,8	3,5	2,2
< 11	5,3	3,7	2,4	1,1
< 12	4,7	3,0	1,7	0,4
>= 12	4,2	2,6	1,3	0,0

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010).

Según las características de la vía ya identificadas anteriormente, el factor de ajuste para ancho de carril y ancho de berma (f_{LS}) para el presente proyecto es de 0.

Tabla 23

Factor de ajuste por densidad de puntos de acceso

Access point per mile (Two directions)	Reduction in FFS (mi/h)
0	0,0
10	2,5
20	5,0
30	7,5
40	10,0

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010).

Para 3 puntos se requiere interpolar el valor, el factor de ajuste por densidad de puntos de acceso es de 0.75.

Con estos factores se procede a estimar la velocidad de flujo libre:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

$$FFS = 24.85 - 0 - 0.75 = 24.10 \text{ mi/h}$$

Ajuste por demanda para la velocidad promedio - ATS

Para este factor es necesario precisar la tasa de flujo de la demanda $V_{i,ATS}$ según la ecuación 15-3 del Highway Capacity Manual.

$$v_{i,ATS} = \frac{V_i}{PHF * f_{g,ATS} * f_{hv,ATS}}$$

Donde:

$v_{i,ATS}$: volumen de demanda i para estimación de ATS (pc/h)

i : "d" (dirección de análisis) u "o" (dirección opuesta)

V_i : volumen de demanda para dirección i (veh/h)

PHF : factor de hora pico

$f_{g,ATS}$: Factor de ajuste pendiente para ATS

$f_{hv,ATS}$: factor de ajuste por vehículos pesados para ATS

$$f_{hv\ ATS} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Factor de ajuste por pendiente de la velocidad promedio

El factor por ajuste por pendiente (f_{g*ATS}) indica el impacto contra la funcionalidad de la vía, este definido por el tipo de terreno donde fue construida, para ello se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 24

Factores de ajuste para terreno plano, ondulado y pendientes negativas específicas.

One-Direction Demand Flow Rate, v_{vph} (veh/h)	Adjustment Factor	
	Level Terrain and Specific Downgrades	Rolling Terrain
<=100	1,00	0,67
200	1,00	0,75
300	1,00	0,83
400	1,00	0,90
500	1,00	0,95
600	1,00	0,97
700	1,00	0,98
800	1,00	0,99
>=900	1,00	1,00

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010).

Para una dirección se tiene una demanda de 246 veh/h este debe ser corregido por el factor horario de máxima demanda, donde se tiene:

$$\frac{\text{Volumen por hora (1 direccion)}}{PHF} = \frac{246}{0.911} = 270 \frac{\text{vehiculos}}{\text{hora}}$$

En un terreno ondulado con una demanda de 246 veh/h en un sentido, al realizar una interpolación de valores, según la tabla el factor de ajuste por terreno es de 0.806

Factor de ajuste por vehículos pesados

La existencia de vehículos pesados en la vía forma parte de un factor importante que disminuye la velocidad de viaje, aunque las condiciones de la presente metodología no incorporan estos vehículos por este motivo es imprescindible incluir un factor de

ajuste. El HCM clasifica estos vehículos pesados en camiones y buses, para la determinación de este factor es obligatorio hallar la cantidad semejante de vehículos de pasajeros que tendrían un producto semejante al tráfico real incluido los vehículos pesados.

Tabla 25

Factor de ajuste por vehículos pesados

Vehicle Type	Directional Demand Flow Rate, v_{vph} (veh/h)	Level Terrain and Specific Upgrades	Rolling Terrain
Trucks, E_T	≤ 100	1,9	2,7
	200	1,5	2,3
	300	1,4	2,1
	400	1,3	2,0
	500	1,2	1,8
	600	1,1	1,7
	700	1,1	1,6
	800	1,1	1,4
	≥ 900	1,0	1,3
RVS, E_R	All flows	1.0	1.1

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010).

En un terreno ondulado con una demanda de 270 veh/h en un sentido, al realizar una interpolación de valores, según la tabla el factor de vehículos pesados es de 2.16

$P_T = 0.31$ es el porcentaje de vehículos pesados

$P_R = 0.07$ es el porcentaje de buses

$$f_{hv\ AT S} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0.31(2.16 - 1) + 0.07(1.1 - 1)} = 0.731$$

Cálculo de tasa de flujo de la demanda:

$$v_{i\ AT S} = \frac{V_i}{PHF * f_{g*AT S} * f_{hv\ AT S}} = \frac{270}{0.911 * 0.806 * 0.731} = 458 \frac{veh}{h}$$

Velocidad de viaje promedio

Para la determinación de la velocidad promedio de viaje se inicia del valor de la velocidad de flujo libre, a la que se le asignan diferentes factores y según el HCM 2010 se calcula con la siguiente ecuación:

$$ATS_d = FFS - 0.00776 (v_{d,ATS} + v_{0,ATS}) - f_{np,ATS}$$

Donde:

ATS_d : velocidad promedio de viaje en la dirección de análisis (mi/h)

FFS : velocidad de flujo libre (mi/h)

$v_{d,ATS}$: volumen de demanda en la dirección de análisis

$v_{0,ATS}$: factor de ajuste para determinación de ATS por porcentaje en las zonas de no rebasar.

El factor de ajuste por zona de no rebasar ($f_{np,ATS}$)

Para la determinación de este factor se debe destacar que los valores de tasa de flujo están referenciados por vehículos de pasajeros por hora, Se determina según la siguiente tabla de HCM 2010:

Tabla 26

Factores de ajuste por porcentaje de zonas de no rebasar

Opposing Demand Flow Rate, r	Percent No - Passing Zones				
	<= 20	40	60	80	100
	FFS <= 45 mi/h				
<= 100	0,1	0,4	1,7	2,2	2,4
200	0,9	1,6	3,1	3,8	4,0
400	0,9	0,5	2,0	2,5	2,7
600	0,4	0,3	1,3	1,7	1,8
800	0,3	0,3	0,8	1,1	1,2
1000	0,3	0,3	0,6	0,8	1,1
1200	0,3	0,3	0,6	0,7	1,0
1400	0,3	0,3	0,6	0,6	0,7
>= 1600	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010)

En vía de estudio el porcentaje de no adelantar es del 100 por ciento, con una demanda en el carril opuesto de 270 veh/h y una velocidad de flujo libre (FFS) de 24.10 mi/h, dadas estas características se interpola los valores para hallar un $f_{np,ATS} = 3.55$

Cálculo de velocidad de viaje promedio:

$$ATS_d = FFS - 0.00776 (v_{d,ATS} + v_{o,ATS}) - f_{np,ATS}$$

$$ATS_d = 24.10 - 0.00776 (458 + 458) - 3.55 = 20.55 \text{ mi/h}$$

Ajuste del flujo para el cálculo de PTSF

La determinación en función del porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSF), el procedimiento es semejante al anterior ejecutado para encontrar la velocidad media de viaje ATS, la disimilitud tiene como raíz en la determinación de los factores de ajuste, a continuación, la formula dada HCM 2010 para especificar el porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSF):

$$v_{i,PTSF} = \frac{V_i}{PHF * f_{g*PTSF} * f_{hv,PTSF}}$$

Donde:

$v_{i,PTSF}$: volumen de demanda i para estimación de PTSF (pc/h)

i: "d" (dirección de análisis) u "o" (dirección opuesta)

V_i : volumen de demanda para dirección i (veh/h)

PHF : factor de hora pico

$f_{g,PTSF}$: Factor de ajuste pendiente para PTSF

$f_{hv,PTSF}$: factor de ajuste por vehículos pesados para PTSF

$$f_{hv,PTSF} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

$f_{hv,PTSF}$: factor de ajuste por vehículo pesado PTSF

P_T : porcentaje de camiones del volumen total (unidad decimal)

P_R : porcentaje de buses del volumen total (unidad decimal)

E_T : vehículos pasajero equivalente de camiones

E_R : vehículos pasajero equivalente para buses

Los factores de ajuste por pendiente para el porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSF)

El producto de la pendiente sobre el porcentaje de tiempo de seguimiento se encuentra descrito para segmentos según el tipo de terreno, a continuación, la tabla especificada por HCM 2010:

Tabla 27

Factor de ajuste por pendiente para tipo de terreno

Directional Demand Flow Rate, v_{vph} (veh/h)	Level Terrain and Specific Upgrades	Rolling Terrain
<=100	1,00	0,73
200	1,00	0,80
300	1,00	0,85
400	1,00	0,90
500	1,00	0,96
600	1,00	0,97
700	1,00	0,99
800	1,00	1,00
>=900	1,00	1,00

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010)

Realizando el uso de la tabla, para un terreno ondulado con una demanda de 270 veh/h en un sentido, al realizar una interpolación de valores, según la tabla el factor de ajuste por terreno es de 0.835

Factor de ajuste por vehículos pesados para el porcentaje de tiempo de seguimiento (PTSF)

Tabla 28

Factores de equivalencia para camiones y buses según tipo de terreno

Vehicle Type	Directional Demand Flow Rate, v_{vph} (veh/h)	Level Terrain and Specific Upgrades	Rolling Terrain
Trucks, E_T	<=100	1,1	1,9
	200	1,1	1,8
	300	1,1	1,7
	400	1,1	1,6
	500	1,0	1,4
	600	1,0	1,2
	700	1,0	1,0
	800	1,0	1,0
	>=900	1,0	1,0
RVS, E_R	All flows	1,0	1,0

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010)

En un terreno ondulado con una demanda de 270 veh/h en un sentido, al realizar una interpolación de valores, según la tabla el factor de vehículos pesados es de 1.73

$$f_{hv\,PTSF} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

$$f_{hv\,PTSF} = \frac{1}{1 + 0.31(1.73 - 1) + 0.07(1.0 - 1)} = 0.815$$

$$v_{i,PTSF} = \frac{V_i}{PHF * f_{g*PTSF} * f_{hv\,PTSF}}$$

$$v_{d,PTSF} = \frac{270}{0.911 * 0.835 * 0.815} = 436$$

Estimación del porcentaje de tiempo de seguimiento PTSF

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{0,PTSF}} \right)$$

Donde:

$PTSF_d$: porcentaje de tiempo siguiendo en la dirección de análisis (unidad decimal)

$BPTSF_d$: porcentaje de tiempo siguiendo base en la dirección de análisis (unidad decimal)

$f_{np,PTSF}$: factor de ajuste para PTSF por porcentaje de zonas de no sobrepaso en el tramo de análisis

$v_{d,PTSF}$: volumen de demanda en la dirección de análisis para PTSF (pc/h)

$v_{0,PTSF}$: volumen de demanda en la dirección opuesta para PTSF (pc/h)

El valor del porcentaje en base del tiempo de seguimiento BPTSF bajo las restricciones base dado por la siguiente ecuación dada por HCM 2010:

$$BPTSF_d = 100[1 - \exp(-a * v_d^b)]$$

Donde:

$BPTSF_d$: porcentaje de tiempo siguiendo base en la dirección de análisis

a, b: coeficiente

v_d : volumen de demanda en la dirección de análisis (pc/h)

Para los coeficientes a y b, son determinados por la siguiente tabla:

Tabla 29

Coeficientes a y b de acuerdo al flujo vehicular en el sentido contrario.

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	Coefficient a	Coefficient b
<=200	-0,0014	0,973
400	-0,0022	0,923
600	-0,0033	0,870
800	-0,0045	0,833
1000	-0,0049	0,829
1200	-0,0054	0,825
1400	-0,0058	0,821
>=1600	-0,0062	0,817

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010)

Dada la demanda vehicular en el sentido contrario de 270 veh/h, realizando una interpolación de valores, los resultados del coeficiente a es de -0.00168 y el coeficiente b es de 0.9555.

$$BPTSF_d = 100[1 - \exp(a * v_d^b)]$$

$$BPTSF_d = 100[1 - \exp(-0.0168 * 436^{0.9555})]$$

$$BPTSF_d = 89.62 \%$$

Tabla 30

Factores de ajuste por zonas de no rebase PTSF

Total Demand Flow Rate, r	Percent No - Passing Zones					
	0	20	40	60	80	100
Directional Split - 50/50						
<=200	0,0	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
400	0,0	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
600	0,0	11,2	16,0	18,7	19,7	20,5
800	0,0	9,0	12,3	14,1	14,5	15,4
1000	0,0	3,6	5,5	6,7	7,3	7,9
1200	0,0	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4

Total Demand Flow Rate, r	Percent No - Passing Zones					
	0	20	40	60	80	100
1400	0,0	1,1	1,6	2,0	2,3	2,4
1600	0,0	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010)

Para el presente proyecto con el 100% de zonas de no rebasar y con un volumen de 492 vehículos en los dos sentidos, el factor $f_{np,PTSF}$ es de 22.82

Cálculo de porcentaje de tiempo siguiendo en la dirección de análisis:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np,PTSF} \left(\frac{v_{d,PTSF}}{v_{d,PTSF} + v_{o,PTSF}} \right)$$

$$PTSF_d = 89.62 + 22.82 \left(\frac{436}{436 + 492} \right) = 100$$

Determinación del nivel de servicio

Finalmente, ya determinado los parámetros necesarios para el tipo de carretera en estudio, el nivel de servicio se encuentra con una comparación entre los resultados y método HCM 2010, la siguiente presenta los niveles de servicio para carreteras clase I:

Tabla 31

Método HCM 2010 para determinación de niveles de servicio carreteras de dos carriles clase I.

NIVEL DE SERVICIO	CARRETERAS CLASE I	
	ATS (mi/h)	PTSF (%)
A	>55	<=35
B	>50	<=50
C	>45	<=65
D	>40	<=80
E	<=40	>80

Nota: Recuperado de Highway Capacity Manual, Council (2010)

De acuerdo al manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2010), con un $PTSF_d = 100\%$ y $ATS_d = 20.55$ mi/h, el nivel de servicio que presenta la vía es tipo E.

Ejes equivalentes

Los pavimentos son diseñados para una resistencia de un específico número de cargas. El tráfico vehicular comprende vehículos de carga variable, y para el diseño se debe modificar a un número equivalente de ejes tipo de 80 KN, este valor correspondiente toma el nombre de Esals (Carga de eje simple equivalente). Las diferentes cargas que son ejercidas en la superficie de la estructura del pavimento originan distintas tensiones y a su vez deformaciones. El valor de tráfico futuro proyectado a 20 años, se deberá transformar a un número equivalente, este se verá afectado por el factor de daño y por los coeficientes de distribución por distribución y dirección de carril (Ashqui, 2018).

Disposición y tipo de tráfico

Al efectuar un diseño de la estructura, se tiene que considerar el tipo de vehículos que transita por la vía y de qué manera transmite los esfuerzos dinámicos al terreno. La consecuencia del tráfico se mide en la unidad declarada por AASHTO como ejes equivalentes (EE) acumulados en el transcurso del periodo de diseño definido en el diseño, AASHTO define como EE, al resultado del daño provocado en el pavimento por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 T de peso, constituido por neumáticos a una presión de 80 lbs/plg². Los ejes equivalentes (EE) figuran el coeficiente de daño de las diferentes cargas, según el modelo de eje que constituye cada vehículo pesado que transita sobre el pavimento (Bracho, 2016).

Tabla 32

*Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE)
para pavimentos flexibles*

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
Eje Simple de ruedas simples (EES1)	$EES1 = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EES2)	$EES2 = [P / 8.2]^{4.0}$

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
Eje Tándem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETA1)	$EETA1 = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tándem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	$EETA2 = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Trídem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EETR1)	$EETR1 = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Trídem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)	$EETR2 = [P / 21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Nota: Recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993).

Para un estudio adecuado se realiza una caracterización del tráfico, donde se dimensiona el número de ejes y las cargas que transmiten. El Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTO) nos indica la siguiente tabla de peso bruto vehicular y longitudes máximas permitidas:

Tabla 33

Tabla nacional de pesos y dimensiones

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0 octopus			32	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
VZS			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
S3			24	13,00	2,60	4,10
S2			20	13,00	2,60	4,10
S1			11	13,00	2,60	4,10
R2			22	10,00	2,60	4,10
R3			31	10,00	2,60	4,10
B1			11	10,00	2,60	4,10
B2			20	10,00	2,60	4,10
B3			24	10,00	2,60	4,10

Nota: Recuperado de Ministerio de transporte y obras públicas MTOP (2018)

Tabla 34*Factores de distribución*

FACTORES DE DISTRIBUCION DIRECCIONAL Y DE CARRIL				
NUMERO DE CALZADAS	NUMERO DE SENTIDOS	NUMERO DE CARRILES POR SENTIDO	FACTOR DIRECCIONAL	FACTOR CARRIL
			FD	FC
1	1	1	1	1
	1	2	1	0,80
	1	3	1	0,60
	1	4	1	0,50
	2	1	0,5	1,00
	2	2	0,5	0,80
2	2	1	0,5	1,00
	2	2	0,5	0,80
	2	3	0,5	0,60
	1	4	0,5	0,50

Nota: Recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993).

Para nuestro proyecto el número de sentidos es 2 y el número de carriles por sentido es 1, por lo que el factor direccional (FD) es 0.50 y el factor de carril (FC) es de 1.00.

Según Morales (2015), la fórmula para medir los ejes equivalentes es el promedio de vehículos pesados por día durante el periodo de diseño, multiplicado por el número total de días al año, por el factor de carga y distribución.

$$N(8.2T) = (Nd * 365 * Fd * fc) * \left(\frac{(1 + r)^n - 1}{r} \right)$$

Donde:

Nd: Tránsito en ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

Nd: Tránsito equivalente acumulado

Fd: Factor sentido

Fc: Factor carril

r: Taza de crecimiento del tránsito.

n: Periodo de diseño en años

Para este proyecto se tomará una tasa de crecimiento de 4.61% obtenida en el departamento de factibilidad del MTOP (2018), para un periodo de 20 años.

$$\text{Factor de crecimiento} = \left(\frac{(1 + 0.0461)^{20} - 1}{0.0461} \right) = 31.74$$

LEF (factor de carga equivalente)

Para buses, que comprende 1 eje simple de 3 T. de peso y 1 eje simple de peso 7 T. se utiliza la fórmula de relación de cargas por eje, según la AASHTO se tiene:

$$LEF = \left(\frac{3}{6.66} \right)^4 + \left(\frac{7}{6.66} \right)^4 = 1.26$$

Para vehículos pesados de 2 ejes, que comprende 1 eje simple de 7 T. de peso y 1 eje simple de rueda doble de peso 11 T. se tiene:

$$LEF = \left(\frac{7}{6.66} \right)^4 + \left(\frac{11}{8.2} \right)^4 = 4.46$$

Para vehículos pesados de 3 ejes, que comprende 1 eje simple de 7 T. de peso, 1 eje tándem de peso 11 T. y un eje trídem de peso 11 T. se tiene:

$$LEF = \left(\frac{7}{6.66} \right)^4 + \left(\frac{11}{14.8} \right)^4 + \left(\frac{11}{20.7} \right)^{3.90} = 1.61$$

El ESAL en el carril de diseño para el presente proyecto, en el periodo de diseño de 20 años es de 37794354 ejes equivalentes de 8.2 Ton.

Tabla 35*Variables cálculo de ejes equivalentes de 8.2 T.*

Tipo de vehículo		Vehículos día	Vehículos año	Eje	Tipo de eje	Peso T/eje	LEF (factor de carga equivalente)	Factor de daño	Nº ESALS	Factor de crecimiento	(Fc)	(Fd)	ESAL diseño
2D	Livianos	2.412	880380	Delantero	Simple	7,00	-	1,00	880380	31,74	1	0,50	13969567
				Posterior	Simple	7,00	-						
2DA	Buses	272	99280	Delantero	Simple	3,00	0,04	1.26	125247	31,74	1	0,50	1987373
				Posterior	Simple	7,00	1.22						
2DB	Pesados 2 ejes	749	273385	Delantero	Simple	7,00	1,22	4,46	1218933	31,74	1	0,50	19341606
				Posterior	Rueda doble	11,00	3,24						
2S1	Pesados mayor a 2 ejes	384	140160	Delantero	Simple	7,00	1,22	1,61	225726	31,74	1	0,50	3581735
				Medio	Tándem	11,00	0,31						
TOTAL:									2381849				38880282

Capítulo III

Proyecto ejecutivo

Consideraciones generales

La evaluación de pavimentos nos permite conocer los desperfectos presentes en la superficie del pavimento y de esta manera emplear las restauraciones correspondientes, con lo que se logra mejorar el nivel de serviciabilidad del usuario. Con una evaluación periódica de la superficie del pavimento se puede extender el nivel de vida útil del corredor vial, una apropiada evaluación del pavimento nos permitirá menorar los costos de rehabilitación, además corregir las fallas de manera temprana como resultado nos ayuda a extender la vida de servicio del corredor vial, ahorrando costos (Vicuña, 2015).

Proyecto geométrico

El transporte constantemente experimenta cambios importantes con los años, afectado principalmente por la población y adaptándose a las probables situaciones, para lograr una mejor calidad al diseñar una carretera siempre es importante elaborar todos los elementos necesarios, en el presente proyecto se presenta: alineamiento horizontal, vertical, las diversas componentes de la sección transversal, donde se especifica todas las medidas, distancias, niveles y ubicaciones de cualquier punto deseado, para la presente evaluación estos elementos fueron facilitados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas Santo Domingo (León et al., 2015) (Véase ANEXO C).

Coordenadas polígono fundamental.

En el trazado del corredor vial Santo Domingo – 10 de agosto Km 1+500 hasta el Km 3+000 se situaron 8 puntos de intersecciones (PI) que son los vértices de la poligonal, adicional se tomaron los puntos de inicio y fin del puente sobre el Río Toachi,

utilizando sus coordenadas UTM. En la siguiente tabla se presentan las coordenadas de cada punto:

Tabla 36

Coordenadas polígono fundamental

Punto	Norte	Este	Distancia
Pi - 1	9972810,016	707165,491	157,935
Pi - 2	9972788,167	707321,907	129,411
Pi - 3	9972912,836	707356,620	317,673
Pi - 4	9973180,888	707527,101	118,834
Pi - 5	9973291,240	707483,009	48,488
Inicio Puente	9973323,929	707518,822	139,770
Fin Puente	9973412,844	707624,583	256,067
Pi - 6	9973574,274	707823,356	205,757
Pi - 7	9973714,243	707672,543	109,887
Pi - 8	9973823,372	707659,656	184,674

Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Diseño horizontal

Curvas Horizontales

La curva espiral es la que prevalece en este tramo del corredor vial, este tipo de curvas permiten evitar un cambio brusco de la aceleración radial y disponer de longitudes convenientes, que permiten instaurar peraltes y sobre anchos convenientes al diseño (NEVI-12, 2012).

Tabla 37

Ángulos curvas espirales

Curva	OC	Occ	ϕ_e
Nº 1 Izq.	24° 59' 10,31"	18° 40' 40,18"	03° 09' 15,07"
Nº 2 Izq.	82° 23' 33,23"	44° 11' 43,36"	19° 05' 54,94"
Nº 3 Der.	16° 53' 48,88"	01° 37' 04,93"	07° 38' 21,97"
Nº 4 Izq.	54° 14' 08,55"	19° 51' 29,67"	17° 11' 19,44"

Curva	OC	Occ	ϕ_e
Nº 5 Der.	69° 23' 25,89"	26° 25' 09,29"	21° 29' 09,30"
Nº 6 Izq.	98° 03' 16,76"	60° 29' 01,15"	18° 47' 07,81"
Nº 7 Der.	40° 24' 02,50"	24° 46' 28,46"	07° 48' 47,02"

Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Tabla 38

Parámetros curvas espirales

Curva	Radio	Le	Lc	Te	LT	Xc	Yc	Peralte
Nº 1 Izq.	181,65	20,00	59,21	50,26	99,21	20,00	0,36	8,00%
Nº 2 Izq.	45,00	30,00	34,71	55,06	94,71	29,66	3,30	9,00%
Nº 3 Der.	150,00	40,00	4,24	42,33	84,23	39,92	1,77	8,00%
Nº 4 Izq.	50,00	30,00	17,33	40,94	77,33	29,73	2,98	9,00%
Nº 5 Der.	40,00	30,00	18,44	43,27	78,44	29,58	3,71	9,00%
Nº 6 Izq.	61,00	40,00	64,39	91,42	144,39	39,57	4,33	9,00%
Nº 7 Der.	110,00	30,00	47,56	55,59	107,56	29,94	1,36	8,00%

Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

En el tramo de estudio existe solo una curva circular, a continuación, se presenta los parámetros:

Tabla 39

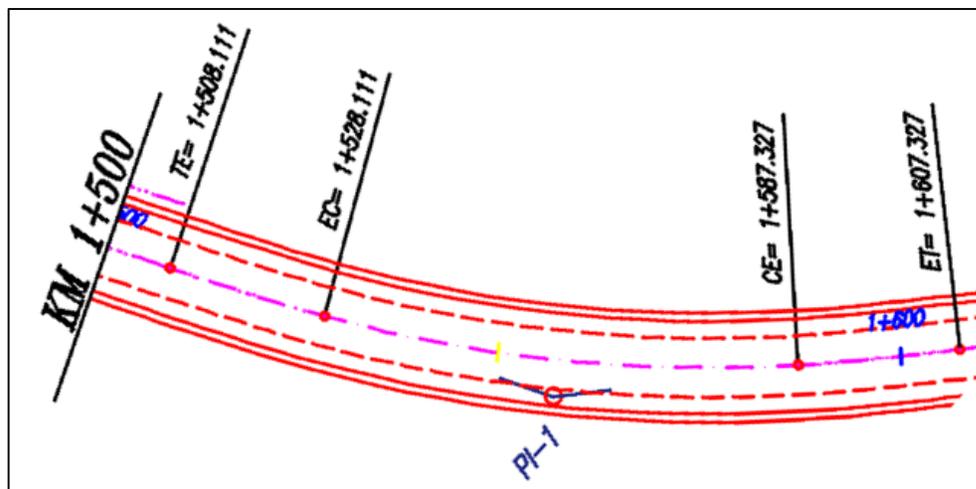
Parámetros curva circular

Curva	Ángulo Alfa	Radio	Lc	Tg	Peralte
Nº 8	14° 12' 04,87"	360	89,23	44,84	8,00%

Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 8

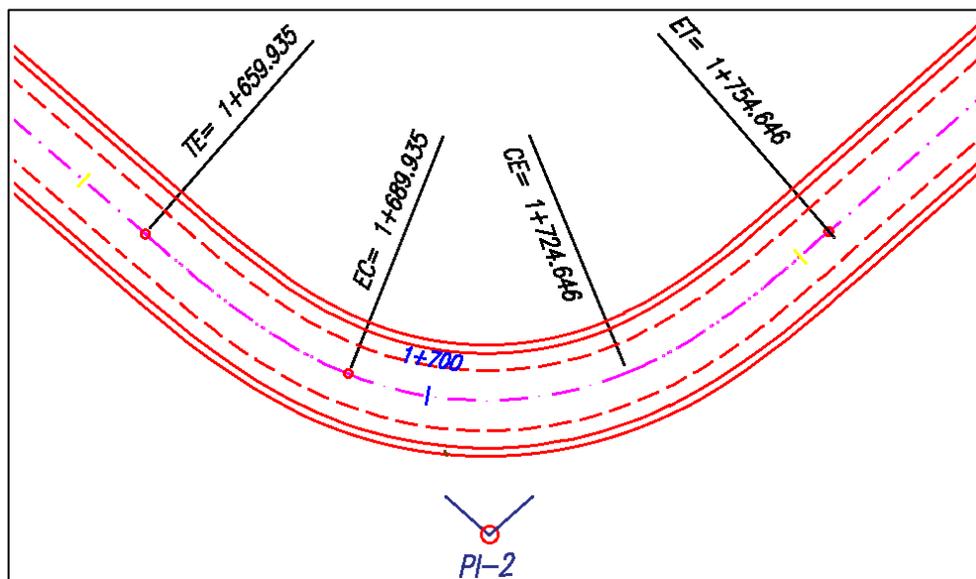
Abscisas curva espiral N° 1 izquierda



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 9

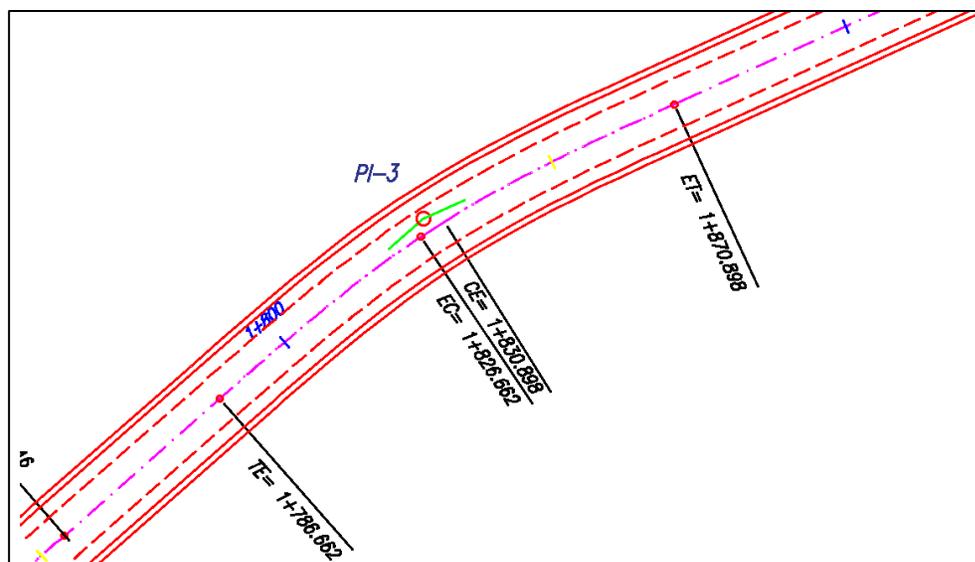
Abscisas curva espiral N° 2 izquierda



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 10

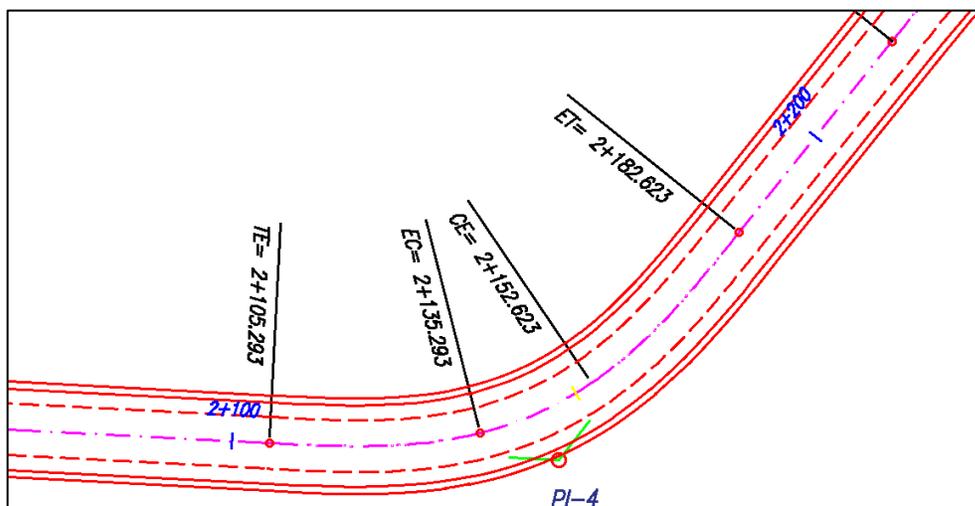
Abscisas curva espiral N° 3 derecha



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 11

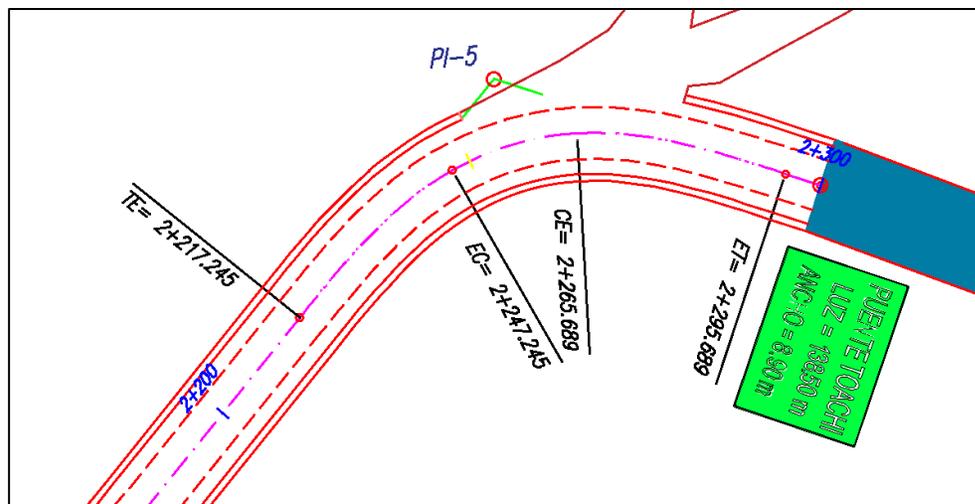
Abscisas curva espiral N° 4 izquierda



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 12

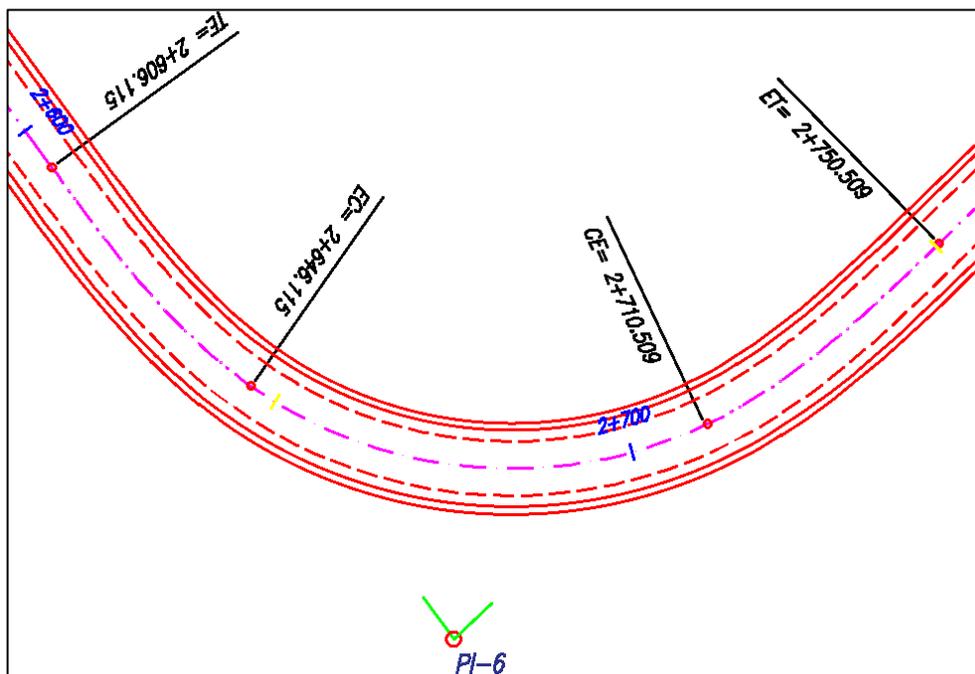
Abscisas curva espiral N°5 derecha



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 13

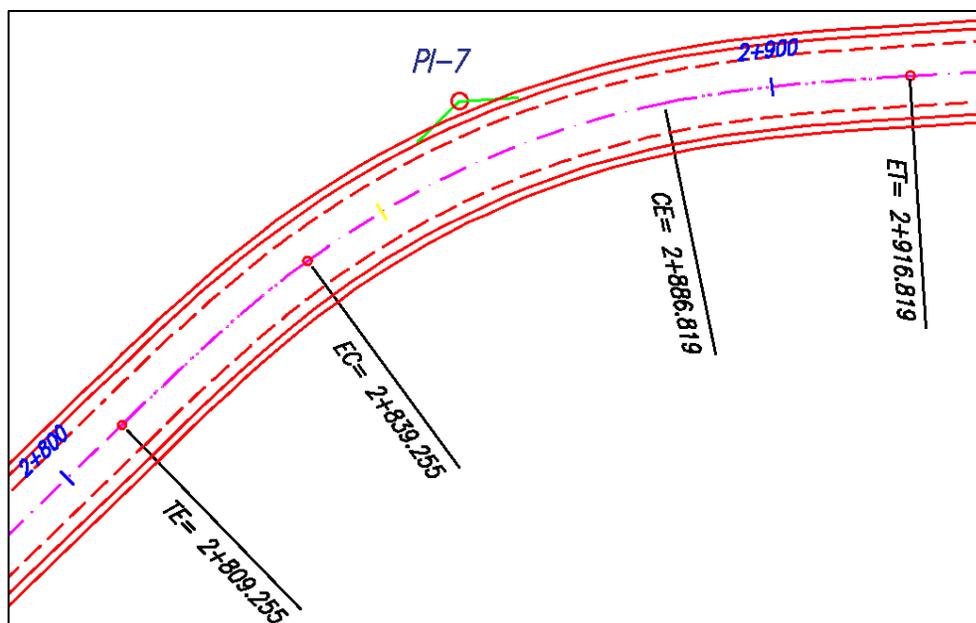
Abscisas curva espiral N° 6 izquierda



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 14

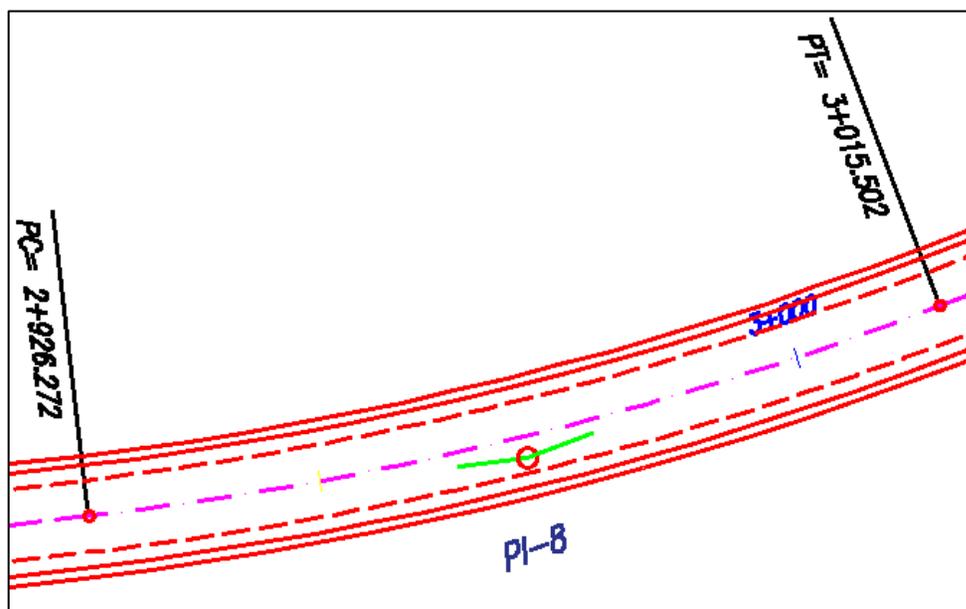
Abscisas curva espiral N° 7 Derecha



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 15

Abscisas curva espiral N° 8



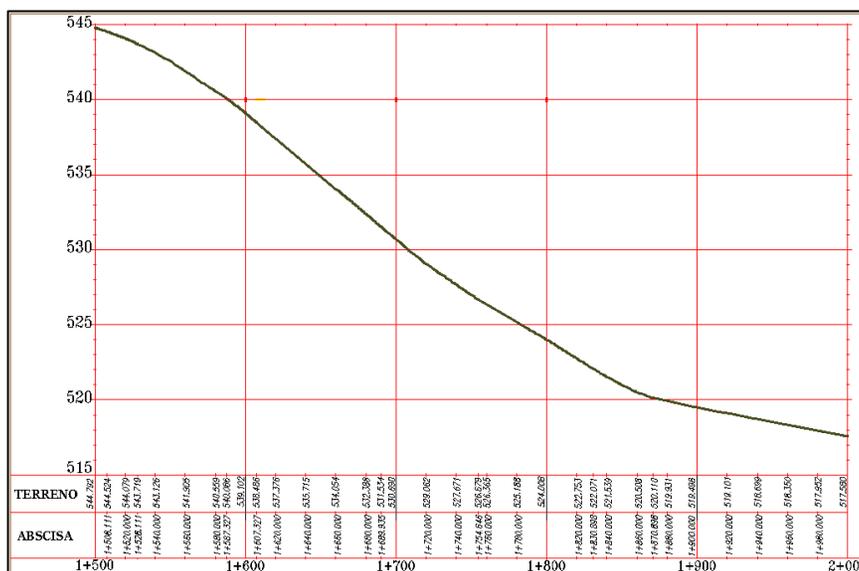
Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Diseño vertical

Se especifica información de la altimetría, el perfil longitudinal, el eje real de la vía y se especifica las cotas de la vía.

Figura 16

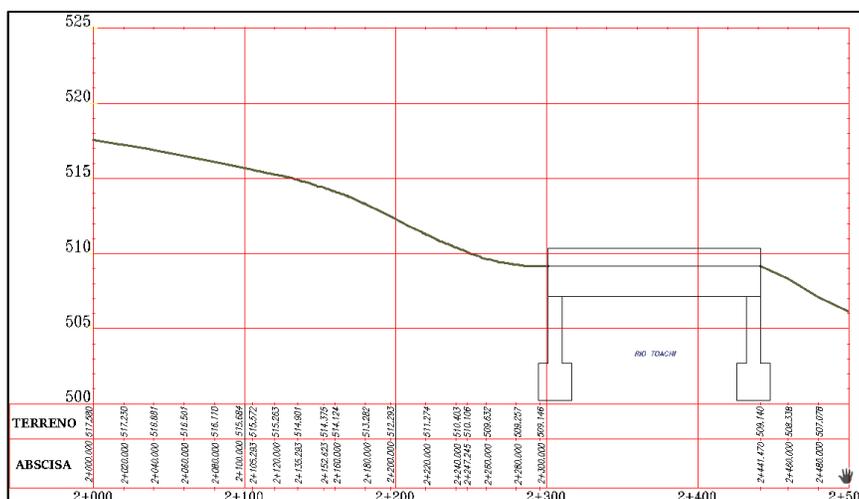
Perfil longitudinal Km 1+500 hasta Km 2+000



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 17

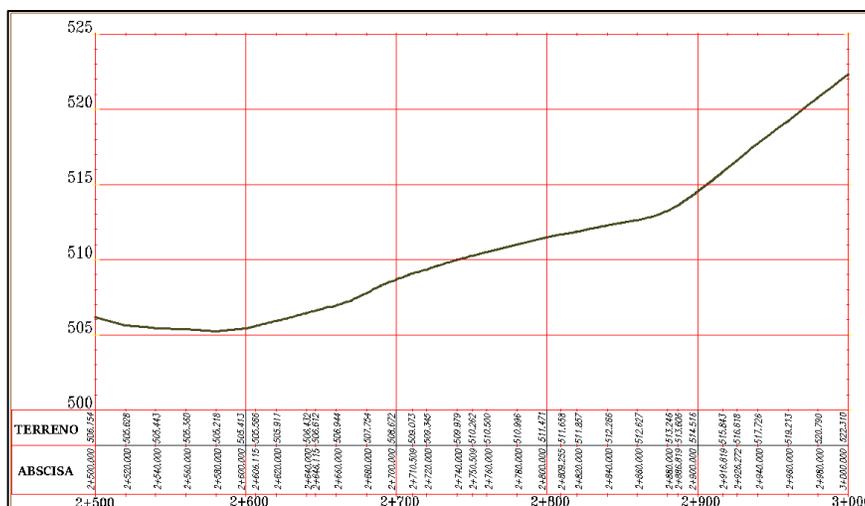
Perfil longitudinal Km 2+000 hasta Km 2+500



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Figura 18

Perfil longitudinal Km 2+500 hasta Km 3+000



Nota: Recuperado de Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo.

Evaluación funcional de pavimento flexible del corredor vial Santo Domingo – 10 de agosto del tramo km 1+500 hasta el km 3+000.

La evaluación funcional de un pavimento según Higuera Sandoval (2015) lo define como la determinación de la condición y nivel de seguridad ofrecida por la estructura, específicamente la superficie del pavimento, al conductor regular, la presente evaluación se realizó por medio de una inspección visual en el pavimento del corredor vial, con el propósito de establecer el índice de serviciabilidad, mediante la cual se medirá el nivel de servicio, seguridad y confort que consiguen los usuarios.

Inspección visual

Las fallas presentadas en los pavimentos se dividen en los siguientes grupos fundamentales.

- **Fallas por insuficiencia estructural:** se refiere a la construcción de pavimentos con materiales no apropiados en resistencia o con materiales de calidad, pero con poco espesor. En conclusión, este tipo de falla se

muestra cuando las diferentes combinaciones de resistencia al corte de las capas y los espesores no son un conjunto de resistencia apropiado.

- **Fallas por defectos contractivos:** se muestran en estructuras de pavimentos correctamente proporcionados y elaborados con materiales lo bastante resistentes que en dicha construcción se han cometido fallas que afectan el actuar en conjunto.
- **Fallas por fatiga:** se presentan en pavimentos que inicialmente estuvieron en las apropiadas condiciones, pero por la constante reiteración de las cargas del tránsito fueron afectados por la fatiga, envejecimiento estructural, y, en general, disminución de resistencia y deformación (Higuera Sandoval, 2015).

Inventario de daños en el corredor vial

El inventario de daños realizado en un pavimento esclarece datos importantes en el desarrollo de la valoración de la condición del pavimento.

Información sobre la condición del pavimento

Se tiene como objetivo con este método auscultar el corredor vial, y estudiar los diferentes daños, deterioros o fallas los cuales se presentan en la estructura del pavimento, además se analizará su extensión, las causas y gravedad, con lo cual se dará un resultado del estado de la estructura del pavimento.

Se denomina fallo o daño a todo tipo de afectación que se muestra en la estructura y que afecta o afectará al desplazamiento confortable y seguro de los usuarios (Higuera Sandoval, 2015).

Daños o fallas en pavimentos flexibles

El daño en el pavimento por lo general no solo es el efecto de un diseño y/o construcción deficiente, también es provocado por el imprescindible desgaste que es provocado a lo largo de los años por el cambio del clima (Ghouse Ali Khan H M, 2017).

Fisuras

Según Higuera Sandoval (2015) las fisuras son fracturas presentadas sobre la superficie del pavimento, existen diferentes tipos de fisuras: longitudinales, transversales.

Fisuras longitudinales y transversales (FL, FT)

En esta sección se presentarán las fisuras longitudinales y transversales, estas son discontinuas en principio y continúan evolucionando paulatinamente hacia la fisuración continua a consecuencia del volumen de tráfico (Fernandez Vasquez, 2019).

De acuerdo a Vicuña (2015), las grietas transversales se prolongan a través de la carpeta de rodadura en ángulos generalmente rectos al eje del mismo. Comúnmente, este tipo fallas no está ligado con la carga.

- Causas:
 - La causa comúnmente es por los altos esfuerzos horizontales de tensión procedente de las ruedas de los vehículos pesados, además de una reducción de rigidez de la carpeta asfáltica por las altas temperaturas en la superficie.
 - Contracción y dilatación de la superficie de pavimento asfáltico por la variación diaria de temperatura.
 - Empleo de ligantes asfálticos envejecidos o muy duros.
 - Falto de espesor en la capa de rodadura.

- Zona de fricción entre terraplén y calzada por diferencia de rigidez de los materiales que componen la subrasante (Armas Gil, 2018).
- Niveles de severidad
 - **Bajo:** se cumple una de las condiciones:
 - Grieta vacía con un ancho menor a 10.0 mm.
 - Una grieta repleta de cualquier ancho.
 - **Medio:** se cumple una de las condiciones:
 - Grieta vacía de ancho entre 10 mm. – 76 mm.
 - Grieta vacía de cualquier ancho hasta 76 mm, acordonada de grietas de menor tamaño.
 - Grieta repleta de cualquier ancho, acordonada de grietas de menor tamaño.
 - **Alto:** se cumple una de las condiciones:
 - Grieta repleta, acordonada de grietas de menor tamaño de impacto media o alta.
 - Grieta vacía de más de 76 mm. de ancho.
 - Una grieta de ancho variable rodeada de fracturas intensas (Corros et al., 2009).
- Opciones de reparación:
 - **Bajo:** Sellado de grietas de ancho mayor a 3.0 mm. en diámetros menores no se realiza ninguna reparación.
 - **Medio:** Se realiza un sellado de grietas.
 - **Alto:** Se efectúa un parcheo parcial y sellado de grietas (Corros et al., 2009).
- Probable evolución:

Piel de cocodrilo, descaramiento, asentamientos longitudinales y transversales, fisuras de bloque (Nacevilla Toaquiza, 2018).

Tabla 40

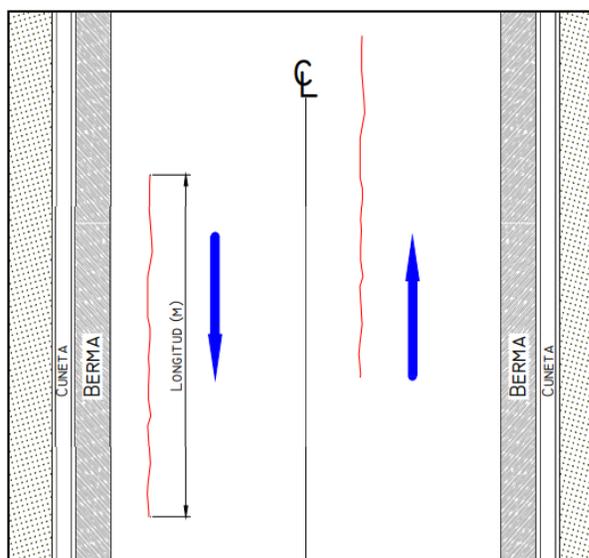
Unidades y símbolo de Fisuras longitudinales y transversales.

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Longitudinales	FLH	Longitud en metros del carril dañado (ml).
Transversales	FL	Longitud en metros del carril dañado (ml).

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 19

Esquema fisura longitudinal.



Nota: Recuperado de INVIAS (2006).

Figura 20

Fisuras longitudinales en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

**Figura 21**

Fisuras transversales en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

***Fisura media luna o parabólica.***

Son fisuras en forma parabólica, que se revelan por el frenado, circulación o giro a bajas velocidades de vehículos de carga pesada que realiza un resbalón y desproporciona la capa de rodadura. Generalmente este deterioro se muestra en mezclas asfálticas de bajo equilibrio, es más evidenciable en sectores donde el

pavimento experimenta altos esfuerzos tangenciales (curvas) y en trayecto de alta pendiente longitudinal, así como zonas de aceleración y frenado de los vehículos (Armas Gil, 2018).

De acuerdo a (Corros et al., 2009), este daño sucede en presencia de una mezcla asfáltica entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento que carece de resistencia y en algunas ocasiones de nivel pobre.

- Causas:
 - Giro por cambio de trayectoria o frenado de llantas de los vehículos, como resultado causa el deslizamiento y deformidad del pavimento.
 - Insuficiente adherencia en capas sobrepuestas.
 - Presencia de polvo.
 - Demasía en la colocación de ligante o falta de riego de liga.
 - Mezcla con elevado contenido de arena fina (Armas Gil, 2018).
- Niveles de severidad:
 - **Bajo:** Ancho promedio de la grieta es menor a 10 mm.
 - **Medio:** Se cumple una de las siguientes condiciones:
 - El ancho de grieta tiene un promedio entre 10 mm. – 38 mm.
 - El área que rodea la grieta está fracturada en pequeños pedazos.
 - **Alto:** Se cumple una de las siguientes condiciones:
 - El ancho promedio de la grieta es mayor que 38 mm.
 - El área que rodea a la grieta está fracturada en pequeños pedazos fácilmente removibles (Corros et al., 2009).
- Opciones de reparación:
 - **Bajo:** No se realiza ninguna acción.
 - **Medio y alto:** Bacheo parcial (Corros et al., 2009).
- Probable evolución:

Incremento del área afectada, ampliación del hundimiento, pérdida de la banca
(Nacevilla Toaquiza, 2018).

Tabla 41

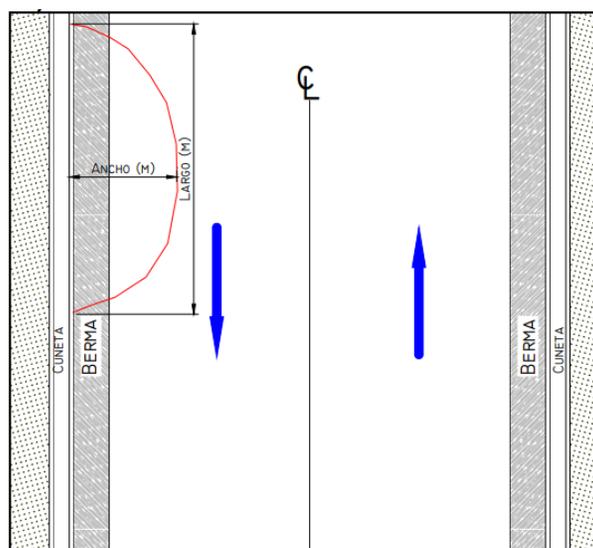
Unidades y símbolos de fisuras parabólicas

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Media luna	FML	Longitud en metros del carril afectado (ml).

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 22

Esquema fisura media luna o parabólica.



Nota: Recuperado de INVIAS (2006).

Figura 23

Fisuras media luna o parabólicas en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

***Fisura de borde (FB)***

Las fisuras habitualmente son continuas y con disposición longitudinal, que se forman paralelas y cercanas a la orilla de la superficie del pavimento (Armas Gil, 2018).

Generalmente están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m. desde el borde del pavimento. Estas fisuras pueden ser resultado del debilitamiento debido a diferentes condiciones climáticas en la subrasante o de la base en sectores cercanos al borde del pavimento, además de la falta de soporte lateral o a causa de terraplenes edificados con materiales expansivos. En este tipo de fisuras la falla de borde se precipita a consecuencia de la carga vehicular, en determinados casos inclusive se puede producir pérdida del material por disgregación (Vicuña, 2015).

- Causa:
 - Sus causas pueden ser múltiples, entre las importantes es la ausencia de bordillo o berma, lo que se provoca una falta de confinamiento de la estructura del pavimento.

- Falta de compactación en el borde del pavimento
- Aplicación de cargas cerca del borde del pavimento.
- Apertura de una junta de ampliación en la calzada.
- Insuficiente adherencia en capas superpuestas o existencia de polvo.
- Demasía colocación de ligante o falta de riego de liga.
- Elevado contenido de arena fina en la mezcla (Armas Gil, 2018).
- Niveles de severidad:
 - **Bajo:** Agrietamiento bajo o medio sin desprendimiento.
 - **Medio:** Agrietamiento con algo de desprendimiento, fragmentación y fractura en los bordes.
 - **Alto:** Notable rotura con desprendimiento o fragmentación a lo largo del borde (Corros et al., 2009).
- Opciones de reparación:
 - **Bajo:** Sellado de grietas con un ancho mayor a 3 mm. si el ancho es menor entonces no se realiza ninguna acción.
 - **Medio:** Parcheo parcial – profundo y sellado de grietas
 - **Alto:** Parcheo parcial – profundo (Corros et al., 2009).
- Probable evolución:

Desprendimiento del borde o descascaramiento (Nacevilla Toaquiza, 2018).

Tabla 42

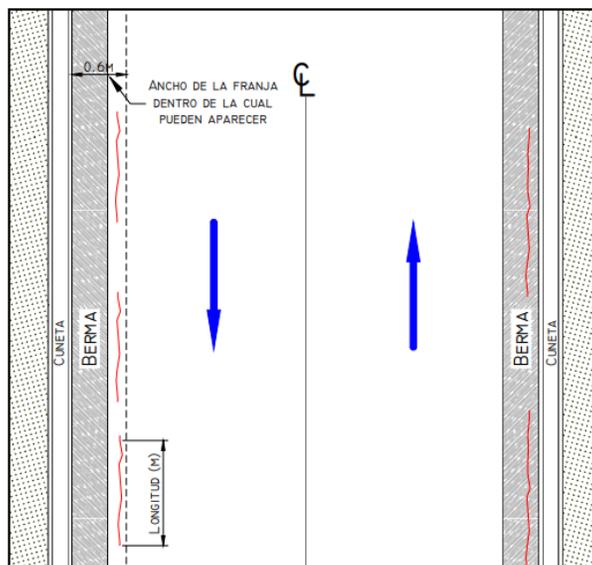
Unidades y símbolos de fisuras de borde

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Fisura de borde	FB	Longitud en metros del carril afectado (ml).

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 24

Esquema fisura de borde.



Nota: Recuperado de INVIAS (2006).

Figura 25

Fisura de borde en vía Santo Domingo – 10 de agosto.



Fisuras piel de cocodrilo (PC)

También llamadas grietas de fatiga son un grupo de fisuras conectadas que se generan en forma de polígonos irregulares de ángulos agudos parecidos a una malla de

gallinero o a la piel de cocodrilo, por lo general localizadas en áreas de alto tránsito vehicular. La piel de cocodrilo es considerada como un daño en la estructura de pavimento importante y comúnmente se forma acompañado por ahuellamiento (Corros et al., 2009).

Este agrietamiento ocurre exclusivamente en áreas sujetas a cargas reiteradas de tránsito como las huellas de ruedas, por esto, no podría mostrarse sobre la totalidad de la superficie a menos que exista carga de tránsito en toda la superficie. Por lo general el lado más grande de las partes no sobrepasa los 0.60 m. Este fisuramiento se origina en la parte inferior de las capas asfálticas en donde los esfuerzos y deformaciones de tensión resultado de las cargas continuas de tránsito (Corros et al., 2009).

- Causa:
 - Su principal causa se presenta por fátiga de las capas asfálticas por continuas repeticiones de carga vehicular.
 - Insuficiente espesor de estructura (Armas Gil, 2018).
 - Déficit de compactación de las capas.
 - Problemas de drenaje (Nacevilla Toaquiza, 2018).
- Niveles de severidad:
 - **Bajo:** Grietas finas y longitudinales que se despliegan en forma paralela con alguna o ninguna interconexión.
 - **Medio:** Desarrollo de un conjunto de grietas que podrían estar levemente descascaradas e inicia el proceso conexión entre fisuras.
 - **Alto:** Red de grietas que se han avanzado, donde las piezas están evidentes y los filos descascarados, además por efecto del tránsito algunos fragmentos pueden moverse e inclusive usualmente vienen asociados con ahuellamiento (Corros et al., 2009).

- Opciones de reparación:
 - **Bajo:** Sello superficial.
 - **Medio:** Parcheo parcial – profundo y sellado de grietas sobrecarpeta, reconstrucción.
 - **Alto:** Parcheo profundo, sobrecarga o reconstrucción (Corros et al., 2009).
- Probable evolución:

Descascaramiento, deformaciones, baches (Nacevilla Toaquiza, 2018).

Tabla 43

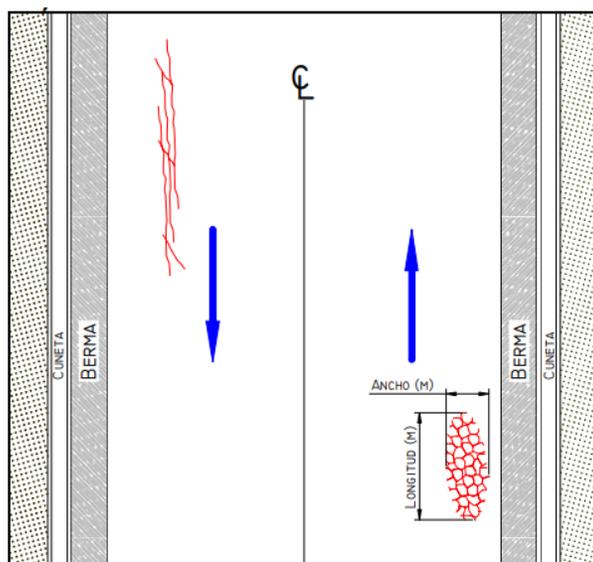
Unidades y símbolos piel de Cocodrilo

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Piel de cocodrilo	PC	Superficie afectada en metros cuadrados (m ²).

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 26

Esquema fisura piel de cocodrilo.



Nota: Recuperado de INVIAS (2006).

Figura 27

Piel de cocodrilo en vía Santo Domingo – 10 de agosto

***Deformaciones*****Abultamiento**

Estas deformaciones se presentan como pequeños desplazamientos por encima de la superficie del pavimento, la diferencia del desplazamiento ya que estos, son efecto de pavimentos inestables (Corros et al., 2009).

Se muestra en el pavimento se visualiza como ondulaciones transversales sucesivas de la mezcla asfáltica, este desperfecto se origina debido a la deficiencia de estabilidad de la mezcla asfáltica, por una dosificación errónea, empleo de asfaltos blandos o generalmente el empleo de agregados de forma circular (Armas Gil, 2018).

- Causa:
 - Expansión por congelación.
 - Acumulación de material en fisura a causa de cargas de tráfico.
 - Expansión del suelo de fundación.
 - Deficiente drenaje del paquete estructural del pavimento (Armas Gil, 2018).

- Niveles de severidad:
 - **Bajo:** No se realiza ninguna acción, no tiene ningún efecto importante en la calidad de rodaje.
 - **Medio:** Genera un efecto medio en la calidad de rodaje.
 - **Alto:** Causa un efecto negativo que se refleja en la calidad de rodaje (Corros et al., 2009).
- Opciones de reparación:
 - **Bajo:** No se realiza ninguna acción.
 - **Medio:** Parcheo parcial – profundo o reciclado en frío.
 - **Alto:** Parcheo profundo, fresado en frío, sobrecarpeta (Corros et al., 2009).
- Probable evolución:

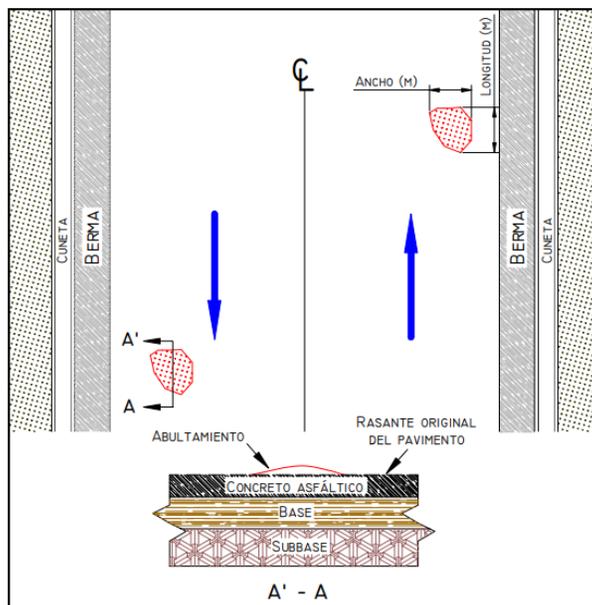
Fisuración, desprendimiento, exudación, ahuellamiento.

Tabla 44

Unidades y símbolos abultamiento.

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Abultamiento	BA	Longitud en metros de carril afectado (ml). Nota: Si el abultamiento ocurre combinado con una grieta, ésta también se registra.

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 28*Esquema deformación de abultamiento**Nota: Recuperado de INVIAS (2006).***Figura 29***Abultamiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto.***Hundimiento**

Este tipo de deformación son encontradas en la superficie del pavimento con niveles inferiores con respecto a la superficie a su alrededor, frecuentemente las ligeras

depresiones sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua se almacena en la deformación (Corros et al., 2009).

- Causas:
 - Asentamientos localizados en la subrasante.
 - Carencia de compactación de las capas del pavimento o del terraplén.
 - Deficiencia en el drenaje sub superficial.
 - Diferencia de rigidez en los materiales de la subrasante localizados en los sectores de transición entre corte y terraplén (Corros et al., 2009).
- Niveles de severidad:
 - **Bajo:** No se realiza ninguna acción, no tiene ningún efecto importante en la calidad de rodaje, es perceptible en ciertas vibraciones dentro del vehículo al transitar sobre la falla, pero no es forzoso reducir la velocidad por comodidad o seguridad.
 - **Medio:** Genera un efecto medio en la calidad de rodaje, se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo al transitar sobre la falla y necesariamente se debe reducir la velocidad por comodidad y seguridad. El vehículo rebota significativamente creando incomodidad.
 - **Alto:** Causa un efecto negativo que se refleja en la calidad de rodaje, las vibraciones del vehículo son demasiado excesivas que es inevitable reducir la velocidad por comodidad y seguridad, crea demasiada incomodidad e inclusive reduce la seguridad con un severo daño vehicular. (Corros et al., 2009).
- Opciones de reparación:
 - **Bajo:** No se realiza ninguna acción.
 - **Medio:** Parcheo parcial – profundo o reciclado en frío.

- **Alto:** Parcheo profundo, fresado en frío, sobrecarpeta (Corros et al., 2009).
- Probable evolución:

Desprendimiento de la superficie o fisuración (Nacevilla Toaquiza, 2018).

Tabla 45

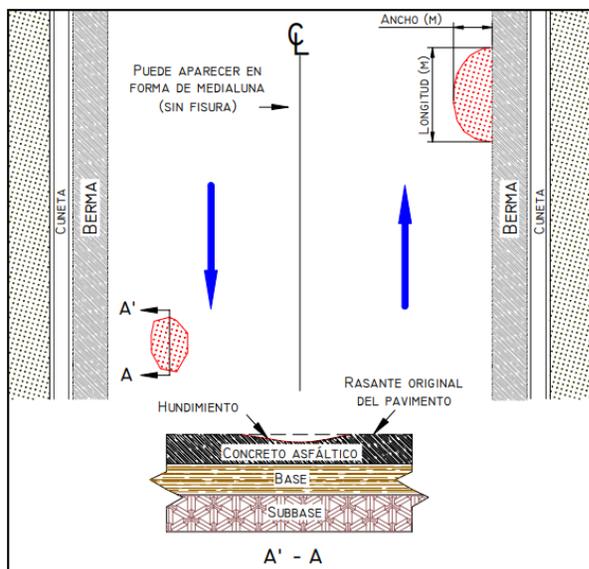
Unidades y símbolos hundimiento.

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Hundimiento	HB	Longitud en metros de carril afectado (ml).
o		Nota: Si el abultamiento ocurre combinado con una grieta, ésta también se registra.

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 30

Esquema deformación de Hundimiento



Nota: Recuperado de INVIAS (2006).

Figura 31

Hundimiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

**Figura 32**

Hundimiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

**Ahuellamiento (AHU)**

Se refiere a un declive en la superficie del pavimento en dirección de la trayectoria forma del labrado de las ruedas, es posible que se presente el desprendimiento del asfalto en los filos del ahuellamiento, en la mayoría de los casos

esto es visible posterior a una lluvia cuando el ahuellamiento se llena de agua. Esta deformación proviene de una anomalía fija en una de las capas de la estructura, generalmente generada por robustez u oscilaciones laterales de los materiales por la carga del tránsito. Un ahuellamiento significativo puede producir una falla estructural considerable del pavimento (Corros et al., 2009).

- Causas:
 - Espesor de las capas de pavimento insuficientes.
 - Exposición a cargas de tránsito superiores y frecuencia a las que fue diseñada la estructura del pavimento.
 - Deficiente compactación y/o calidad de los materiales de la base.
 - Deficiente drenaje sub superficial (Armas Gil, 2018).
- **Niveles de severidad:** Dependen del promedio de profundidad de la falla, este se calcula ubicando una regla de manera perpendicular en la dirección del mismo, midiendo la profundidad y utilizando las medidas tomadas a lo largo para calcular la profundidad promedio.
 - **Bajo:** 6.00 a 13.00 mm.
 - **Medio:** Mayor a 13.00 mm. hasta 23.00 mm.
 - **Alto:** Mayor a 25.00 mm. (Corros et al., 2009).
- Opciones de reparación:
 - **Bajo:** No se realiza ninguna acción, fresado y sobrecarpeta.
 - **Medio:** Fresado y sobrecarpeta, bacheo superficial, parcial o profundo.
 - **Alto:** Bacheo parcial o profundo, fresado y sobrecarpeta (Corros et al., 2009).
- Probable evolución:

Piel de cocodrilo, desprendimiento (INVIAS, 2006).

Tabla 46

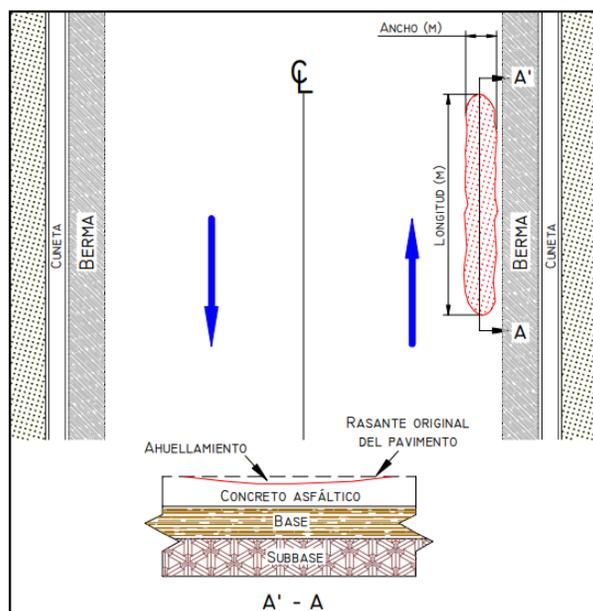
Unidades y símbolos ahuellamiento.

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Ahuellamiento	H	Longitud en metros de carril afectado (ml).

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 33

Esquema deformación de ahuellamiento.



Nota: Recuperado de INVIAS (2006).

Figura 34

Ahuellamiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

***Pérdidas de las capas de la estructura.*****Descascaramiento (DC)**

Se refiere al desprendimiento de fragmentos de la carpeta asfáltica, sin embargo, no llega a afectar las capas inferiores. Este tipo de daño indica que el ligante asfáltico se ha endurecido o que la mezcla es de pobre calidad además, el desprendimiento generalmente es causado por ciertos tipos de cargas pesadas, por ejemplo, volquetas (Corros et al., 2009).

- Causas:
 - Cargas pesadas de tráfico.
 - Mezcla de baja calidad y/o ligante insuficiente.
 - Empleo de agregados sucios o demasiado absorbentes.
 - Falta de adherencia en el agregado (Armas Gil, 2018).
- Niveles de severidad:
 - **Bajo:** Profundidad menor o igual a 25 mm, área menor o igual a 0.80 m².

- **Medio:** Profundidad menor o igual a 25 mm, área mayor a 0.80 m².
- **Alto:** Profundidad mayor a 25 mm, área mayor a 0.80 m² (Armas Gil, 2018).
- Opciones de reparación:
 - **Bajo:** No se realiza ninguna acción, sello superficial o tratamiento superficial.
 - **Medio:** Sello superficial, tratamiento superficial o colocación de sobrecarpeta.
 - **Alto:** Tratamiento superficial, colocación de sobrecarpeta, reciclaje o reconstrucción (Corros et al., 2009).
- Probable evolución:

Piel de cocodrilo, baches (Nacevilla Toaquiza, 2018).

Tabla 47

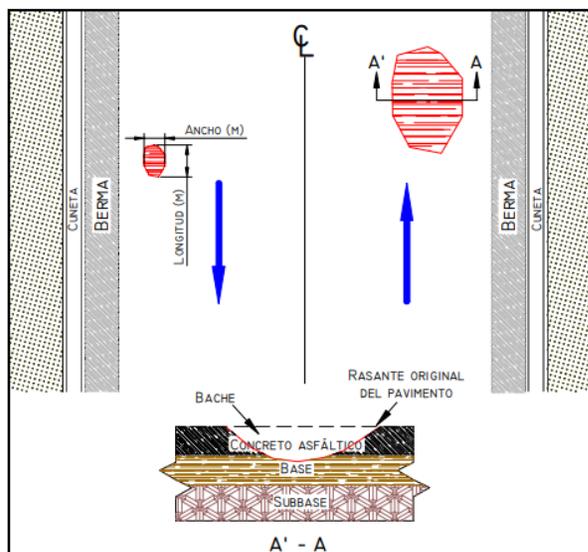
Unidades y símbolos descascaramiento.

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Descascaramiento	DE	Longitud en metros de carril afectado (ml).

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 35

Esquema pérdida por descascaramiento



Nota: Recuperado de INVIAS (2006).

Figura 36

Descascaramiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto.



Figura 37

Descascaramiento en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

***Baches (BCH)***

Los baches son declives pequeños que se muestran en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros no mayores a 0.90 m. Usualmente demuestran bordes agudos y lados verticales en la zona superior.

El crecimiento de las grietas se acelera con la acumulación de agua de lluvia dentro de la grieta. Las grietas empiezan cuando el tráfico desprende pequeños fragmentos de la capa superior del pavimento. En el momento que los huecos son generados por piel de cocodrilo de alta severidad se deben registrar como huecos. Es considerada una falla más importante presente en el pavimento, esto por producir el desprendimiento de la carpeta asfáltica y dejar expuestos los demás materiales que componen la estructura del pavimento, por este motivo el área y profundidad del afectada incrementa debido a el paso de la carga vehicular (Corros et al., 2009).

- Causas:
 - La principal causa de que exista esta pérdida de la estructura es por la presencia de agua de la lluvia en las zonas fisuradas, que por efecto de

las cargas del tránsito genera una reducción de los esfuerzos efectivos que produce deformaciones y la falla del pavimento. Además, se debe por imperfectos constructivos (falta de penetración de la imprimación en bases granulares) o escasos espesores en las capas estructurales.

- **Niveles de severidad:** Los niveles de daños para los baches de un diámetro menor que 762 mm. se basan en el hundimiento y el diámetro, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 48

Severidad según profundidad.

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.70 a 25.40 mm	L	L	M
>24.40 a 50.80 m.	L	M	H
>50.80 mm.	M	M	H

Nota: Recuperado de Corros et al. (2009).

- Si el diámetro del bache es mayor a 762 mm. debe valorarse el área del hueco en m² y ser dividida entre (0.47 m²) para encontrar el número de baches similares.
- Si se presenta un declive menor o igual a 25.00 mm. los baches se deben considerar de severidad media.
- Si se presenta un declive mayor que 25.00 mm. los baches se deben considerar de severidad alta (Corros et al., 2009).
- Opciones de reparación:
 - **Bajo:** No se realiza ninguna acción, parcheo parcial o profundo.
 - **Medio:** Parcheo parcial o profundo.

- **Alto:** Bacheo profundo (Corros et al., 2009).
- Probable evolución:

Fractura de la estructura (INVIAS, 2006).

Tabla 49

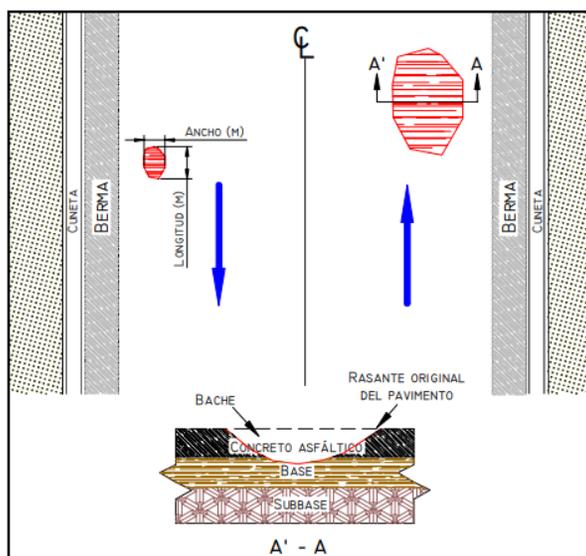
Unidades y símbolos baches.

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Baches	B	Superficie en metros cuadrados del área afectada (m ²).

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 38

Esquema de Baches



Nota: Recuperado de INVIAS (2006).

Figura 39

Baches en vía Santo Domingo – 10 de agosto.



Figura 40

Baches en vía Santo Domingo – 10 de agosto.



Figura 41

Baches en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

**Figura 42**

Baches en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

***Otros daños en pavimentos flexibles******Pérdida de agregado (PA)***

Es también conocida como desintegración, corresponde al desprendimiento progresivo de fragmentos de los agregados de la capa de rodadura a causa de un desgaste gradual de agregados, como resultado la superficie es más rugosa y se

expone de manera progresiva, generando daños en la capa de rodadura. Este deterioro es frecuente y se presenta en la capa superficial, por un mal proceso constructivo (INVIAS, 2006).

- Causas:
 - Empleo irregular del material ligante en tratamientos superficiales.
 - Defecto de adherencia entre asfalto y agregado.
 - Utilización de agregados finos contaminados o agregados muy absorbentes.
 - Lluvia entre la aplicación o durante el fraguado del ligante asfáltico.
 - Endurecimiento excesivo del asfalto.
 - Insuficiente compactación de la carpeta asfáltica (INVIAS, 2006).
- Niveles de severidad:
 - **Bajo:** Pérdidas aisladas, el agregado grueso presenta desprendimiento y se observa agujeros cuya separación mayor a 0.15 m.
 - **Medio:** Pérdidas continuas, presenta mayor separación de agregado, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.
 - **Alto:** Pérdidas generalizadas y muy marcadas, se presenta un desprendimiento extensivo de agregados tanto finos como gruesos con separaciones menores a 0.05 m, causando una superficie muy rugosa y se muestran los agregados sueltos (INVIAS, 2006).
- Probable evolución:

Descascaramiento, aumento de la permeabilidad en la estructura del pavimento, exudación (INVIAS, 2006).

Tabla 50

Unidades y símbolos pérdida de agregado.

Tipo	Símbolo	Unidad de medida
Pérdida de agregado	PA	Longitud en metros del carril afectado (ml).

Nota: Recuperado de Higuera Sandoval (2015).

Figura 43

Pérdida de agregado en vía Santo Domingo – 10 de agosto.

**Figura 44**

Pérdida de agregado en vía Santo Domingo – 10 de agosto



3.1 Resumen de afectación por daño del pavimento.

Tabla 51

Afectación de daños 1+500 Km hasta 2+000 Km

Tramo	Área de afectación según el tipo de daño en el pavimento (m2)																TOTAL (m2)
	Abscisa		Fisuras							Def.	Pérdida de la capa estructural			Daños superficiales			
	Desde	Hasta	Fisura Longitudinal	Fisura Transversal	Fisura en junta de construcción	Fisura de borde	Piel en bloque	Piel de cocodrilo	Fisura incipiente	Hundimiento	Descascaramiento	Baches	Parche	Pérdida de agregado	Pulimiento de agregado		
T1	1+500	1+520	3,20	3,75	6,00	4,45	4,85	8,25	6,50	8,25	4,95	6,90	9,45	4,85	2,90	74,3	
T2	1+520	1+540	2,05	2,40	3,80	2,85	3,10	5,25	4,15	5,25	3,15	4,40	6,00	3,10	1,85	47,4	
T3	1+540	1+560	1,90	2,20	3,55	2,65	2,85	4,80	3,85	4,85	2,90	4,05	5,55	2,85	1,70	43,7	
T4	1+560	1+580	1,50	1,75	3,75	2,10	2,25	3,85	3,05	3,85	2,30	3,20	4,40	2,25	1,35	35,6	
T5	1+580	1+600	2,15	2,50	4,00	3,00	3,25	4,50	4,35	5,50	3,30	4,60	6,30	3,25	1,95	48,7	
T6	1+600	1+620	1,20	1,40	2,25	1,65	1,80	3,10	2,45	3,05	1,80	2,60	3,50	1,80	1,10	27,7	
T7	1+620	1+640	1,40	1,60	2,60	1,95	2,10	3,60	2,85	3,60	2,15	3,00	4,10	2,10	1,25	32,3	
T8	1+640	1+660	2,00	3,35	1,70	2,70	3,00	5,10	4,05	5,10	3,05	4,30	4,85	3,00	1,80	44,0	
T9	1+660	1+680	3,10	3,60	5,75	4,30	4,65	8,00	6,30	7,90	4,75	4,65	9,10	4,65	2,75	69,5	
T10	1+680	1+700	1,90	2,20	3,55	2,65	2,90	4,85	3,85	4,85	2,90	4,05	5,55	2,85	1,70	43,8	
T11	1+700	1+720	3,60	1,75	2,80	2,10	2,25	3,85	3,05	3,75	2,30	3,20	4,40	2,25	1,35	36,6	
T12	1+720	1+740	2,20	1,05	1,70	1,25	1,35	2,30	1,85	2,30	1,40	1,90	2,65	1,35	0,80	22,1	
T13	1+740	1+760	4,00	1,40	2,25	1,65	1,80	3,10	2,45	3,05	1,85	2,50	3,50	1,80	1,10	30,5	
T14	1+760	1+780	3,20	1,50	2,40	1,80	2,00	3,40	2,65	3,35	2,00	2,80	3,50	1,95	1,15	31,7	
T15	1+780	1+800	4,10	1,15	1,70	1,40	1,50	2,50	2,05	2,55	1,55	2,15	3,00	1,50	0,90	26,1	
T16	1+800	1+820	3,60	1,65	2,60	1,95	2,10	3,60	2,85	3,55	3,20	3,00	4,10	2,10	1,25	35,5	
T17	1+820	1+840	3,70	4,20	1,30	3,90	1,05	1,80	3,20	1,80	3,60	4,50	2,05	3,65	4,60	39,3	
T18	1+840	1+860	1,30	1,50	2,40	1,80	1,95	3,40	2,65	3,35	2,00	2,80	3,80	1,95	1,15	30,1	
T19	1+860	1+880	1,25	1,45	2,20	1,75	1,90	3,20	2,55	3,20	1,90	2,65	3,65	1,80	1,15	28,7	
T20	1+880	1+900	2,15	2,50	4,00	3,00	3,25	5,50	4,35	5,50	3,30	4,60	6,30	3,25	2,00	49,7	

Tramo	Área de afectación según el tipo de daño en el pavimento (m2)																TOTAL (m2)
	Abscisa		Fisuras						Def.	Pérdida de la capa estructural			Daños superficiales				
	Desde	Hasta	Fisura Longitudinal	Fisura Transversal	Fisura en junta de construcción	Fisura de borde	Piel en bloque	Piel de cocodrilo	Fisura incipiente	Hundimiento	Descascaramiento	Baches	Parche	Pérdida de agregado	Pulvimiento de agregado		
T21	1+900	1+920	3,15	3,65	5,85	4,35	4,75	8,05	6,40	8,05	4,85	6,75	9,25	4,75	2,85	72,7	
T22	1+920	1+940	3,50	4,05	6,50	4,90	5,30	9,00	7,10	9,00	5,35	7,50	8,25	5,25	3,15	78,8	
T23	1+940	1+960	2,60	3,00	4,83	3,65	3,90	6,65	5,30	6,65	4,00	5,60	6,65	3,90	2,35	59,1	
T24	1+960	1+980	3,40	4,00	6,30	4,75	5,15	6,70	6,70	8,70	5,20	2,35	8,45	5,10	3,05	69,9	
T25	1+980	2+000	3,10	3,60	5,75	4,40	4,60	5,60	6,30	6,20	4,75	4,65	7,10	4,65	2,80	63,5	
TOTAL			65,3	61,2	89,5	71,0	73,6	120,0	100,9	123,2	78,5	98,7	135,5	76,0	48,0	1141,1	

Tabla 52

Resumen de afectación de daño del pavimento 1+500 Km hasta 2+000 Km

Tramo	Abscisa		Área	Área afectada	Porcentaje de afectación (%)
	Desde	Hasta			
T1	1+500	1+520	206	74,3	36,1%
T2	1+520	1+540	206	47,4	23,0%
T3	1+540	1+560	206	43,7	21,2%
T4	1+560	1+580	206	35,6	17,3%
T5	1+580	1+600	206	48,7	23,6%
T6	1+600	1+620	206	27,7	13,4%
T7	1+620	1+640	206	32,3	15,7%
T8	1+640	1+660	206	44,0	21,4%
T9	1+660	1+680	206	69,5	33,7%
T10	1+680	1+700	206	43,8	21,3%
T11	1+700	1+720	206	36,6	17,8%
T12	1+720	1+740	206	22,1	10,7%

Tramo	Abscisa		Área	Área afectada	Porcentaje de afectación (%)
	Desde	Hasta			
T13	1+740	1+760	206	30,5	14,8%
T14	1+760	1+780	206	31,7	15,4%
T15	1+780	1+800	206	26,1	12,6%
T16	1+800	1+820	206	35,5	17,3%
T17	1+820	1+840	206	39,3	19,1%
T18	1+840	1+860	206	30,1	14,6%
T19	1+860	1+880	206	28,7	13,9%
T20	1+880	1+900	206	49,7	24,1%
T21	1+900	1+920	206	72,7	35,3%
T22	1+920	1+940	206	78,8	38,3%
T23	1+940	1+960	206	59,1	28,7%
T24	1+960	1+980	206	69,9	33,9%
T25	1+980	2+000	206	63,5	30,8%
Promedio:					22.20%

Se pudo encontrar un porcentaje de afectación promedio de 22.20% en los 500 metros de estudio.

Tabla 53

Afectación de daños 2+000 Km hasta 2+500 Km

Tramo	Área de afectación según el tipo de daño en el pavimento (m2)																TOTAL (m2)
	Abscisa		Fisuras							Def.		Pérdida de la capa estructural			Daños superficiales		
	Desde	Hasta	Fisura Longitudinal	Fisura Transversal	Fisura en junta de construcción	Fisura de borde	Piel en bloque	Piel de cocodrilo	Fisura incipiente	Hundimiento	Descascaramiento	Baches	Parche	Pérdida de agregado	Pulimiento de agregado		
T1	2+000	2+020	2,90	3,75	5,65	4,85	5,30	7,10	2,50	5,30	3,25	5,15	3,90	7,90	2,60	60,1	
T2	2+020	2+040	1,85	2,40	3,60	3,10	3,35	4,30	3,00	7,85	7,05	5,60	4,25	5,00	6,00	57,3	
T3	2+040	2+060	1,70	2,25	3,35	2,85	3,10	4,20	4,30	7,30	6,55	5,12	7,65	4,65	5,85	58,9	
T4	2+060	2+080	1,35	1,75	2,65	2,25	2,45	3,30	2,10	5,75	5,20	4,10	6,05	3,65	4,60	45,2	
T5	2+080	2+100	1,95	2,50	3,75	3,25	3,50	4,75	4,30	8,25	7,40	4,90	8,60	5,30	6,60	65,1	
T6	2+100	2+120	1,05	1,40	2,10	1,80	1,90	2,65	2,60	3,50	4,15	3,25	4,80	2,95	3,65	35,8	
T7	2+120	2+140	1,25	1,65	2,45	2,10	2,30	3,10	3,10	5,30	4,85	3,00	5,65	3,45	4,30	42,5	
T8	2+140	2+160	1,80	2,35	3,50	3,05	3,25	4,45	4,10	7,20	6,90	5,45	8,05	4,90	6,10	61,1	
T9	2+160	2+180	2,80	2,65	5,45	4,65	5,10	6,75	7,00	5,90	7,25	8,45	7,50	7,60	9,50	80,6	
T10	2+180	2+200	1,70	2,20	3,30	2,85	3,10	4,20	4,20	5,10	6,55	5,20	7,65	4,65	5,85	56,5	
T11	2+200	2+220	1,35	1,75	2,65	2,25	2,45	3,30	3,30	5,75	5,20	4,10	6,05	3,65	4,60	46,4	
T12	2+220	2+240	0,80	1,05	1,55	1,35	1,45	2,00	2,05	3,45	3,10	2,45	3,65	2,20	2,75	27,9	
T13	2+240	2+260	1,05	1,40	2,10	1,80	1,90	2,65	2,60	4,60	4,15	3,25	4,85	2,95	3,65	37,0	
T14	2+260	2+280	1,15	1,50	2,30	1,95	2,15	2,75	2,05	4,95	4,50	3,55	5,25	3,20	4,00	39,3	
T15	2+280	2+300	0,90	1,15	1,75	1,50	1,65	2,20	2,25	3,85	3,45	2,75	4,05	2,45	3,05	31,0	
T16	2+300	2+320	1,25	1,65	2,45	2,10	2,30	3,10	3,15	5,35	4,50	3,45	5,65	3,45	4,30	42,7	
T17	2+320	2+340	0,65	0,85	1,25	1,05	1,15	1,55	1,50	2,70	2,45	1,90	2,70	1,75	2,15	21,6	
T18	2+340	2+360	1,15	1,50	2,30	1,95	2,15	2,85	2,90	4,95	4,50	3,55	4,25	3,20	4,00	39,3	
T19	2+360	2+380	1,15	1,45	2,20	1,80	2,05	2,75	2,80	3,25	4,30	3,15	3,25	3,05	3,65	34,9	
T20	2+380	2+400	1,95	2,50	3,75	3,25	3,50	4,95	4,10	4,65	7,45	3,50	8,10	5,30	4,40	57,4	
T21	2+400	2+420	2,85	3,70	5,55	4,75	5,15	5,90	2,05	6,15	6,30	2,60	4,25	4,95	6,25	60,5	
T22	2+420	2+440	3,15	4,10	6,15	5,30	5,75	7,75	7,70	6,60	5,60	4,30	4,50	3,20	2,50	66,6	
T23	2+440	2+460	2,35	3,05	4,55	3,90	4,25	5,75	4,80	8,80	6,10	7,10	6,25	3,50	3,30	63,7	
T24	2+460	2+480	3,05	3,95	5,40	5,12	5,60	7,50	5,30	6,90	5,90	5,50	4,30	4,65	4,50	67,7	

Abscisa		Área de afectación según el tipo de daño en el pavimento (m2)														TOTAL (m2)
		Fisuras						Def.	Pérdida de la capa estructural			Daños superficiales				
Tramo	Desde	Hasta	Fisura Longitudinal	Fisura Transversal	Fisura en junta de construcción	Fisura de borde	Piel en bloque	Piel de cocodrilo	Fisura incipiente	Hundimiento	Descascaramiento	Baches	Parche	Pérdida de agregado	Pulvimiento de agregado	
T25	2+480	2+500	2,80	3,65	4,50	4,70	5,10	6,70	6,10	7,65	6,20	4,75	7,95	5,95	6,15	72,2
TOTAL			43,9	56,2	84,2	73,5	79,9	106,5	89,9	141,1	132,9	106,1	139,2	103,5	114,3	1271,1

Tabla 54

Resumen de afectación de daño del pavimento 2+000 Km hasta 2+500 Km

Tramo	Abscisa		Área	Área afectada	Porcentaje de afectación (%)
	Desde	Hasta			
T1	2+000	2+020	206	60,1	29,2%
T2	2+020	2+040	206	57,3	27,8%
T3	2+040	2+060	206	58,9	28,6%
T4	2+060	2+080	206	45,2	21,9%
T5	2+080	2+100	206	65,1	31,6%
T6	2+100	2+120	206	35,8	17,4%
T7	2+120	2+140	206	42,5	20,6%
T8	2+140	2+160	206	61,1	29,7%
T9	2+160	2+180	206	80,6	39,1%
T10	2+180	2+200	206	56,5	27,5%
T11	2+200	2+220	206	46,4	22,5%
T12	2+220	2+240	206	27,9	13,5%
T13	2+240	2+260	206	37,0	17,9%
T14	2+260	2+280	206	39,3	19,1%
T15	2+280	2+300	206	31,0	15,0%
T16	2+300	2+320	206	42,7	20,7%
T17	2+320	2+340	206	21,6	10,5%

Tramo	Abscisa		Área	Área afectada	Porcentaje de afectación (%)
	Desde	Hasta			
T18	2+340	2+360	206	39,3	19,1%
T19	2+360	2+380	206	34,9	16,9%
T20	2+380	2+400	206	57,4	27,9%
T21	2+400	2+420	206	60,5	29,3%
T22	2+420	2+440	206	66,6	32,3%
T23	2+440	2+460	206	63,7	30,9%
T24	2+460	2+480	206	67,7	32,8%
T25	2+480	2+500	206	72,2	35,0%
Promedio:					24.70%

Se pudo encontrar un porcentaje de afectación promedio de 24.70% en los 500 metros de estudio.

Tabla 55

Afectación de daños 2+500 Km hasta 3+000 Km

Tramo	Abscisa		Área de afectación según el tipo de daño en el pavimento (m2)														TOTAL (m2)
	Desde	Hasta	Fisuras				Def.	Pérdida de la capa estructural			Daños superficiales						
			Fisura Longitudinal	Fisura Transversal	Fisura en junta de construcción	Fisura de borde	Piel en bloque	Piel de cocodrilo	Fisura incipiente	Hundimiento	Descascaramiento	Baches	Parche	Pérdida de agregado	Pulvimiento de agregado		
T1	2+500	2+520	3,85	4,65	5,50	5,50	4,60	6,60	7,00	9,60	4,30	6,15	11,00	10,25	12,55	91,6	
T2	2+520	2+540	2,45	2,95	3,55	3,50	3,50	4,25	5,10	6,15	3,50	6,50	7,35	10,58	11,50	70,9	
T3	2+540	2+560	2,30	2,75	3,30	3,30	3,30	3,95	3,75	5,65	6,20	4,50	7,00	9,80	10,20	66,0	
T4	2+560	2+580	1,80	2,15	2,60	2,60	2,60	3,10	2,80	4,45	5,35	5,45	5,60	7,75	9,30	55,6	
T5	2+580	2+600	2,55	3,10	3,75	3,75	3,75	4,45	5,35	6,45	4,35	6,30	7,70	11,10	10,90	73,5	
T6	2+600	2+620	1,45	1,75	2,05	2,05	2,05	2,50	3,00	3,55	4,30	5,15	4,30	6,20	7,45	45,8	
T7	2+620	2+640	1,65	2,05	2,45	2,40	2,45	2,90	3,45	4,20	5,05	6,00	6,00	7,25	8,65	54,5	
T8	2+640	2+660	2,40	2,80	3,45	3,45	3,45	4,15	4,50	4,85	6,15	7,05	7,20	9,25	9,65	68,3	

Tramo	Área de afectación según el tipo de daño en el pavimento (m2)																TOTAL (m2)
	Abscisa		Fisuras							Def.	Pérdida de la capa estructural			Daños superficiales			
	Desde	Hasta	Fisura Longitudinal	Fisura Transversal	Fisura en junta de construcción	Fisura de borde	Piel en bloque	Piel de cocodrilo	Fisura incipiente	Hundimiento	Descascaramiento	Baches	Parche	Pérdida de agregado	Pulimiento de agregado		
T9	2+660	2+680	3,70	4,45	5,30	5,35	5,35	6,45	7,70	6,35	3,55	9,60	11,11	16,00	14,15	99,1	
T10	2+680	2+700	2,20	2,75	3,30	3,30	3,30	3,50	4,75	5,60	6,70	8,15	6,50	9,80	11,75	71,6	
T11	2+700	2+720	1,80	2,15	2,60	2,60	2,60	3,10	3,75	4,40	5,40	6,45	5,50	6,75	9,30	56,4	
T12	2+720	2+740	1,10	1,30	1,55	1,50	1,55	1,80	2,25	2,70	3,20	3,85	3,60	4,65	5,60	34,6	
T13	2+740	2+760	1,45	1,75	2,05	2,05	2,05	2,40	3,00	3,50	4,30	5,15	4,30	6,20	7,50	45,7	
T14	2+760	2+780	1,55	1,85	2,25	2,25	2,25	2,70	3,25	2,60	3,90	3,60	4,20	7,05	8,05	45,5	
T15	2+780	2+800	1,20	1,40	1,75	1,75	1,75	2,07	2,50	3,00	3,60	4,30	3,58	5,15	6,70	38,8	
T16	2+800	2+820	1,65	2,00	2,45	2,45	2,45	2,90	3,45	4,20	5,05	6,05	5,05	7,20	8,65	53,6	
T17	2+820	2+840	0,85	1,05	1,20	1,20	1,20	1,45	1,75	2,10	2,50	3,00	2,50	3,65	4,50	27,0	
T18	2+840	2+860	1,50	1,85	2,25	2,25	2,25	2,70	3,25	3,80	4,65	5,60	4,65	6,70	8,05	49,5	
T19	2+860	2+880	1,50	1,80	2,15	2,15	2,10	2,60	3,10	3,75	4,45	4,30	4,50	6,45	7,75	46,6	
T20	2+880	2+900	2,50	3,10	3,75	3,70	3,70	4,45	5,35	4,95	7,70	6,10	7,70	9,85	12,65	75,5	
T21	2+900	2+920	3,70	4,55	5,45	5,30	5,40	6,50	7,85	5,15	7,25	5,70	9,50	11,25	13,50	91,1	
T22	2+920	2+940	3,20	5,05	6,05	6,05	6,05	5,10	8,7ç	6,60	4,50	7,45	7,65	14,02	12,50	84,2	
T23	2+940	2+960	3,10	3,75	4,50	4,50	4,45	3,15	6,45	7,75	4,55	6,95	9,32	13,00	9,85	81,3	
T24	2+960	2+980	4,05	4,90	5,50	5,80	5,50	3,40	7,50	9,10	6,75	4,50	10,50	9,75	14,05	91,3	
T25	2+980	3+000	3,70	4,45	6,05	5,40	5,35	5,20	7,10	4,60	9,10	6,70	8,65	16,00	12,95	95,2	
TOTAL			57,2	70,3	84,8	84,1	83,0	91,4	108,0	125,1	126,4	144,5	165,0	225,6	247,7	1613,1	

Tabla 56*Resumen de afectación de daño del pavimento 2+500 Km hasta 3+000 Km*

Tramo	Abscisa		Área	Área afectada	Porcentaje de afectación (%)
	Desde	Hasta			
T1	2+500	2+520	206	91,6	44,4%
T2	2+520	2+540	206	70,9	34,4%
T3	2+540	2+560	206	66,0	32,0%
T4	2+560	2+580	206	55,6	27,0%
T5	2+580	2+600	206	73,5	35,7%
T6	2+600	2+620	206	45,8	22,2%
T7	2+620	2+640	206	54,5	26,5%
T8	2+640	2+660	206	68,3	33,2%
T9	2+660	2+680	206	99,1	48,1%
T10	2+680	2+700	206	71,6	34,8%
T11	2+700	2+720	206	56,4	27,4%
T12	2+720	2+740	206	34,6	16,8%
T13	2+740	2+760	206	45,7	22,2%
T14	2+760	2+780	206	45,5	22,1%
T15	2+780	2+800	206	38,8	18,8%
T16	2+800	2+820	206	53,6	26,0%
T17	2+820	2+840	206	27,0	13,1%
T18	2+840	2+860	206	49,5	24,0%
T19	2+860	2+880	206	46,6	22,6%
T20	2+880	2+900	206	75,5	36,7%
T21	2+900	2+920	206	91,1	44,2%
T22	2+920	2+940	206	84,2	40,9%
T23	2+940	2+960	206	81,3	39,5%
T24	2+960	2+980	206	91,3	44,3%
T25	2+980	3+000	206	95,2	46,2%
Promedio:					31.10%

Se pudo encontrar un porcentaje de afectación promedio de 31.10% en los 500 metros de estudio.

Tabla 57*Área afectada según el tipo de daño*

	Área de afectación según el tipo de daño en el pavimento	Área Afectada (m ²)
Fisuras	Fisura Longitudinal	166,39
	Fisura Transversal	187,69
	Fisura en junta de construcción	258,57
	Fisura de borde	228,62
	Piel en bloque	236,55
	Piel de cocodrilo	317,83
	Fisura incipiente	307,36
Deformación	Hundimiento	389,30
Pérdida de la capa estructural	Descascaramiento	337,69
	Baches	349,38
	Parche	439,56
Daños superficiales	Pérdida de agregado	405,10
	Pulimiento de agregado	410,00

Tabla 58*Resumen total área afectada*

Área total afectada:	4034,04 m ²
Área total:	15450 m ²
Porcentaje de área afectada:	26,11%

El promedio de afectaciones en el pavimento en todo el tramo de vía desde 1+500 Km hasta 3+000 Km es de 26.11%,

Evaluación estructural de pavimento flexible del corredor vial Santo Domingo – 10 de agosto del tramo km 1+500 hasta el km 3+000.

Según Gaete (2012) el objetivo de la evaluación estructural del pavimento es la cuantificación de la capacidad estructural remanente del pavimento. La baja capacidad estructural de un pavimento, ocasiona en el mismo un deterioro continuo que se muestra en niveles exorbitantes de deformaciones y agrietamientos.

Para el estudio de la estructura del pavimento se realizó calicatas, con la finalidad de obtener una visualización directa de las diferentes capas del pavimento, además de obtener información detallada de cómo se encuentra constituido el pavimento y tomar muestras del material para realizar los ensayos necesarios para su caracterización.

Toma de muestras de pavimento existente

Esta evaluación se basa en la toma de muestras de manera representativa de los materiales que constituyen las capas del pavimento de la vía. En el caso de los suelos de fundación subrasante, subbase y base, este muestreo está enfocado en su identificación y caracterización de la capacidad de soporte, adicional tomar los espesores de las diferentes capas y sus propias condiciones en el tramo de estudio (Arias, 2016).

Calicatas. - se refiere a excavaciones de sección cuadrada, mediante el empleo de picos, barras, palas, etc., presentan profundidades entre 1 y 1.50 m. en las cuales se realiza la medición de los espesores de las capas del pavimento, comprobar si estas cumplen lo detallado en la normativa vigente en el Ecuador MTOP-F001 en relación a: bases, subbases, subrasante y carpeta de rodadura, también obtener muestras de los materiales que comprenden las capas de la vía, que permitirá clasificación del material de cada capa, al mismo tiempo se solicita obtener una cantidad considerable de muestra, suficiente para realizar ensayos de identificación de suelos, además de los ensayos de categorización de la capacidad de soporte del suelo, conjuntamente se puede apreciar si la carpeta de rodadura mantiene su espesor en todo el tramo de vía (Ensayo Bearing Ratio - CBR) (Arias, 2016).

Según Higuera Sandoval (2015) se debe extraer las muestras a una separación promedio de 250 metros y depende de la importancia del proyecto. Se realizó 6 calicatas en el tramo de vía distanciados equitativamente, con la ayuda de personal

calificado del Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Santo Domingo (MTOPI – SD).

Figura 45

Calicata 1 abscisa 1+560



Nota: Obreros del Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo (MTOPI – SD) realizando calicata en la vía Santo Domingo – 10 de agosto.

Figura 46

Calicata 1 toma de muestras y medición de capas



Nota: Calicata en zona de estudio, se puede apreciar el material granular del que está compuesta.

Figura 47

Calicata 2 abscisa 1+850



Nota: Obreros del Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo (MTOB – SD) realizando calicata en la vía Santo Domingo – 10 de agosto.

Figura 48

Calicata 2 toma de muestras



Figura 49

Calicata 3 abscisa 2+020



Nota: Obreros del Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo (MTOB – SD) realizando calicata en la vía Santo Domingo – 10 de agosto.

Figura 50

Calicata 3 medidas de capa



Nota: Toma de medidas de capas del pavimento.

Figura 51

Calicata 4 abscisa 2+240



Nota: Obreros del Ministerio de Transportes y Obras Públicas Santo Domingo (MTOB – SD) realizando calicata en la vía Santo Domingo – 10 de agosto.

Figura 52

Calicata 4 toma de muestras



Nota: Toma de muestras de calicata.

Figura 53

Calicata 5 abscisa 2+530

**Figura 54**

Calicata 5 toma de muestras



Figura 55*Calicata 6 abscisa 2+940*

El Ministerio de Transportes Obras Públicas de Santo Domingo (MTOP – SD) supo informar los espesores de las capas de pavimento colocados en el tramo de la vía de estudio y al realizar una caracterización en campo de las distintas capas de la estructura del pavimento existente, se verificó los distintos espesores, teniendo como resultado los planteados a continuación:

Tabla 59*Espesores de estructura de pavimento*

Zona de estudio	Carpeta de Rodadura (cm)	Base (cm)	Sub base (cm)
Calicata 1 Abscisa 1+560	8	15	25
Calicata 2 Abscisa 1+850	8	15	25
Calicata 3 Abscisa 2+020	8	15	25
Calicata 4 Abscisa 2+240	8	15	25
Calicata 5 Abscisa 2+530	8	15	25
Calicata 6 Abscisa 2+940	8	15	25

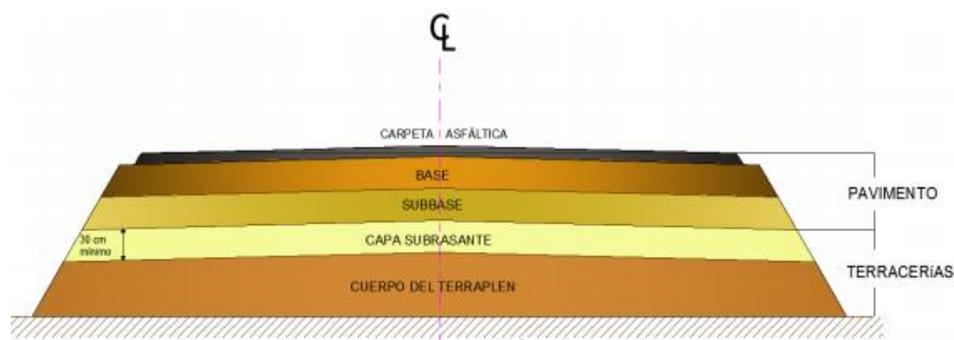
Nota: Espesores tomados in situ.

Estructura de pavimento flexible

Un pavimento se conforma de un conjunto de capas sobrepuestas, enteramente horizontales que son diseñadas y edificadas con los materiales adecuados y compactados correctamente. La estructura se asienta sobre la subrasante, este puede ser el terreno natural o material mejorado, este resiste los esfuerzos dinámicos del tráfico vehicular que transitan dentro del periodo de diseño (Anguas et al., 2002).

Figura 56

Sección transversal de estructura de pavimento flexible



Nota: Recuperado de Rito (2016).

Sub rasante

La sub rasante es el suelo de fundación de la estructura de pavimento, depende de las características del de suelo existente esta se puede modificar a una sub rasante con mejoramiento, pudiéndose ser mejorada con sustitución del material, estabilizar con cemento, cal o el uso de aditivos químicos, en algunos proyectos podría ser necesario una capa nueva colocada sobre la sub rasante existente. Esta disyuntiva será determinada mediante un análisis técnico – económico comparativo. Es recomendable que al existir sub rasantes dentro de la clasificación de pobres ($CBR < 6\%$), se recomienda proceder a retirar el material no adecuado para por consiguiente alojar un material granular que remplace a este, con un $CBR > 10\%$, además con un índice de plasticidad menor o igual 9 y con un límite líquido hasta el 35 %. (Correa, 2018)

Sub base granular

Con respecto a las sub bases de clase 1,2,3 estas no tendrán un valor de CBR menor de 30%, deberá cumplir con un coeficiente de desgaste de 50% encontrado con el ensayo de abrasión, el material que pasa el tamiz 40, debe cumplir con un índice de plasticidad menor a 6 y cumplir con un límite líquido máximo de 25. Es imprescindible cumplir y adoptar la clase de sub base según las especificaciones, debido a que cada clase de sub base comprende distintas características de penetrabilidad, resistencia y compactación (Correa, 2018; MOP-F-001, 2002)

Adicional a las condiciones mencionadas en el párrafo presidente, se deberá satisfacer con la siguiente granulometría para las diferentes clases de sub base mencionadas:

Tabla 60

Granulometría de subbases

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
3" (76.2 mm.)	-	-	100
2" (50.4 mm.)	-	100	-
1 1/2 (38.1 mm.)	100	70 - 100	-
Nº 4 (4.75 mm.)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 35	15 - 40	-
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Notas: Recuperado de MOP-F-001 (2002)

Base

Esta capa se clasifica en clase 1,2,3 y 4, las mismas que deben tener un CBR mayor o igual al 80%, a continuación, se presenta la clase de base necesaria según el tráfico promedio diario anual:

Tabla 61*Especificaciones de las bases granulares*

Tipo de Base	Tipo de carretera	Número de carriles	TPDA
Base Clase I	Para uso principalmente en aeropuertos y carreteras con intenso tráfico	8 a 12	>50,000
Base Clase II	Carreteras de 2 hasta 6 carriles, con un ancho mínimo de 3.65 m incluye franja central de 2 a 4 m	2 a 6	8,000 - 50,000
Base Clase III	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de tráfico	2 a 4	1,000 - 8,000
Base Clase III	Caminos vecinales	2	<1,000

Nota: Recuperado de MOP-F-001 (2002).

De igual forma a continuación se presenta la granulometría necesaria para ser clasificada en cada clase, según el porcentaje pasante de cada tamiz de malla cuadrada:

Tabla 62*Tamices de malla cuadrada para base clase I*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50.8 mm.)	100	--
1 1/2" (38.1mm.)	70 - 100	100
1" (25.4 mm.)	55 - 85	70 - 100
3/4"(19.0 mm.)	50 - 80	60 - 90
3/8"(9.5 mm.)	35 - 60	45 - 75
Nº 4 (4.76 mm.)	25 - 50	30 - 60
Nº 10 (2.00 mm.)	20 - 40	20 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 25	10 - 25
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 12	2 - 12

Nota: Recuperado de MOP-F-001 (2002).

Tabla 63*Tamices de malla cuadrada para base clase II*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm.)	100
3/4"(19.0 mm.)	70 - 100
3/8"(9.5 mm.)	50 - 80
Nº 4 (4.76 mm.)	35 - 65
Nº 10 (2.00 mm.)	25 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	15 - 30
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

*Nota: Recuperado de MOP-F-001 (2002).***Tabla 64***Tamices de malla cuadrada para base clase III*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4"(19.0 mm.)	100
Nº 4 (4.76 mm.)	45 - 80
Nº 10 (2.00 mm.)	30 - 60
Nº 40 (0.425 mm.)	20 - 35
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

*Nota: Recuperado de MOP-F-001 (2002).***Tabla 65***Tamices de malla cuadrada para base clase IV*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2" (50.8 mm.)	100
1" (25.4 mm.)	60 - 90
Nº 4 (4.76 mm.)	20 - 50
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15

Nota: Recuperado de MOP-F-001 (2002).

Caracterización de material granular

La caracterización se realiza para: percibir los materiales y espesores de las capas de pavimento, separar muestras alteradas para clasificar los materiales existentes, clasificar el material de la subrasante y obtener valores de la resistencia de la subrasante (Higuera Sandoval, 2015).

Para desarrollar la caracterización del material existente en el tramo vial de estudio, se extrajo cerca de 7000 gr de material granular, por cada punto realizado, los ensayos ejecutados de laboratorio para la caracterización del material, que se realizaron para las muestras de suelo tomadas en las diferentes calicatas son:

- Granulometría de los materiales.
- Humedad natural.
- Límites de Attemberg.
- Peso específico.
- CBR inalterado.

Ensayo granulométrico de material granular (ASTM D 422)

El proceso de caracterización se utilizó la normativa ASTM D 422 para granulometría de material granular. La normativa especifica el procedimiento para identificar la gradación del material que son usados como agregados, Esta clasificación nos permite reconocer la distribución de las partículas según el tamaño y caracterizar el material (Quintana & Almeida, 2019).

Equipos y materiales:

- Muestra de suelo.
- Balanza de precisión de 0.10 gr.
- Tamices de malla cuadrada 3", 2", 1 1/2", N° 4, N° 40 N° 200.
- Tamizadora mecánica.

- Bandeja metálica.
- Horno a temperatura $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$).

Procedimiento:

1. Posteriormente a obtener la muestra in situ, se procede a reducirla al tamaño necesitado para el ensayo y colocamos en una bandeja.
2. Se pesa en la balanza la muestra, de peso mínimo de aproximadamente 7 kg.
3. Ingresar al horno durante 24 horas, a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Extraer la muestra del horno y dejar enfriar para posteriormente pesar la muestra seca.
5. Ordenar los tamices en orden ascendente desde: bandeja, N° 200, N° 40, N° 10, N° 4, 3/8", 3/4", 1", estos deben estar limpios.
6. Se coloca firmemente los tamices en la tamizadora mecánica.
7. Se coloca con cuidado la muestra en el tamiz superior, sin que se pierda parte de la muestra.
8. Se ajusta firmemente los tamices y se enciende el tamizador mecánico por 5 minutos.
9. Se espera que el material se asiente y se pesa el material de cada tamiz.
10. El material retenido en el tamiz N° 200 y el de la bandeja se guarda para el ensayo correspondiente.
11. Si la suma de masas retenidas en los tamices difiere en un promedio de más del 0.50% se debe dar como rechazado el ensayo.

Figura 57

Posición de los tamices.



Nota: Tamices ordenados de en orden ascendente desde la bandeja, N° 200, N° 40, N° 10, N° 4, 3/8", 3/4", 1".

Figura 58

Agitador mecánico



Nota: Agitador mecánico usado para tamizar las muestras.

Figura 59

Separación de las muestras.



Nota: Muestras clasificadas según su tamaño luego de tomar su peso.

Se realizó el ensayo en 3 profundidades, 0.00 – 0.20, 0.20 – 0.60 y a 1 metro, a continuación, se presenta los resultados de los ensayos en la Calicata 1 (Para los resultados de los ensayos de granulometría de las calicatas 2, 3, 4, 5 y 6 véase el ANEXO A).

- Calicata 1 Abscisa 1+560

Granulometría de la Base

Profundidad: 0.00 – 0.20 m.

Tabla 66

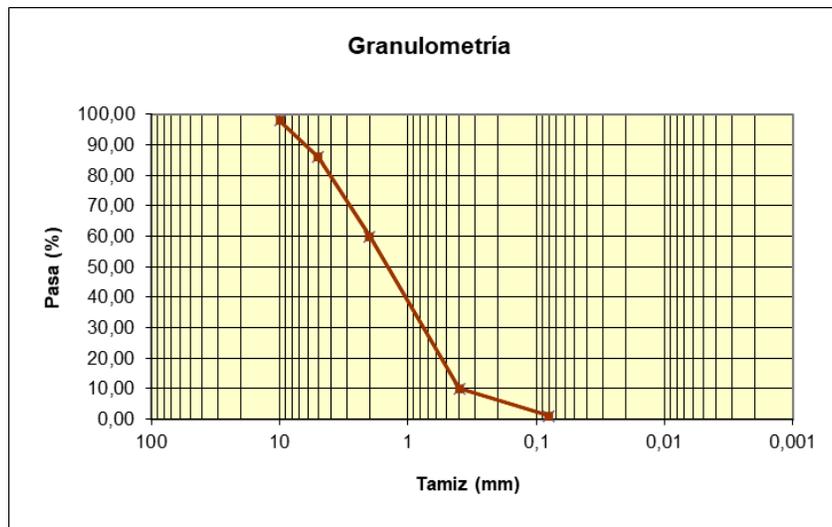
Granulometría base calicata 1 abscisa 1+560

No de Tamiz	Diámetro tamiz (mm.)	Peso Retenido (g.)	Peso retenido acumulado (g.)	%Retenido acumulado (%)	% Material que pasa (%)
Nº 3/8''	9,525	124,40	124,40	2	98
Nº 4	4,75	592,60	717,00	14	86
Nº 10	2	1302,20	2019,20	40	60
Nº 40	0,425	2474,80	4494,00	90	10
Nº 200	0,075	431,50	4925,50	99	1
Pasante 200		70,50	4996,00	100	0

Masa retenida:	4996	g.
Grava:	14%	
Arena:	84%	
Finos:	1%	
Tamaño máximo nominal:	Nº 4	
Pasa tamiz Nº 4 (5mm):	86,00	%
Pasa tamiz Nº 200 (0,080 mm):	1,00	%
D60:	2,00	mm
D30:	1,04	mm
D10 (diámetro efectivo):	0,40	mm
Coeficiente de uniformidad (Cu):	5,00	
Grado de curvatura (Cc):	1,35	

Figura 60

Curva granulométrica base calicata 1 abscisa 1+560



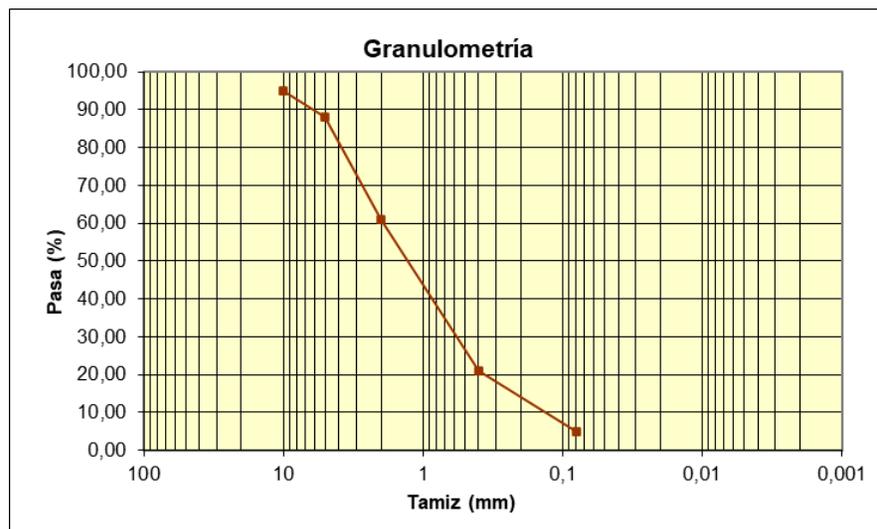
- Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)
 - Arena mal graduada (SP).

Granulometría de la Sub Base

Profundidad: 0.20 – 0.60 m.

Tabla 67*Granulometría sub base calicata 1 abscisa 1+560*

No de Tamiz	Diámetro tamiz (mm.)	Peso Retenido (g.)	Peso retenido acumulado (g.)	%Retenido acumulado (%)	% Material que pasa (%)
Nº 3/8''	9,525	236,20	236,20	5	95
Nº 4	4,75	369,50	605,70	12	88
Nº 10	2	1365,70	1971,40	39	61
Nº 40	0,425	1987,60	3959,00	79	21
Nº 200	0,075	796,20	4755,20	95	5
Pasante 200		240,10	4995,30	100	0
Masa retenida:		4995,3	g.		
Grava:	12%				
Arena:	83%				
Finos:	5%				
Tamaño máximo nominal:	Nº 4				
Pasa tamiz Nº 4 (5mm):			88,00	%	
Pasa tamiz Nº 200 (0,080 mm):			5,00	%	
D60:			1,96	mm	
D30:			0,76	mm	
D10 (diámetro efectivo):			0,18	mm	
Coefficiente de uniformidad (Cu):			10,89		
Grado de curvatura (Cc):			1,64		

Figura 61*Curva granulométrica sub base calicata 1 abscisa 1+560*

- Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)
 - Arena bien graduada con limo (SW).

Granulometría de la sub rasante

Profundidad: 1 m.

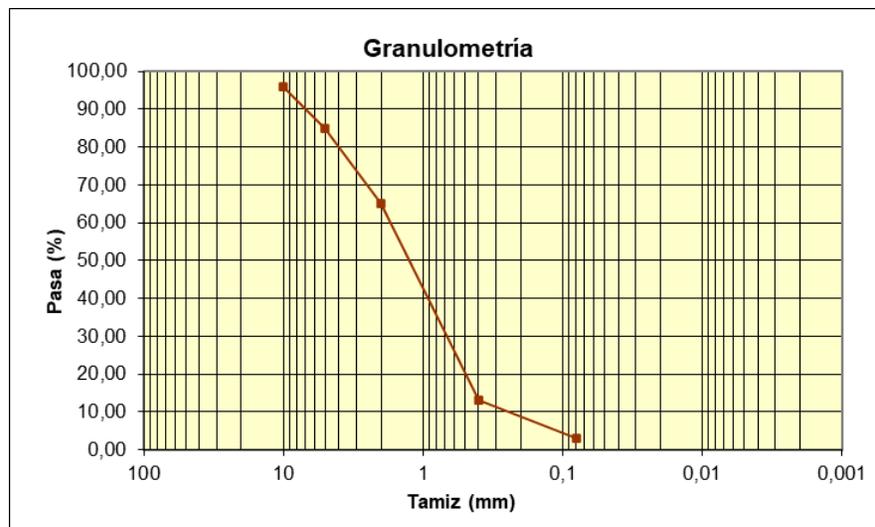
Tabla 68

Granulometría sub rasante calicata 1 abscisa 1+560

No de Tamiz	Diámetro tamiz (mm.)	Peso Retenido (g.)	Peso retenido acumulado (g.)	%Retenido acumulado (%)	% Material que pasa (%)
Nº 3/8''	9,525	180,10	180,10	4	96
Nº 4	4,75	584,90	765,00	15	85
Nº 10	2	1002,30	1767,30	35	65
Nº 40	0,425	2555,70	4323,00	87	13
Nº 200	0,075	518,90	4841,90	97	3
Pasante 200		150,10	4992,00	100	0
Masa retenida:		4992	g.		
Grava:	15%				
Arena:	82%				
Finos:	3%				
Tamaño máximo nominal:	Nº 4				
Pasa tamiz Nº 4 (5mm):			85,00		%
Pasa tamiz Nº 200 (0,080 mm):			3,00		%
D60:			1,85		mm
D30:			0,92		mm
D10 (diámetro efectivo):			0,30		mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):			6,07		
Grado de curvatura (Cc):			1,52		

Figura 62

Curva granulométrica sub rasante calicata 1 abscisa 1+560



- Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)
 - Arena bien graduada (SW).

Ensayo contenido de humedad (ASTM D 2216)

El contenido de humedad del suelo se lo define como la relación porcentual (%h) del peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra seca o peso de los sólidos. Para encontrar el contenido de humedad de un suelo aplicamos la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

$$W_w = W_h - W_s$$

Donde:

Ww = Peso del agua que contiene una muestra.

Ws = Peso del suelo seco.

Wh = Peso del suelo húmedo.

Equipos y materiales:

- Muestra de suelo.
- Balanza de precisión de 0.01 gr.
- Cápsulas metálicas.
- Horno a temperatura $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$).
- Pinzas.

Procedimiento:

1. Se toma una cápsula metálica, la cual debe estar completamente limpia, seca y numerada.
2. Se registra el número de cápsula metálica y peso de las cápsulas donde se colocará la muestra.
3. Se incluye la muestra a la cápsula y se registra el peso de la misma.
4. Se introduce la muestra de suelo en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar la condición de peso constante, es decir hasta que pierda la humedad que posee en un lapso de tiempo aproximado de 24 a 26 horas, si hay duda del resultado pesar la muestra en intervalos de una hora hasta que la diferencia en peso del 0.1%.
5. Una vez transcurrido el tiempo especificado, se procede a retirar la muestra del horno.
6. Se procede a pesar la muestra de suelo seco más la cápsula.
7. Finalmente, se realiza el cálculo y análisis con los datos registrados.

Figura 63

Peso de la cápsula

**Figura 64**

Peso de cápsula con muestra húmeda.



Nota: Peso de cápsula

Figura 65

Cápsulas dentro del horno.



Nota: Cápsulas dentro del horno a temperatura constante.

Figura 66

Peso de cápsula con muestra seca.



- Calicata 1 Abcisa 1+560

Se realizó el ensayo en 3 profundidades, 0.00 – 0.30, 0.40 – 0.80 y 0.80 – 1.20, a continuación, se presenta los resultados de los ensayos de humedad en la Calicata 1

(Para los resultados de los ensayos de humedad de las calicatas 2, 3, 4, 5 y 6 véase el ANEXO A).

Profundidad a partir de la sub rasante: 0.00 – 1.20

Normativa ASTM D 2216

Masa inicial: aproximadamente 10 - 13 g. por ensayo.

Tabla 69

Humedad calicata 1 abscisa 1+500

CALICATA 1				
ABSCISA		K 1 + 560		
Nº CALICATA		1		
Profundidad a partir de subrasante	(m)	0,00 - 0,30	0,40 - 0,80	0,80 - 1,20
Número de la cápsula		I -13	82 A	A 33
Peso de la cápsula	(g)	13,68	13,62	12,87
Peso de la cápsula + suelo húmedo	(g)	52,90	52,33	51,34
Peso de la cápsula + suelo seco	(g)	49,16	48,04	46,24
Peso del agua	(g)	3,74	4,29	5,10
Peso del suelo seco	(g)	35,48	34,42	33,37
Contenido de humedad	(%)	11%	12%	15%
Contenido de humedad medio	(%)		13%	

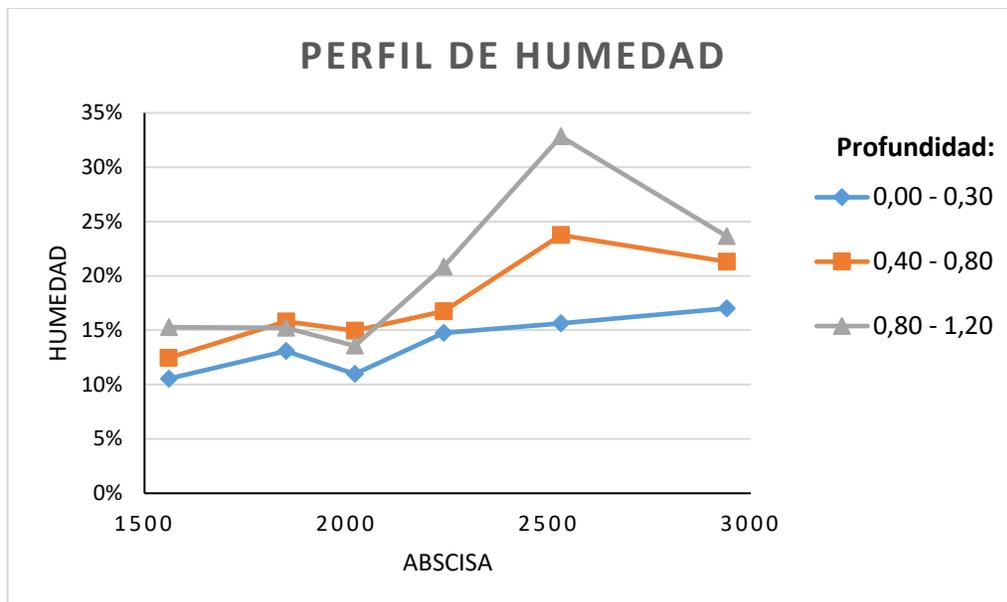
Nota: Detalles de ensayo y contenido de humedad medio.

Tabla 70

Resumen de humedades de calicatas

	Profundidad		
	0,00 - 0,30	0,40 - 0,80	0,80 - 1,20
Calicata 1	11%	12%	15%
Calicata 2	13%	16%	15%
Calicata 3	11%	15%	14%
Calicata 4	15%	17%	21%
Calicata 5	16%	24%	33%
Calicata 6	17%	21%	24%

Nota: Resultados de ensayo de humedad de las seis calicatas a diferente profundidad.

Figura 67*Perfil de humedad*

Nota: Perfil de humedades encontradas en el tramo de estudio desde el km 1+500 hasta el 3+000.

Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg o de consistencia, son ensayos elaborados en laboratorio que posibilitan obtener los límites del rango de humedad donde este se conserva en estado plástico, se plantea dos límites de capacidad de humedad: límite plástico o inferior, donde la muestra de suelo se moldea sencilla; y límite líquido o superior, donde la muestra adquiere un comportamiento de masa viscosa.

Para este ensayo de laboratorio se emplea con la muestra de suelo pasante por el tamiz N° 40, se adiciona agua según sea necesario hasta conseguir una pasta semi líquida (Haro, 2016).

- Límite líquido (LL): es el contenido de humedad de la muestra en el límite entre el estado semi líquido y plástico.

- Límite plástico (LP): es el contenido de humedad de la muestra en el límite entre el estado semi sólido y plástico.
- Índice de plasticidad (IP): se refiere a la diferencia entre los límites líquido y plástico, es el rango de humedad dentro de la muestra que se mantiene plástico.

$$P = LL - LP$$

- **Límite Líquido método de Casagrande y límite plástico (ASTM D 4318 – 84)**

Equipos y materiales:

- Máquina de Casagrande.
- Balanza de precisión de 0.01 gr.
- Acanalador.
- Espátula.
- Placa de vidrio.
- Agua destilada.
- Recipiente de porcelana.
- Cápsulas metálicas.
- Horno a temperatura $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$).

Procedimiento límite líquido:

1. Al realizar el ensayo de granulometría se apartó la muestra de suelo pasante del tamiz N° 4.
2. Esta porción de muestra se ubica en el recipiente de porcelana, se le agrega agua en una cantidad de 3 ml, se usa la espátula para realizar una mezcla homogénea.

3. Se debe colocar la máquina de Casagrande en una zona nivelada, para a continuación calibrarlo.
4. Con el uso de la espátula colocamos la muestra de suelo en la cuchara de Casagrande de manera homogénea, entre 50 y 70 g. extendiendo la superficie, cuidando de no dejar burbujas de aire dentro de la mezcla.
5. Posteriormente se divide la mezcla en dos partes realizando una ranura trapecial con el acanalador tomando como referencia el eje de simetría de la cápsula.
6. Se debe girar a manivela de manera uniforme con una rapidez de dos revoluciones por segundo, hasta que las partes se pongan en contacto en 1cm de longitud, se debe registrar el número de golpes, cuando este sea menor a 45.
7. A continuación, se debe tomar aproximadamente la 3ra parte de la muestra de la zona donde se cerró el surco, aproximadamente la tercera parte de la muestra usada, se debe colocar en las capsulas, después de pesar los respectivos recipientes, se debe dejar secar al horno para obtener el contenido de humedad.
8. Retirar el material de la máquina Casagrande en el recipiente de porcelana para a continuación revolverlo con la espátula, esto ocasiona la pérdida de humedad y se repite los puntos 4, 5 y 6, pero en esta ocasión el número de golpes debe llegar de 25 a 35.
9. Se debe repite el punto 8, hasta que el número de golpes sea de 15 a 25 y de 5 a 15.
10. Para determinar el límite líquido se grafica la curva de flujo, donde interviene el número de golpes en coordenadas logarítmicas vs el

contenido de humedad correspondiente en coordenadas normales, se debe interpolar para la humedad en la abscisa de 25 golpes.

11. Por último, se debe pesar las muestras secas en el horno.

Figura 68

Copa de Casagrande.



Figura 69

Ranura trapecial



Procedimiento límite líquido:

1. Para este ensayo se usa el material restante del ensayo de límite líquido.
2. Se toma una porción de masa, aproximadamente una bola de 1cm^3 , seguidamente se debe amasar sobre el vidrio con las yemas de los

dedos hasta formar rollos de 3 mm. de diámetro, en trozo de tamaño de 0.50 a 1 cm. Y repetir el paso 2, hasta obtener otro rollo para poder promediar los datos registrados.

3. Se colocan los rollos en una cápsula metálica, finalmente se pesa y se deja secar al horno a temperatura constante, esto para determinar el contenido de humedad.

Figura 70

Ensayo límite plástico



Nota: Peso de la muestra antes de secar al horno.

Se realizó el ensayo en 3 profundidades, 0.00 – 0.15 (Base), 0.15 – 0.40 (sub base) y 1 metro (subrasante), a continuación, se presenta los resultados de los ensayos de límites de consistencia en la Calicata 1 (Para los resultados de los ensayos de límites de consistencia de las calicatas 2, 3, 4, 5 y 6 véase el ANEXO A).

- Calicata 1 Abscisa 1+560

Masa inicial: aproximadamente 18 - 22 g. por ensayo.

Tabla 71*Limites de consistencia calicata 1*

LIMITES DE CONSISTENCIA						
METODO AASHTO T-89/90 Y STM D-423/424						
Base						
Descripción	Unid.	Límite líquido			Límite plástico	
		D30	F 5	A 16	Ee	5
Número de golpes	(u.)	12	17	50	-	-
Peso de la Cápsula	(g.)	11,05	10,81	12,99	6,05	6,18
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo	(g.)	29,15	27,84	30,09	8,32	7,39
Peso de la Cápsula + Suelo Seco	(g.)	24,44	23,97	27,22	7,95	7,21
Peso del Suelo Seco	(g.)	13,39	13,16	14,23	1,90	1,03
Peso del Agua	(g.)	4,71	3,87	2,87	0,37	0,18
Contenido de la Humedad	(%)	35,18	29,41	20,17	19,47	17,48
Contenido medio de Humedad	(%)		28,25		18,47	
Sub base						
Descripción	Unid.	Límite líquido			Límite plástico	
		A 32	E 40	F 63	D 1	17
Número de golpes	(u.)	13	19	49	-	-
Peso de la Cápsula	(g.)	11,05	10,81	12,99	8,05	9,32
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo	(g.)	29,06	27,79	30,05	11,02	12,19
Peso de la Cápsula + Suelo Seco	(g.)	24,83	24,42	27,19	10,55	11,81
Peso del Suelo Seco	(g.)	13,78	13,61	14,20	2,50	2,49
Peso del Agua	(g.)	4,23	3,37	2,86	0,47	0,38
Contenido de la Humedad	(%)	30,70	24,76	20,14	18,80	15,26
Contenido medio de Humedad	(%)		25,20		17,03	
Sub rasante						
Descripción	Unid.	Límite líquido			Límite plástico	
		A 40	F 10	A 39	E 2	E 6
Número de golpes	(u.)	10	14	48	-	-
Peso de la Cápsula	(g.)	12,18	12,56	13,68	9,85	10,02
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo	(g.)	28,39	28,35	28,24	10,22	10,73
Peso de la Cápsula + Suelo Seco	(g.)	24,92	25,69	26,19	10,18	10,65
Peso del Suelo Seco	(g.)	12,74	13,13	12,51	0,33	0,63
Peso del Agua	(g.)	3,47	2,66	2,05	0,04	0,08
Contenido de la Humedad	(%)	27,24	20,26	16,39	12,12	12,70

Contenido medio de Humedad	(%)	21,29	12,41
----------------------------	-----	-------	-------

Figura 71

Gráfica logarítmica límites de consistencia calicata 1



Nota: Curvas logarítmicas de las capas de la estructura de pavimento.

Tabla 72

Resultado límites de consistencia calicata 1

	Base	Sub base	Sub rasante	
Límite líquido (%)	: 26,83	24,57	19,63	%
Límite plástico (%)	: 18,47	17,03	12,41	%
Índice de plasticidad (%)	: 8,35	7,54	7,23	%

Figura 72

Ábaco de Casagrande calicata 1

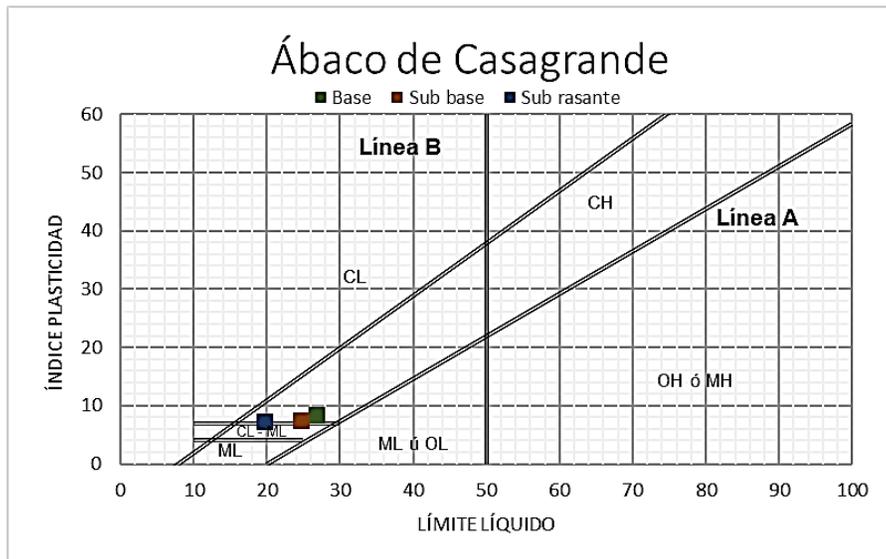


Figura 73

Clasificación AASHTO calicata 1

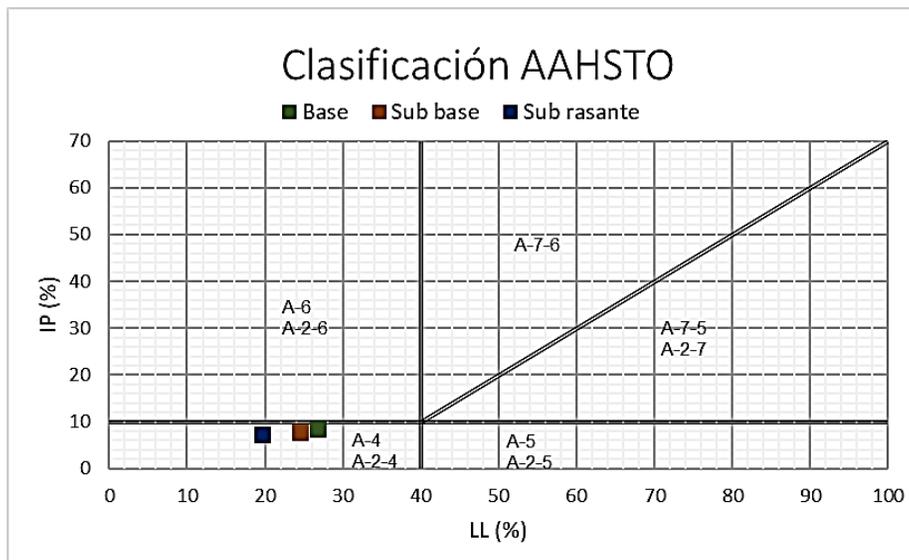


Tabla 73

Clasificación AASHTO y SUCS calicata 1

AASHTO		
Base	Sub base	Sub rasante
Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
SUCS		
Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio. Arena mal graduada SP	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena bien graduada con arcilla SW SC	Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio. Arena bien graduada SW

Figura 74

Carta de plasticidad de Base

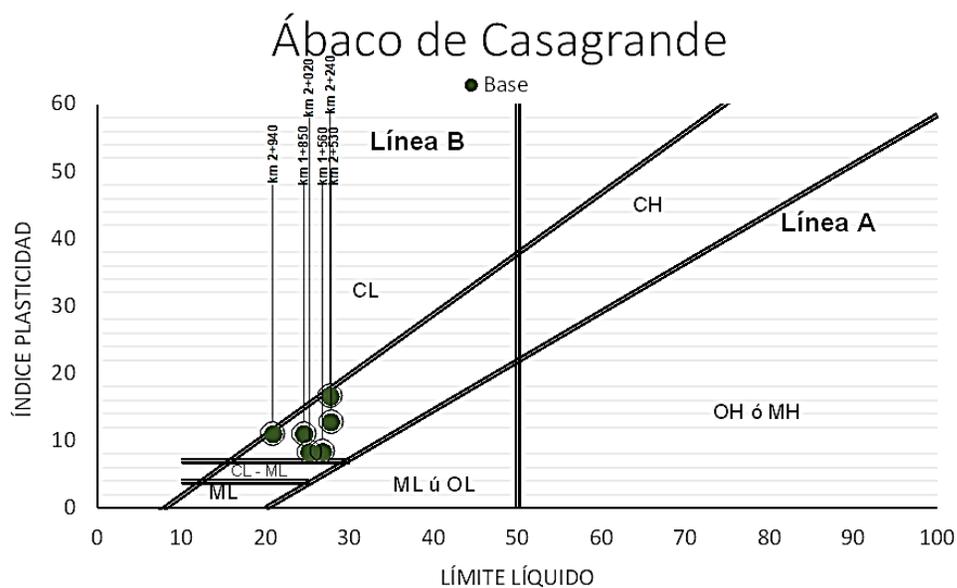


Figura 75

Carta de plasticidad sub base

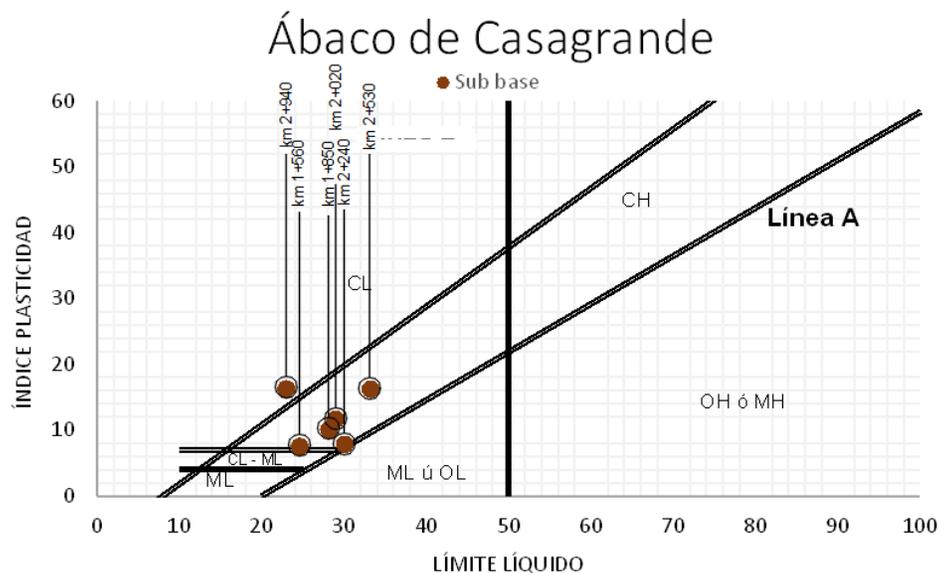
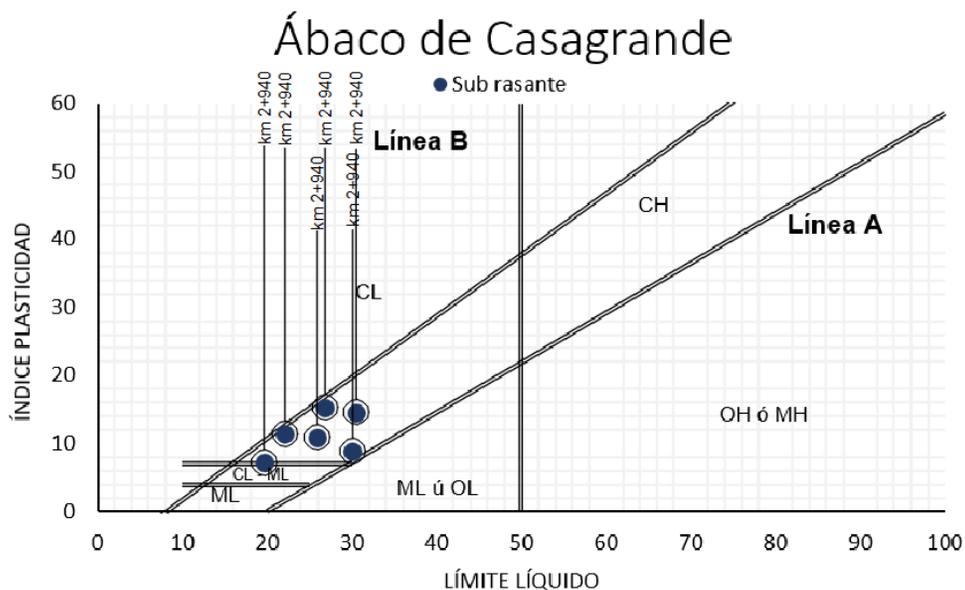


Figura 76

Carta de plasticidad sub rasante



Ensayo de Proctor modificado (ASTM D – 1557)

Según Haro (2016) el ensayo de proctor modificado es un método que permite encontrar la relación entre el contenido de humedad de compactación y la densidad

seca de los suelos compactados, con el uso de un molde de 4 o 6 pulgadas (101.60 o 152.40 mm.) de diámetro con un pistón de 10 libras (44.5 N) que cae a una altura de 18 pulgadas (457 mm.), que produce una energía de compactación de 56000 lb-pie/pie³ (2700 kN-m/m³), compactando un total de 5 capas con 56 golpes, esto permite definir la densidad máxima y su humedad óptima. Para el presente ensayo de laboratorio se presenta 3 alternativas que se presentan a continuación en siguiente tabla:

Tabla 74

Especificaciones para la prueba proctor modificada.

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101,6 mm.	101,6 mm.	152,4 mm.
Volumen del molde	944 cm ³	944 cm ³	2124 cm ³
Masa del pisón	4,54 kg.	4,54 kg.	4,54 kg.
Altura de caída del pisón	457,2 mm.	457,2 mm.	457,2 mm.
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2 700 kN*m/m ³	2 700 kN*m/m ³	2 700 kN*m/m ³
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla núm. 4 (4.57 mm). Puede usarse si 20% o menos en peso de material se retiene en la malla núm. 4.	Porción que pasa la malla de 9.5 mm. Puede usarse si el suelo retenido en la malla núm. 4 es más de 20% y 20% o menos en peso se retiene en la malla de 9.5 mm.	Porción que pasa la malla de 19.0 mm. (3/4 plg.). Puede usarse si más de 20% en peso del material se retiene en la malla de 9.5 mm y menos de 30% en peso se retiene en la malla de 19.0 m

Nota: Recuperado de la designación ASTM D – 1557.

Equipos y materiales:

- Molde metálico de 4 pulgadas.
- Pistón o martillo 10 lb.
- Collar de molde.
- Recipiente para mezclar.

- Probeta graduada.
- Enrazador.
- Balanza de sensibilidad 0.10 gr.
- Balanza eléctrica.
- Horno a temperatura $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$).
- Capsulas metálicas (taras).
- Cucharón.
- Brocha.

Procedimiento:

1. Se procede a reducir la muestra de suelo al tamaño del ensayo, aproximadamente 5 kg.
2. Colocar la muestra en la bandeja metálica y secar al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, hasta conseguir una masa constante.
3. Retirar la muestra del horno y esperar a que se enfríe, a continuación, pesar la muestra seca.
4. Se debe iniciar pesando 3 kg. De muestra, el molde de 4 plg. con la base y sin el collar.
5. Seguidamente medir el diámetro y la altura del molde para calcular el volumen de este.
6. A continuación, se esparce agua a la muestra del recipiente, de tal manera que sea que el 3% de la masa de suelo y mezclar bien.
7. Se coloca la muestra en el molde con el collar en 5 capas y se debe compactar la muestra con el martillo dentro del molde metálico, esto debe ser hasta que el pistón alcance la parte superior y dejar caer en caída

libre, esto se repite cambiando el lugar aleatoriamente, de tal forma que con los 56 golpes cubra toda la superficie de las capas.

8. Despojar el collar y enrasar a nivel superior del molde.
9. Limpiar el molde y registrar el peso del molde con el suelo compactado sin el collar.
10. Extraer el suelo compactado del molde, se debe dividir en dos partes y tomar dos muestras, estas deben ser tomadas de la parte central en capsulas metálicas o taras y se procede a registrar su peso.
11. Introducir al horno y dejar secar a temperatura constante.
12. Devolver el restante de muestra y añadir un 6% de agua, es decir 3% más y mezclar.
13. Repetir los puntos 7 al 12, agregando cada vez 3% de agua hasta que la masa del suelo con el molde baje totalmente.

Figura 77

Peso del molde cilíndrico



Figura 78

Peso de pistón.

**Figura 79**

Compactación de capas dentro de molde cilíndrico.



Figura 80*Material compactado*

- Calicata 1 abscisa 1+560 km.

Se realizó el ensayo en 3 profundidades, 0.00 – 0.15 (Base), 0.15 – 0.40 (sub base) y 1 metro (subrasante), a continuación, se presenta los resultados de los proctor modificado en la Calicata 1 (Para los resultados de los ensayos de proctor modificado de las calicatas 2, 3, 4, 5 y 6 véase el ANEXO A).

Tabla 75*Ensayo proctor modificado calicata 1 abscisa 1+560 km.*

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO											
(NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)											
Calicata:	1	Profundidad:	1	m.	Abscisa:	1+560	km.				
Golpes por capa:	56	Peso martillo:	10	lb.	Altura de caída:	18	plg.	Nº Capas	5		
Volumen del molde:	2130,32	Peso del molde:	6774	g.	Altura del molde:	11,74	cm.	Diáme tro:	15,2	cm	
No		1	2	3	4	5					
Peso suelo + molde	gr	11246	11391,9	11611,7	11597,6	11621,6					
Peso molde	gr	6774	6774	6774	6774	6774					
Peso suelo húmedo compactado	gr	4472	4617,9	4837,7	4823,6	4847,6					
Contenido de agua											
Número de la capsula		I 13	A 32	E 40	F 9	F 10	I 15	A 40	33 A	E 5	E 12
Peso tara	gr	13,25	10,72	12,59	13,47	12,61	13,77	12,4	13,54	13,34	12,72
Peso suelo húmedo + tara	gr	70,4	74,7	61,65	53,93	64,2	68,48	88,75	69,95	91,59	83,73
Peso del suelo seco + tara	gr	69,61	73,95	59,68	53	60,3	64,3	82,23	64,53	81,37	78,22
Peso del agua	gr	0,79	0,75	1,97	0,93	3,9	4,18	6,52	5,42	10,22	5,51

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO											
Peso del suelo seco	gr	56,36	63,23	47,09	39,53	47,69	50,53	69,83	50,99	68,03	65,5
Contenido de agua	%	1,40	1,19	4,18	2,35	8,18	8,27	9,34	10,63	15,02	8,41
Contenido de agua promedio	%		1,29		3,27		8,23		9,98		11,72
Peso volumétrico húmedo	gr/cm ³		2,10		2,17		2,27		2,26		2,28
Peso volumétrico seco	gr/cm ³		2,07		2,10		2,10		2,06		2,04
Densidad máxima - MDS	gr/cm ³	2,125									
Humedad óptima - OCH	%	5,92									

Figura 81

Curva humedad vs densidad seca calicata 1

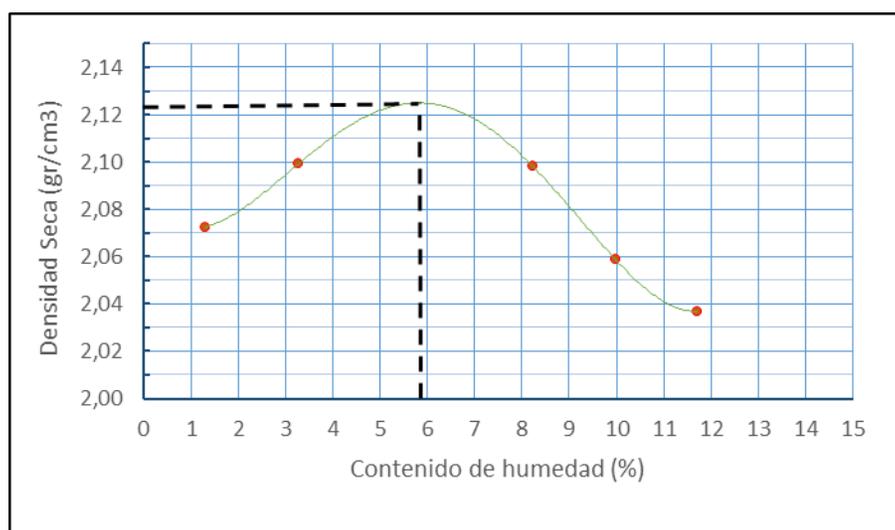


Tabla 76

Resultados ensayo proctor modificado

Resultados de ensayo proctor modificado					
Profundidad:	1 m.	Nº Capas:	5	Golpes por capa:	56
Calicata	Abscisa	Densidad seca (g/cm ³)	Contenido promedio agua (%)		
1	1+560	2,13	5,92		
2	1+850	2,09	6,62		
3	2+020	2,06	7,85		
4	2+240	1,97	16,10		
5	2+530	1,95	12,72		
6	2+940	2,00	13,00		

Nota: Contenido de agua promedio por calicata.

Ensayo de capacidad de soporte CBR (ASTM D-1883)

Según Haro (2016), el CBR de un suelo es la carga unitaria, que permite medir la resistencia al corte de un suelo sometido a diferentes variantes de humedad y densidad, para este ensayo se ejecutó inicialmente un ensayo de compactación de la subrasante y de esta forma obtener la humedad óptima del material para realizar el ensayo California Bearing Ratio (CBR).

La norma ASTM D-1883 se aplica a la evaluación de calidad de la subrasante, a medida que aumentan los esfuerzos, se alcanza el punto donde el suelo se rompe o continúa deformándose con poco esfuerzo, es decir falla a corte. El CBR es calculado con la siguiente formula:

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria del patrón}} * 100 (\%)$$

Equipos y materiales:

- Molde metálico CBR.
- Fondo falso.
- Collar de molde.
- Pistón o martillo 10 lb.
- Trípodes y deformímetros.
- Prensa hidráulica con anillo de carga.
- Balanza de sensibilidad 0.10 gr.
- Enrazador.
- Horno a temperatura $11\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$).
- Tanque de agua.
- Taras o capsulas metálicas.

Procedimiento:

1. Se pulveriza el material necesario, disgregando los terrones existentes hasta obtener una muestra uniforme, se procede a tamizar por el tamiz $\frac{3}{4}$ " y se rechazar las partículas retenidas.
2. A continuación, se determina la humedad óptima del suelo con el mismo procedimiento del ensayo proctor modificado.
3. El material restante se mezcla con la cantidad necesaria de agua para obtener el máximo peso unitario seco.
4. Se pesa los 3 cilindros con el material húmedo con las respectivas placas de soporte.
5. Tomar la muestra de humedad de cada molde.
6. A continuación, se compacta las muestras de los moldes, cada capa debe ser de 1" de espesor luego de ser compactada, la última capa debe ser de $\frac{1}{2}$ pulgada arriba de la junta con el collarín, para el primer cilindro 56 golpes, para el segundo 25 golpes y para el tercero 10 golpes.
7. Se toma las muestras de humedad de la muestra compactada, este contenido de humedad, no debe ser mayor ni menor que 0.50% de la humedad óptima.
8. Retirar el collarín del molde, enrasar y registrar el peso de la muestra compactada, el disco espaciador y placa de soporte.
9. Colocar un filtro de papel sobre la placa de soporte y después voltear el molde con la muestra y se coloca sobre la placa de soporte, retirando el fondo.
10. Pesarse cada molde con el suelo.
11. Colocar los moldes compactados a saturar en el tanque de agua durante 3 días.
12. Tomar la medida del esponjamiento del material una vez por día.

Pasos para la rotura del ensayo CBR

1. Retirar los moldes del agua, dejarlos escurrir durante 15 min.
2. Ubicar el molde en el equipo.
3. Colocar en cero el deformímetro y dial de deformación y carga.
4. Iniciar la carga a una velocidad de 1 plg/min. hasta una profundidad de 4 plg, se registra la lectura de las cargas aplicadas a 0.050, 0.075, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50" de penetración del pistón.
5. Retirar el equipo y tomar la humedad alrededor del orificio dejado por el pistón.

Se realizó el ensayo en 3 profundidades, base, sub base y subrasante, a continuación, se presenta los resultados del CBR de laboratorio en la Calicata 1 (Para los resultados de los ensayos de CBR de las calicatas 2, 3, 4, 5 y 6 véase el ANEXO A).

- Calicata 1 abscisa 1+560 km.

Tabla 77

Registro de datos de ensayo CBR abscisa 1+560 km.

Calicata:	1	Profundidad:	0,20 m.	Abscisa:	1+560	
Humedad óptima:	5,92%	Altura de caída:	1 m.	Norma:		
Volumen del molde:	2097,77	Peso martillo:	10 lb.	ASTM D - 1883		
Registro de datos de ensayo de laboratorio						
Número de capas:	5		5		5	
Golpes por capa:	10		25		56	
	Antes de remojo	Después de remojo	Antes de remojo	Después de remojo	Antes de remojo	Después de remojo
Peso molde (g.)	7970	7970	7970	7970	7970	7970
Peso suelo + molde (g.)	11184	11691	11696	11992	11990	12168
Peso suelo húmedo (g.)	3214	3721	3726	4022	4020	4198
Contenido de agua						
Peso tara (g.)	14,5	18,2	14,16	13,32	13,71	14,4
Peso suelo húmedo + tara (g.)	76,7	95,9	83,8	87,8	84,7	93,5
Peso del suelo seco + tara (g.)	64,3	76,7	75,4	71,1	74,1	77
Peso del agua (g.)	12,4	19,2	8,4	16,7	10,6	16,5
Peso del suelo seco (g.)	49,8	58,5	61,24	57,78	60,39	62,6
Contenido de agua (%)	24,90	32,82	13,72	28,90	17,55	26,36

Calicata:		1		Profundidad:		0,20 m.		Abscisa:		1+560			
Peso volumétrico húmedo (gr/cm3)		1,53		1,77		1,78		1,92		1,92		2,00	
Peso volumétrico seco (gr/cm3)		1,23		1,34		1,56		1,49		1,63		1,58	
Expansión del suelo													
Sobrecarga		4,54 kg		4,54 kg		4,54 kg		4,54 kg		4,54 kg		4,54 kg	
Tiempo transcurrido horas	Lectura deformímetro (plg.)	% Expansión			Lectura deformímetro (plg.)	% Expansión			Lectura deformímetro (plg.)	% Expansión			
0	0,0080	0,16			0,0080	0,16			0,006	0,120			
24	0,0240	0,32			0,0280	0,32			0,032	0,520			
48	0,0280	0,08			0,0344	0,08			0,036	0,080			
72	0,0300	0,04			0,0370	0,04			0,038	0,040			
96	0,0310	0,02			0,0380	0,02			0,039	0,020			
0 - 96	0,0310	0,46			0,0380	0,46			0,039	0,660			
10 golpes				25 golpes				56 golpes					
Penetración	Carga	Presión corregida	Presión estándar	CBR	Carga	Presión corregida	Presión estándar	CBR	Carga	Presión corregida	Presión estándar	CBR	
mm	plg.	lb.	lb/plg2	%	lb.	lb/plg2	lb/plg2	%	lb.	lb/plg2	lb/plg2	%	
0,00	0,0	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,0	
1,27	0,0	670	223,3	400	55,83	760	253,3	400	63,3	1950	650,0	400	162,5
2,54	0,1	950	316,6	1000	31,67	1600	533,3	1000	53,3	2730	910,0	1000	91
3,81	0,1	1.230	410,0	1.250	32,80	2100	700,0	1.250	56,0	4050	1350,0	1.250	108
5,08	0,2	1560	520,0	1500	34,67	2700	900,0	1500	60,0	4760	1586,6	1500	105,7
7,62	0,3	1850	616,6	1900	32,46	2850	950,0	1900	50,0	5350	1783,3	1900	93,8
10,16	0,4	1960	653,3	2300	28,41	3100	1033,3	2300	44,9	5860	1953,3	2300	84,9
12,7	0,5	2150	716,6	2600	27,56	3250	1083,3	2600	41,6	6420	2140,0	2600	82,3

Tabla 78*Resultados penetración calicata 1*

Penetración 0,1		
Nº Golpes	CBR (%)	D. Seca (gr/cm3)
10	31,67	1,34
25	53,33	1,49
56	91,00	1,58
Penetración 0,2		
Nº Golpes	CBR (%)	D. Seca (gr/cm3)
10	34,67	1,34
25	60,00	1,49
56	105,78	1,58

Nota: Resultados de CBR de penetración a 0.1 y 0.2 plg.

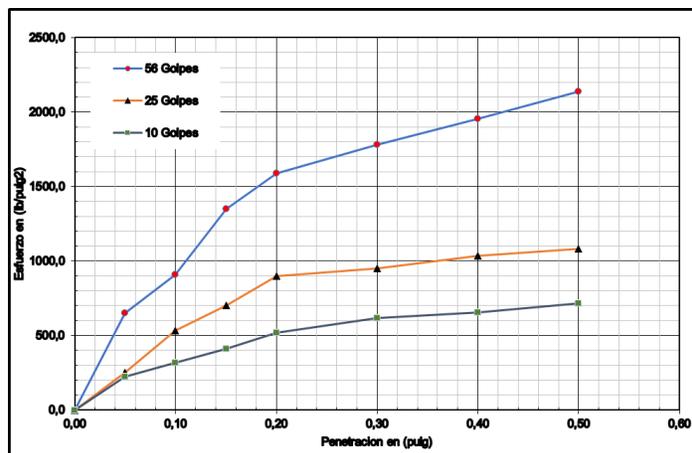
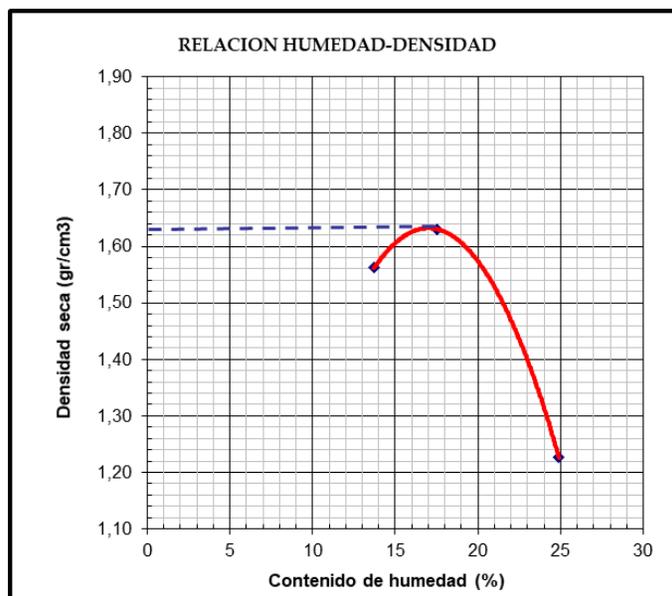
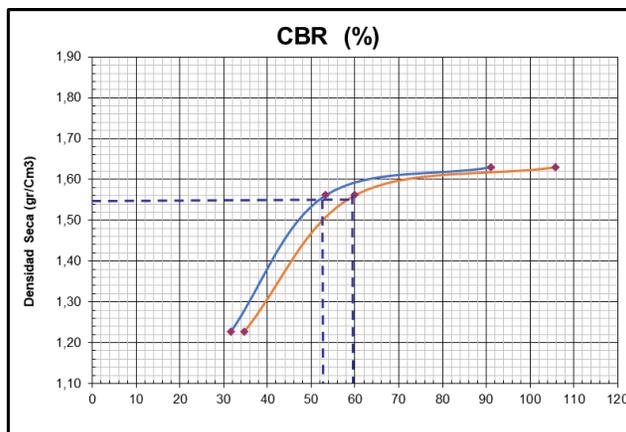
Figura 82*Gráfica penetración vs esfuerzo**Nota: Resumen de penetración a 56, 25 y 10 golpes.***Figura 83***Relación humedad – densidad*

Figura 84*Gráfica CBR calicata 1*

Nota: Se muestra el CBR al 0.1 y 0.2 plg. de penetración.

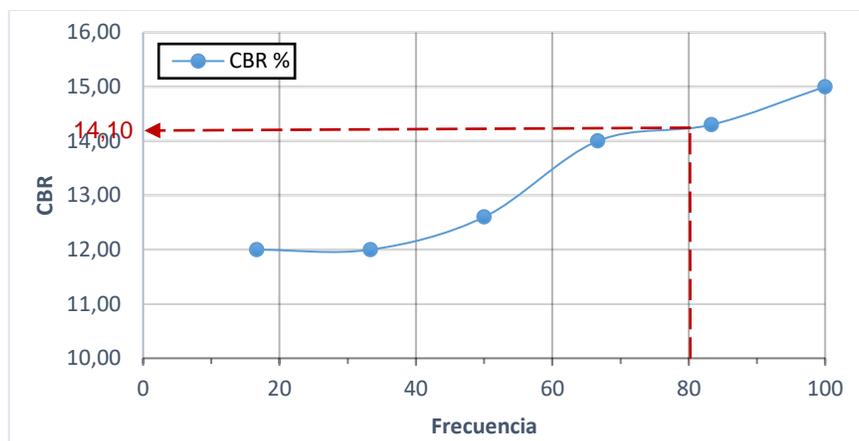
Caracterización de la sub rasante

Los registros de ensayos realizados en la sub rasante de estudio, se procesa para obtener la condición del suelo de fundación o subrasante, sobre la cual se coloca las diferentes capas de la estructura del pavimento.

De manera ordenada los valores de CBR y se encuentra la frecuencia y su respectivo CBR, para obtener el valor del CBR de diseño, se realiza la gráfica de un diagrama que representa la frecuencia en el eje horizontal y el porcentaje CBR en el eje vertical, se ocupa el valor de frecuencia el 80%, se corta la curva y se obtiene en las coordenadas el valor que representa el CBR, este es el CBR de diseño (Cueva, 2019).

Tabla 79*Abcisas y valores CBR*

No.	Frecuencia %	CBR %
6	100,00	15,00
5	83,33	14,30
4	66,67	14,00
3	50,00	12,60
2	33,33	12,00
1	16,67	12,00

Figura 85*Diagrama Frecuencia vs CBR*

El valor CBR de diseño en la frecuencia de 80% es de 14.10%, categorizando a la subrasante del tramo vial como una S2, según el Capítulo 5 de “Diseño de pavimentos flexibles” desarrollado por el Ministerio de obras públicas y comunicaciones.

Tabla 80

Características geotécnicas del suelo in situ

Calicata Nro.	Abscisa (km)	Profundidad (m)	Gradación % que pasa tamiz				LL	LP	IP	Humedad natural (%)	Clasificación AASHTO
			Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200					
1	1+500	0,00 - 0,20	86	60	10	1	26,83	18,47	8,35	11	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
		0,20 - 0,60	88	61	21	5	24,57	17,03	7,54	12	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
		1,00	85	65	13	3	19,63	12,41	7,23	15	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
2	1+850	0,00 - 0,20	75	52	12	1	24,57	13,57	11,00	13	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
		0,20 - 0,60	66	42	15	2	28,13	18,04	10,08	16	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
		1,00	87	64	10	2	22,06	10,64	11,42	15	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
3	2+020	0,00 - 0,20	87	64	10	2	25,22	16,94	8,28	11	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
		0,20 - 0,60	72	39	12	3	28,98	17,33	11,65	15	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
		1,00	88	68	12	3	26,75	11,52	15,23	14	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
4	2+240	0,00 - 0,20	87	64	10	2	27,74	11,17	16,57	15	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
		0,20 - 0,60	71	43	23	4	30,06	22,20	7,86	17	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
		1,00	91	63	23	4	30,50	15,90	14,60	21	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
5	2+530	0,00 - 0,20	70	41	18	7	27,77	14,98	12,79	16	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
		0,20 - 0,60	71	43	23	4	33,18	16,93	16,26	24	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
		1,00	88	61	21	5	30,00	21,19	8,81	33	A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa
6	2+940	0,00 - 0,20	64	33	10	3	20,90	9,89	11,00	17	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
		0,20 - 0,60	77	47	29	10	22,94	6,64	16,30	21	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
		1,00	91	53	26	6	25,88	14,96	10,92	24	A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa

Tabla 81*Tabla criterio de aceptación capas de estructura*

Calicata Nro.	Abscisa (km)	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	CBR		CBR necesario	Criterio de aceptación
				0,10	0,20		
1	1+500	0,00 - 0,20	SP Arena mal graduada	52	59	CBR \geq 80	No se acepta
		0,20 - 0,60	Arena bien graduada con arcilla SW SC	35	37	CBR > 30	Se acepta
		1,00	Arena bien graduada SW	15	20	CBR > 10	Se acepta
2	1+850	0,00 - 0,20	Arena bien graduada SW	57	60	CBR \geq 80	No se acepta
		0,20 - 0,60	Arena bien graduada SW	34	36	CBR > 30	Se acepta
		1,00	Arena bien graduada SW	16,5	21	CBR > 10	Se acepta
3	2+020	0,00 - 0,20	Arena mal graduada SP	62	64	CBR \geq 80	No se acepta
		0,20 - 0,60	Arena bien graduada con grava SW	35	37	CBR > 30	Se acepta
		1,00	Arena bien graduada SW	12	14	CBR > 10	Se acepta
4	2+240	0,00 - 0,20	Arena bien graduada SW	55	58	CBR \geq 80	No se acepta
		0,20 - 0,60	Arena bien graduada con grava SW	42	44	CBR > 30	Se acepta
		1,00	Arena bien graduada SW	17	26	CBR > 10	Se acepta
5	2+530	0,00 - 0,20	Arena bien graduada con arcilla con grava SW SC	56	62	CBR \geq 80	No se acepta
		0,20 - 0,60	Arena bien graduada con grava SW	42	47	CBR > 30	Se acepta
		1,00	Arena bien graduada con arcilla SW SC	13	18	CBR > 10	Se acepta
6	2+940	0,00 - 0,20	Arena mal graduada con grava SW	47	56	CBR \geq 80	No se acepta
		0,20 - 0,60	Arena bien graduada con grava SP SC	35	39	CBR > 30	Se acepta
		1,00	Arena bien graduada con arcilla SW SC	12	14	CBR > 10	Se acepta

Diseño de pavimento asfáltico método AASHTO 93.

El diseño estructural se fundamenta en la ejecución de principios comprobados.

Nivel de confianza

En el diseño de pavimentos, el nivel de confianza representa un importante parámetro en el método AASHTO, este se relaciona con el desempeño del pavimento frente a las exigencias a la que es expuesto.

Tabla 82

Nivel de confiabilidad (R)

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Nota: Recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993).

De acuerdo a las características e importancia que demuestra el tramo de vía en estudio, se utiliza un nivel de confianza $R = 90\%$ por ser una arteria principal de la provincia de Santo Domingo.

Desviación estándar (So)

La AASHTO en su guía, recomienda el siguiente rango de valores para la desviación estándar.

Tabla 83

Valores recomendados para desviación estándar (So)

Condición de diseño	Desviación estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0,25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y la estimación del tráfico.	0,35 - 0,50

Nota: Recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993)

Se utilizará una desviación estándar del sistema $S_o = 0.45$, para el presente proyecto.

Desviación normal

Los valores de desviación normal Z_R se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 84

Factores de desviación normal

Confiabilidad	Z_R	Confiabilidad	Z_R
50	0	92	-1,405
60	-0,253	94	-1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327

Nota: Recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993).

Para el presente proyecto se utiliza un valor de factor de desviación normal de $Z_R = -1.282$, a razón de que el nivel de confiabilidad es de $R = 90\%$.

Módulo de resiliente de la carpeta asfáltica, base, Sub base y Sub rasante

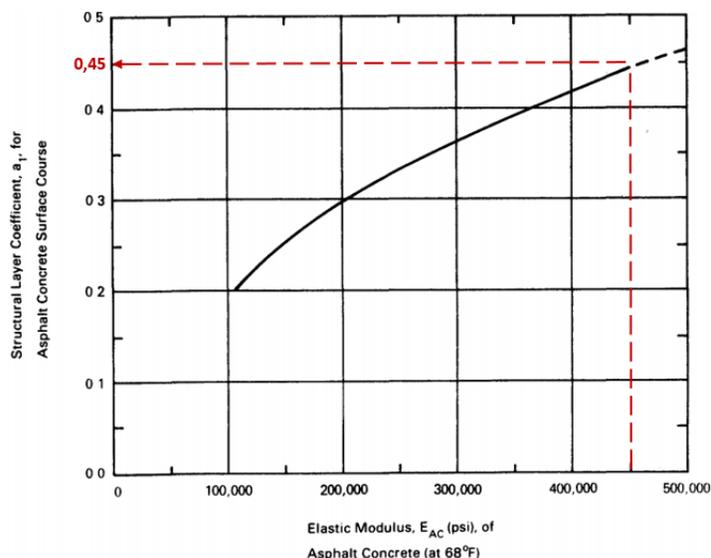
Cada capa de la estructura de pavimento goza de características mecánicas distintas por lo que es ineludible hacer uso de los gráficos dados por la guía AASHTO 93 para precisar los coeficientes estructurales que corresponde a cada capa.

Módulo resiliente de la carpeta asfáltica

A continuación, se muestra la correlación existente entre el módulo de elasticidad y el coeficiente estructural del concreto asfáltico, se sugiere valores del módulo de elasticidad entre 300 000 psi a 400 000 psi.

Figura 86

Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica a_1 .



Nota: Recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993).

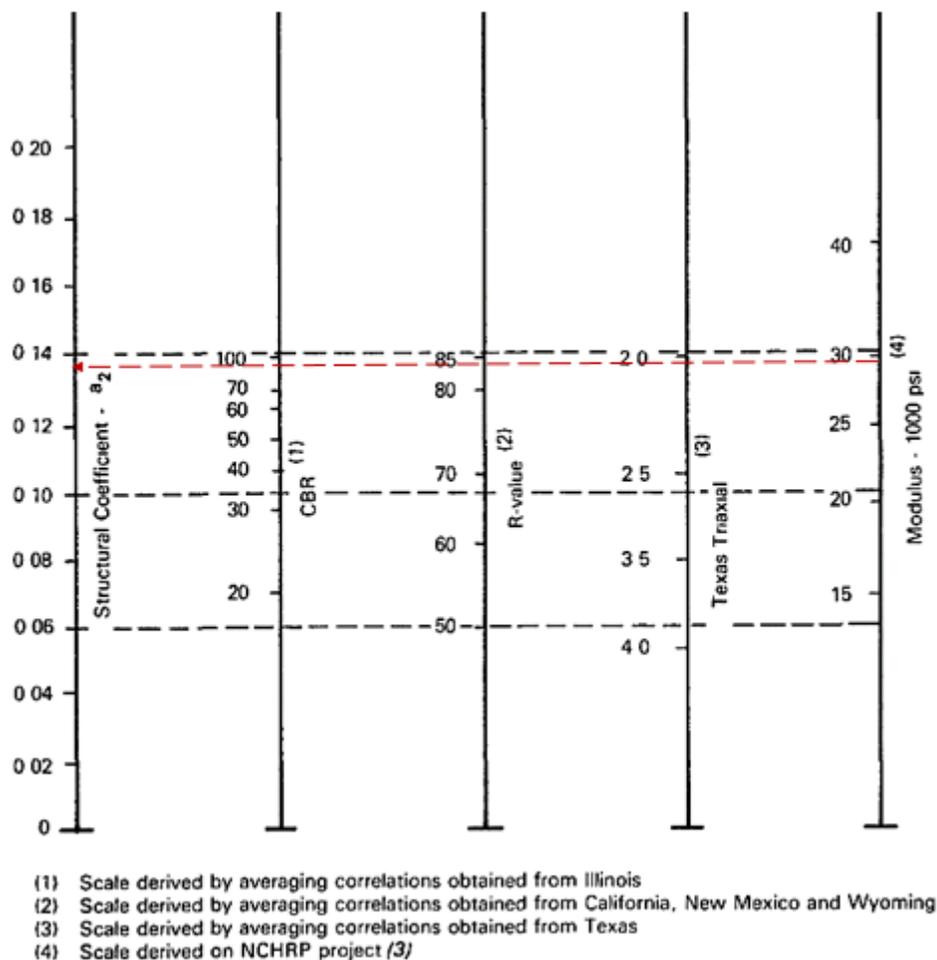
Para el presente proyecto se encuentra un módulo elástico del concreto asfáltico igual a 450000 psi, señalado esto, el valor del coeficiente a_1 es 0.45.

Módulo resiliente de la base.

El ensayo CBR es utilizado para encontrar la capacidad de soporte del material, es uno de los principales parámetros para el diseño de pavimentos, por esta razón, considerables gráficas de la guía AASHTO 93 referencia este parámetro, a continuación se muestra el gráfico de correlación existente entre el módulo resiliente y coeficiente estructural para bases granulares estos en función del CBR del material, este valor no debe ser menor al 80%, sabiendo que el CBR según los ensayos realizados del material encontrado en la vía, no cumple con esta condición, se sugiere reemplazar esta capa estructural por un material con un CBR mayor al 80%.

Figura 87

Ábaco para estimar el número estructural de la base granular a_2 .



Nota: Recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993).

Se utilizará para el diseño de este proyecto un CBR de 90%, la base granular presenta un valor del módulo de resiliencia igual a 29000 y un coeficiente calculado según la figura 87 un coeficiente $a_2 = 0.135$.

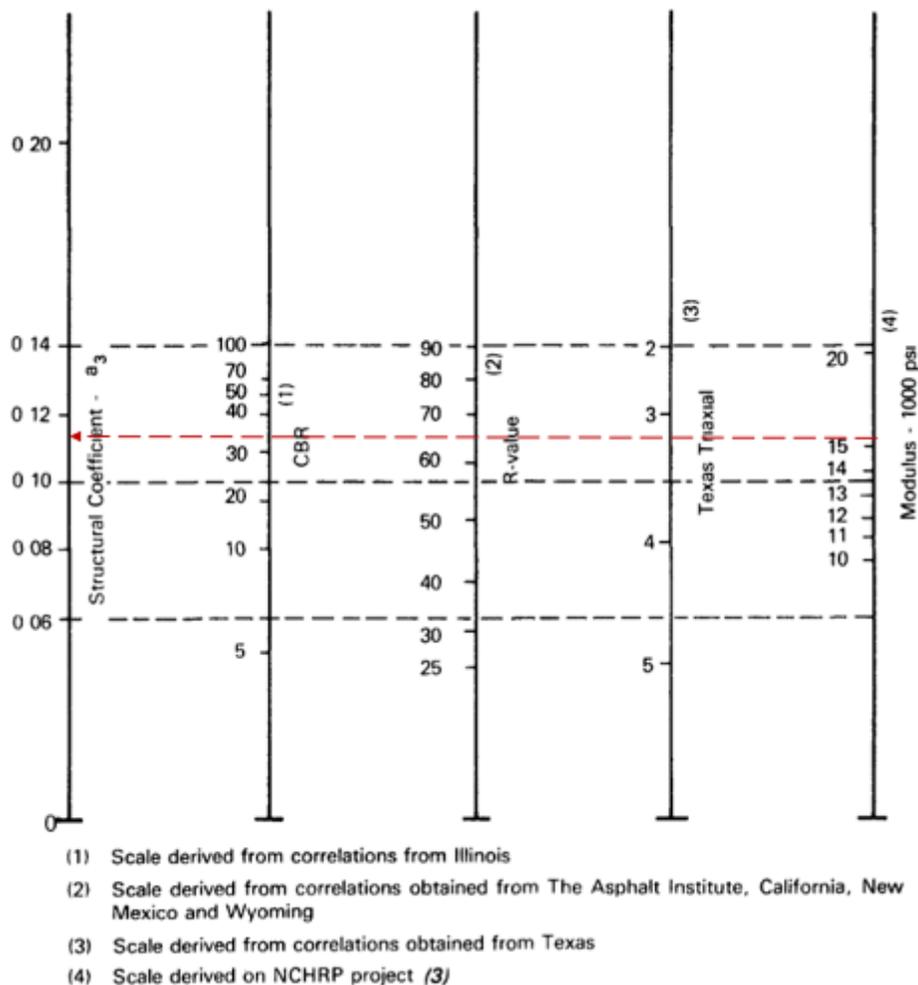
Módulo resiliente de la sub base.

Los ensayos realizados con el material que conforma la capa de sub base existente en la vía, presentaron un CBR mayor al 30% que es requerido para sub bases, se utilizó el valor de CBR menor encontrado en la vía, este fue de 34%, tomado

uso del gráfico de correlación proporcionado por la guía AASHTO 93 se halló el coeficiente estructural a_3 .

Figura 88

Ábaco para estimar el número estructural de la sub base granular a_3



Nota: Recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993).

Con un CBR del 34%, el valor del coeficiente estructural para sub base es de 0.112 para el proyecto actual.

Módulo resiliente de la subrasante

Según la guía AASHTO 93, el valor del módulo elástico llamado en este tipo de diseño como módulo resiliente efectivo (MR) este es el parámetro que caracteriza al

material de fundación, el mismo que mide las propiedades elásticas después de emplear carcas cíclicas, similar a la acción al que estará expuesta la estructura, como resultado del reiterado movimiento de las cargas de la rueda. El módulo de resiliencia es el valor de la resistencia de la subrasante, para esto se ocupa las relaciones entre el CBR y este módulo. (Vasquéz, 2014)

Para el presente proyecto se toma como porcentaje CBR = 12% dado que es el valor más crítico encontrado según los resultados de los ensayos, se utiliza la siguiente ecuación tomada de la guía AASHTO (1993) con valores de CBR de la sub rasante mayores al 7.20% pero menores o iguales a 20%.

$$Mr(psi) = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$Mr(psi) = 3000 * 12^{0.65} = 15\ 086.51$$

Índice de serviciabilidad.

Según Morales (2015), la serviciabilidad que presenta un pavimento se define como la capacidad que tiene un pavimento para servir al tipo de tránsito que lo utiliza, donde teóricamente su definición es serviciabilidad inicial menos la serviciabilidad final, un valor de 5 para la serviciabilidad inicial revela un pavimento sujeto a condiciones perfectas, lo que es imposible de hallar en la práctica, y un 0 para una serviciabilidad final que representa un pavimento totalmente destruido.

Cuando se realiza la evaluación del índice de serviciabilidad se realiza mediante del inventario de fallas, se utiliza la siguiente ecuación matemática.

- Pavimento flexible

$$p = 5.03 - 1.91 \log[1 + S_v] - 0.01[C_f + P]^{\frac{1}{2}} + 1.38 RD^2$$

Donde:

S_v : Varianza de las inclinaciones de la rasante existente en sentido longitudinal respecto de la rasante inicial. Mide la rugosidad en sentido longitudinal.

C_f : Suma de las áreas fisuradas en pie² y las grietas longitudinales y transversales en pie, por cada 1.000 pie² de pavimento.

P : Área bacheada en pie² por cada 1.000 pie² de pavimento.

RD : Profundidad media del ahuellamiento en pulgadas. Mide la rugosidad transversal (Minchong; et al., 2011).

Según la última versión del Método de Diseño de Pavimentos tabla 7.101.2 AASHTO 1993, se utiliza el índice de Serviciabilidad como se muestra en la tabla:

Tabla 85

Tabla Índices de serviciabilidad de referencia

Tabla 7.101.2A Índices de serviciabilidad de referencia (BASE AASHTO 1993)	
Condición	Índice de Serviciabilidad (p)
Pavimento asfáltico nuevo	4,20
Pavimento de hormigón nuevo	4,50
Nivel de restauración más exigente	2,50
Nivel de restauración adoptado en Chile	2,00

Nota: Recuperado de American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

Cálculos:

$$Sv = 2$$

Para el cálculo del constante C se sumaron las áreas de las fallas longitudinales y transversales dando un resultado de 354.08 m² (3811.3 pies²) en todo el pavimento entonces C resulta de dividir de 3811.3 pies² por 1000 pies², por lo tanto, C= 3.81

Para el cálculo de P se realizó el mismo procedimiento para baches. P= 3.76 Y para la constante RD según las mediciones de campo se usó una media de 1.10 pulgadas.

$$Pt = 5.03 - 1.91 \log(1 + 2) - 1.38 * (1.10^2) - 0.01(3.81 + 3.76)^{0.5}$$

$$Pt = 2.42$$

Se usó un Po para pavimentos nuevos de 4.2

$$PSI = P_o - P_t$$

$$PSI = 4.2 - 2.42$$

$$PSI = 1.78$$

La pérdida o disminución de este índice es proporcional a la calidad de servicio de la vía, el índice de serviciabilidad de la vía calculado es de 1.78, resultado encontrado gracias a los parámetros que miden el deterioro físico del pavimento.

De acuerdo a la tabla 58 de la escala de clasificación presentada por la normativa AASHTO, los pavimentos en la clase 1 - 2, se han malogrado hasta un cierto nivel que puede influir la velocidad de tránsito de flujo libre, además se pueden presentar varias afectaciones como: grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y esto se presenta en un 26% de la superficie del pavimento, es el escenario existente en la tramo de la vía Santo Domingo – 10 de agosto, reflejándose esto al obtener un PSI= 1.78.

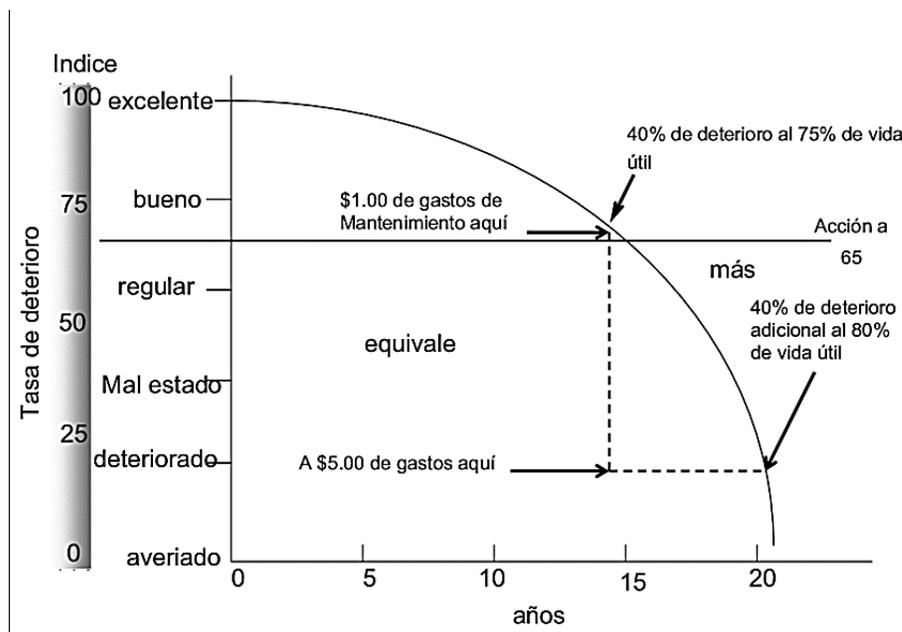
Tabla 86

Escala de clasificación PSI según AASHTO

PSI	Condición
0-1	Muy Pobre
1 – 2	Pobre
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 - 5	Muy Buena

Nota: Recuperado de American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

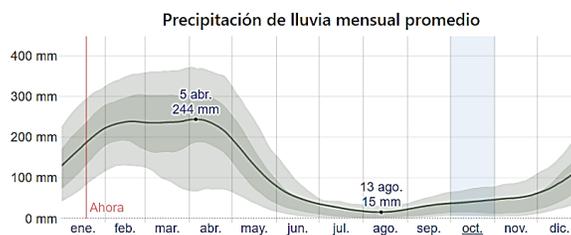
Según la curva de deterioro del pavimento (Figura 44), el pavimento se encuentra entre una condición regular y mala, entre 1 y 3 de PSI, la pendiente de la curva cae significativamente, originando el deterioro del pavimento más rápido.

Figura 89**Curva de deterioro del pavimento**

Nota: Recuperado de Delmar (2006).

Coeficiente de drenaje

Según la página de Cedar Lake Ventures (2019), la mayoría de lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 5 abril, con una acumulación total promedio de 244 milímetros.

Figura 90**Precipitación de lluvia promedio Santo Domingo**

Nota: Se presenta la lluvia promedio acumulada en un periodo móvil de 31 días, con bandas de percentiles del 25º al 75º y del 10º al 90º, recuperado de Cedar Lake Ventures (2019).

Tabla 87

Valores de mi para modificar los coeficientes estructurales o de capa de bases y sub bases sin tratamiento, en pavimentos flexibles.

Capacidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.			
	Menos del 1%	1 a 5%	5 a 25%	Más del 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
Malo	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy malo	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Nota: Tabla 2.4 recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993).

Para el diseño de pavimento de este proyecto se utilizó una calidad de drenaje regular, con un porcentaje del tiempo del pavimento expuesto a humedades entre el 5% - 25%, finalmente para el coeficiente de drenaje (m_i) para las capas granulares de la estructura de pavimento flexible se ocupará un valor de $m_2 = 1.00$ y $m_3 = 1.00$.

Número estructural SN de la sub rasante

Con los parámetros ya obtenidos, se procede a calcular el número estructural SN por medio de la siguiente ecuación.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + \log_{10}SN + 1 - 0.20 + \frac{\log_{10} \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 10)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}MR - 8.07$$

Para obtener el valor de SN también se puede hacer uso del software llamado AASHTO 93, proporcionado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador MTOP.

Figura 91

Cálculo de SN con software AASHTO 93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' window with the following data:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible, Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 90 % $Z_r = -1.282$, $S_o = 0.45$
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.42
- Módulo resiliente de la subrasante:** $M_r = 15086.52$ psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): []
 - Coeficiente de transmisión de carga - (J): []
 - Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): []
 - Coeficiente de drenaje - (Cd): []
- Tipo de Análisis:** Calcular SN, Calcular W18
- W18 =** 38880282
- Número Estructural:** SN = 4.72
- Buttons:** Calcular, Salir

Nota: captura del procesamiento de datos en software AASHTO 93.

Se realizó el proceso de datos en el software AASHTO 93 y se obtuvo un número estructural 4.47 para el desarrollo del cálculo.

Número estructural de la base y sub base

Es necesario definir el intervalo en el cual se encuentra el número de ejes equivalentes W18, se utilizará la siguiente tabla dada por la guía AASHTO 93 definida por el número de ejes:

Tabla 88

Espesores mínimos de capas

$W_{18} (10^6)$	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
< 0,05	-	4
0,05 - 0,15	2	4

$W_{18} (10^6)$	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
0,15 - 0,50	2,5	4
0,50 - 2,00	3	6
2,00 - 7,00	3,5	6
> 7,00	4	6

Nota: Recuperado de Guide for Design of Pavement Structures AASHTO (1993)

Para el presente proyecto con 38880282 ejes de 8.2 ton se tomará los mayores espesores que son: para carpeta asfáltica 4 plg. y para base granular 6 plg., para determinar los números estructurales para la base y sub base se utiliza las fórmulas dadas por AASHTO 93:

$$SN_1 = a_1 * h_1 = 0.44 * 4 = 1.76$$

$$SN_2 = (a_2 * h_2 * m_2) + SN_1 = (0.134 * 6 * 1) + 1.76 = 2.57$$

$$SN_3 = 4.72$$

Determinación de los espesores Di.

Con los parámetros de calculan los espesores mediante la siguiente ecuación.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

- Coeficientes estructurales a(i):
 - Carpeta asfáltica $a_1 = 0.44$
 - Base $a_2 = 0.1134$
 - Sub base $a_3 = 0.112$
- Coeficiente de drenaje mi:
 - Base $m_2 = 1$
 - Sub base $m_3 = 1$
- Números estructurales SN:
 - $SN_1 = 1.76$
 - $SN_2 = 2.57$
 - $SN_3 = 4.72$

Para determinar los espesores de las capas de pavimento la Guía AASHTO recomienda los espesores mínimos para las carpetas asfálticas y bases granulares en función de las cargas equivalentes de un solo eje.

Cálculo de espesores de la estructura de pavimento

Una vez especificados todos los coeficientes para la ecuación del número estructural se obtiene como resultado el espesor de cada capa que conforma la estructura de pavimento, los espesores son calculados con los números estructurales, coeficientes estructurales y coeficientes de drenaje, con las fórmulas de la guía AASHTO:

Espesor Carpeta asfáltica = espesor mínimo = 4 plg.

Espesor Base = espesor mínimo = 6 plg.

$$Espesor\ sub\ base = 2.54 * \left(\frac{SN3 - SN2}{a3 * m3} \right) = 2.54 * \left(\frac{4.72 - 2.57}{0.112 * 1} \right) = 49\ cm \approx 19\ plg.$$

Espesores:

- Carpeta asfáltica: 4 pulgadas ($\approx 10\ cm$).
- Base: 6 pulgadas ($\approx 15\ cm$)
- Sub base: 19 pulgadas ($\approx 49\ cm$)

Los resultados fueron obtenidos con la Sub Rasante del terreno.

Se muestra los espesores en pulgadas de la estructura del pavimento que requiere el tramo de vía Santo Domingo – 10 de agosto desde la abscisa Km 1+500 hasta el Km 3+000 además de 25 metros a cada lado por seguridad de la estructura en sus intersecciones a este tramo vial.

Tabla 89*Espesores de diseño estructura*

			MEZCLA ASFÁLTICA MR (psi)=450000 a1=0,441	D1 = 4 plg.
			BASE MR (psi)=29000 CBR=90% a2=0,135	D2 = 6 plg.
			SUB-BASE MR (psi)=15500 CBR=34% a3=0,113	D3 = 19 plg.
			SUBRASANTE MR=15086,5197156005 CBR=12%	
			ESPEJOR TOTAL (D1+D2+D3) =	29 plg.

Nota: Espesores y característica de cada capa de la estructura de pavimento, conformado por un espesor total de 29 plg.

Proyecto de drenaje vial

La vía troncal de la costa, en el tramo Santo Domingo – 10 de agosto, está ubicada en la provincia de Santo Domingo, se encuentra a una latitud de 379 metros sobre el nivel del mar, en la zona 17, hemisferio sur y de coordenadas UTM 709449.8 E 9974066.8 N.

Ubicación del proyecto en función de las estaciones meteorológicas.

En función de las cuencas hidrográficas del Ecuador y con el registro de los datos de la INAMHI, se obtuvo la estación meteorológica más cercana y los datos de precipitación máxima anuales de esta estación.

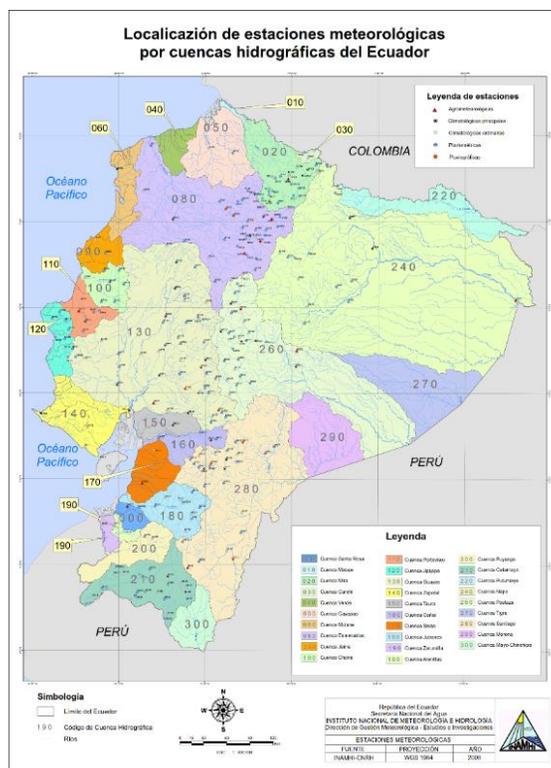
Para determinar la estación meteorológica más cercana que influye dentro del área de estudio se observa en el mapa de estaciones y para el presente estudio se utiliza la estación M0025 de la cual tenemos los datos para el diseño.

Estación Meteorológica M0025

Código de estación M0025, nombre La Concordia de latitud 00°01'28" S, 79°22'49" W de una elevación 0379 msnm ubicado en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Figura 92

Localización de estaciones meteorológicas por cuencas hidrográficas del Ecuador.



Nota: Recuperado de INAMHI (2015).

De la estación meteorológica M0025 se procedió a obtener los datos históricos de las precipitaciones máximas anuales de los registros del INAMHI, se tiene así estos registros para un periodo de 25 años corresponde una intensidad de lluvia diaria máxima $I_{dtr} = 9.18 \text{ mm/h}$.

Tabla 90*Intensidades máximas en 24 horas para varios periodos de retorno*

CODIGO	ESTACIÓN	X	Y	Z	SERIE DATOS	Nº DE AÑOS	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
M0025	La Concordia	681248,1947	10002948,67	379	1964 - 2011	48	5,89	7,29	8,16	9,18	9,92	10,63

Nota: Recuperado de INAMHI (2015).

INAMHI (2015) establece la siguiente ecuación para el cálculo de la intensidad máxima de precipitación, para un intervalo de concentración de 5 min sobre la estación usada para este estudio M00025.

$$I_{TR} = 78.451 * Id_{TR} * tc^{-0.239}; 5 \text{ min} < 24.10 \text{ min}$$

$$\therefore I_{TR} = 78.451 * 9.18 * 5^{-0.239} = 490.22 \text{ mm/h}$$

Caudal calculado según método racional

La metodología del método racional siguiendo la guía del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (2015) se debe considerar que el área de aportación sea menor a 50 km², en un periodo de retorno de 25 años, además especifica que el área de drenaje de la superficie de la vía le pertenece al talud de corte y el área cooperante de la calzada, Keller and Sherar (2008) indica que el volumen de flujo por el método racional se halla por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{C * I * Ap}{3.60}$$

Donde:

Q: caudal o gasto de la vía en m³/s

C: coeficiente de escurrimiento

I: intensidad de lluvia (mm/h), para una duración igual al tiempo de concentración

A: Área de la cuenca de drenaje en km²

El este proyecto se tiene la afectación en 2 tramos, el primer tramo el caudal total se obtiene de la suma del caudal que produce la calzada y el caudal generado por el talud de corte, para este tramo se tiene:

$$Q_{proyecto} = Q_{pavimento} + Q_{talud}$$

$$Q_p = \frac{C_{pavimento} * I * (b_{pavimento} * l)}{3.60} + \frac{C_{talud} * I * (b_{talud} * l)}{3.60}$$

Para el 2do tramo de estudio solo se tiene el caudal que es generado por el área de la calzada.

$$Q_p = \frac{C_{pavimento} * I * (b_{pavimento} * l)}{3.60}$$

Parámetros de diseño

- Pavimento asfáltico
- Pendiente 5% y 1%
- Periodo de retorno 25 años
- Longitud 1500 metros (1er tramo 350m, 2do tramo 1150)
- Ancho de calzada 5.65 metros

Se tiene que el área para los tramos de diseño es $A = B * L$, donde la longitud (L) es la distancia del tramo vial y el ancho cooperante (B) se utiliza en el presente proyecto el ancho de la calzada que es de 5.65 m, el ancho de talud se calcula iniciando del derecho de vía y que según el Ministerio de Transportes y Obras Públicas (2013) es de 25 m.

Ancho de talud

$$= \text{derecho de vía} - \text{ancho de carril} - \text{cuneta} - \text{parterre} - \text{berma} \\ - \text{bordillo}$$

$$\text{Ancho de talud} = 25 - 5.65 - 1 - 1.2 - 1.60 - 0.20 = 15.35 \text{ m}$$

Coeficiente de escorrentía

Para el diseño es necesario conocer el coeficiente de escorrentía del área que afecta al caudal de la cuneta, de acuerdo al Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (2015) se calcula un valor entre 0.80 a 0.90 para una superficie de escurrimiento de una

estructura de pavimento asfáltico, se precisa para el presente proyecto un coeficiente $C = 0.85$, para la escorrentía del talud se define con los valores de la tabla dada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Tabla 91

Coeficiente de escorrentía

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPECIABLE
		50%	20%	5%	1%	
SIN VEGETACION	IMPERMEABLE	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	SEMIPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	PERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
CULTIVOS	IMPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	SEMIPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	PERMEABLE	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
PASTOS VEGETACION LIGERA	IMPERMEABLE	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	SEMIPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	PERMEABLE	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
HIERBA, GRAMA	IMPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	SEMIPERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	PERMEABLE	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
BOSQUES DENSA VEGETACION	IMPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	SEMIPERMEABLE	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	PERMEABLE	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Nota: Recuperado del Ministerio de Transportes y Obras Públicas (2003).

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2003) se hace uso de un factor de seguridad igual a 1.30 por posible incendio, tomando un valor de escorrentía con los datos del proyecto, se tiene una pendiente media del 5%, en una zona de densa vegetación y un tipo de suelo semipermeable, bajo estos parámetros el coeficiente de escorrentía es de 0.35, dando un valor específico de:

$$C = 0.35 * 1.30 = 0.455$$

La zona de estudio presente diferente pendiente y en el 2do tramo no existe la afectación de la vegetación en el coeficiente de escorrentía.

Cálculo de caudal:

Tramo 1:

Longitud: 350 metros

$$Q_p = \frac{C_{pavimento} * I * (b_{pavimento} * l)}{3.60} + \frac{C_{talud} * I * (b_{talud} * l)}{3.60}$$

$$Q_p = \frac{0.85 * 490.22 * \left(\frac{5.65 * 350}{1000^2}\right)}{3.60} + \frac{0.52 * 490.22 * \left(\frac{15.35 * 350}{1000^2}\right)}{3.60}$$

$$Q_p = 0.002288 + 0.0038042 = 0.609 \frac{m^3}{s}$$

Tramo 2:

Longitud: 1150 metros.

$$Q_p = \frac{C_{pavimento} * I * (b_{pavimento} * l)}{3.60}$$

$$Q_p = \frac{0.85 * 490.22 * \left(\frac{5.65 * 1150}{1000^2}\right)}{3.60} = 0.75 \frac{m^3}{s}$$

Caudal de diseño (Metodología Manning)

El caudal de diseño según el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (2015)

se plantea la fórmula de Manning:

$$Q_{CH} = \frac{J^{1/2} * R_H^{\frac{2}{3}} * S_{max}}{n}$$

Donde:

Q_{CH} : Caudal hidráulico (m^3/s)

J: Pendiente geométrica

R_H : Radio hidráulico $R_H = S/P$ (m)

S: Área de la sección transversal ocupada (m^2)

P: Perímetro mojado (m)

S_{max} : Área de la sección transversal del conducto (m^2)

n: coeficiente de rugosidad de Manning

Se define las dimensiones de la cuneta siguiendo las especificaciones del Ministerio de Transporte de Obras Públicas (2003), para cunetas triangulares el talud interior que es adyacente a la calzada debe tener mínimo una relación de 3H:1V y como recomendación 4H:1V y para el talud exterior debe poseer la misma inclinación del talud

de corte; las dimensiones mínimas para el diseño de una cuneta triangular son de 15 cm de altura y 60 cm de ancho, se iniciará el diseño con estas dimensiones y a continuación se verificará si esta sección es adecuado y óptima para el tirante de agua.

Conforme a Sandoval (2020) para el cálculo por el método analítico se despeja la ecuación de Manning en función de la altura h , utilizando el resultado del caudal máximo calculado del proyecto, se tiene:

$$m_1 = \frac{Z_1}{h_1} = \frac{0.60}{0.20} = 3.00$$

$$m_2 = \frac{Z_2}{h_2} = \frac{0.20}{0.20} = 1.00$$

$$S = \frac{(m_1 + m_2) * h^2}{2} = \frac{(3 + 1) * h^2}{2} = 2h^2$$

$$P = h * (\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2})$$

$$P = h * (\sqrt{1 + 3^2} + \sqrt{1 + 1^2}) = 4.58h$$

$$R = \frac{S}{P} = \frac{(m_1 + m_2) * h}{2 * (\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2})} = \frac{2h^2}{4.58h} = 0.44h$$

$$Q_{\text{máxima del proyecto}} = \frac{J^{1/2} * R_H^{2/3} * S}{n}$$

Se calcula con el tirante normal con el caudal máximo que corresponde a los 2 tramos que conforma la vía de estudio, el coeficiente de rugosidad “n” para estructuras de hormigón según el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (2015) se mantiene en un intervalo de 0.014 a 0.017, para este estudio se utilizará un promedio, el coeficiente “n” toma un valor de 0.015.

Tramo 1:

$$0.609 = \frac{\frac{5.5^{1/2}}{100} * (0.44 * h)^{2/3} * (2 * h^2)}{0.015}$$

$$h = 0.28 \text{ m}$$

Tramo 2:

$$0.75 = \frac{\frac{5.5^{1/2}}{100} * (0.44 * h)^{2/3} * (2 * h^2)}{0.015}$$

$$h = 0.31 \text{ m}$$

La altura calculada para los 2 tramos de la vía es de 0.31 m, la misma es óptima para acoger el caudal del tirante normal calculado, a continuación, se verifica que el caudal de diseño es mayor al caudal calculado.

Tramo 1:

$$Q_p < Q_d$$

$$0.28 < \frac{\frac{5.5^{1/2}}{100} * (0.44 * 0.31)^{2/3} * (2 * 0.31^2)}{0.015}$$

$$0.28 < 0.80 \quad \text{ok}$$

Tramo 2:

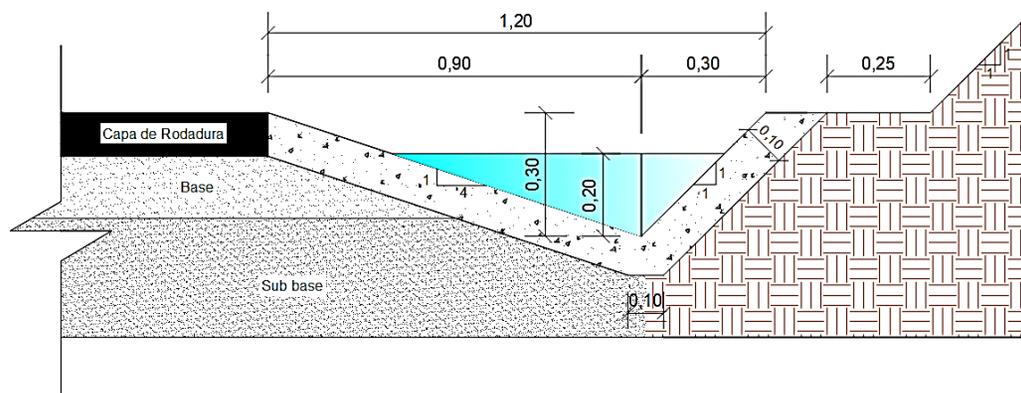
$$0.75 < \frac{\frac{5.5^{1/2}}{100} * (0.44 * 0.31)^{2/3} * (2 * 0.31^2)}{0.015}$$

$$0.75 < 0.80 \quad \text{ok}$$

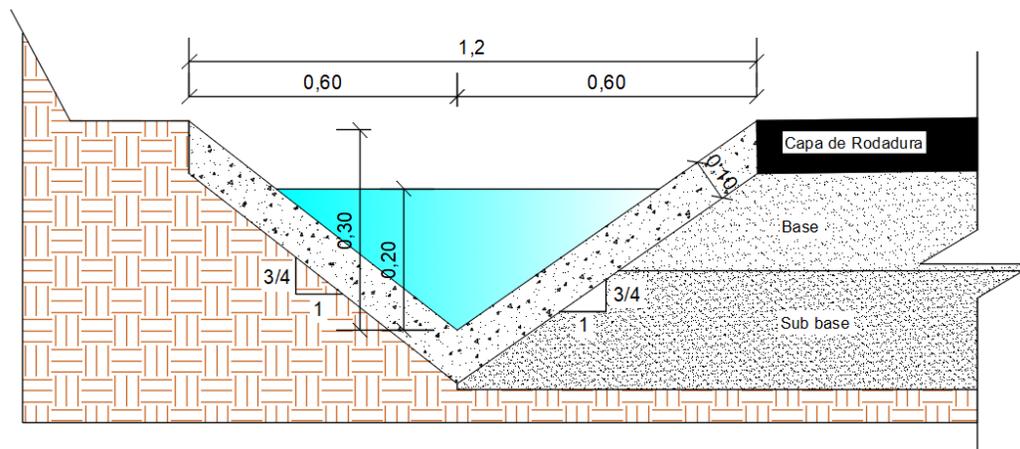
Se da como verificado que el caudal de diseño es mayor que el caudal calculado, por lo tanto, son óptimas para el tramo de diseño.

Geometría de cuenta

Se detalla el esquema geométrico final del diseño de cuenta triangular, para todo el proyecto de estudio, se adoptó por un talud interior con una relación 4H:1V y para el talud exterior una relación 1H:1V, se especifica el revestimiento de la cuneta igual a 0.10 m, recomendado por Alvarez Sacoto and Calle Rivera (2013) esto para impedir la erosión que produce la caída del agua, resultado de las pendientes pronunciadas.

Figura 93*Geometría del diseño de cuneta triangular*

Comparación de diseño de cuneta de proyecto

Figura 94*Geometría de cuneta actual*

Al realizar la comparación entre la cuneta actual y el diseño de cuneta necesaria para el caudal generado por el talud y el pavimento, se puede observar y analizar que el diseño es aceptable y óptimo para la vía de estudio.

Véase en el ANEXO C, los planos de la sección típica de cuneta.

Capítulo IV

Seguridad vial

Importancia de la seguridad vial

La seguridad vial radica en prevenir accidentes de tránsito o minimizar el resultado del mismo, el tránsito vehicular además de suministrar rapidez y comodidad a las personas que se benefician de este medio de transporte, puede originar accidentes, donde el factor humano es el principal causante.

La importancia de la seguridad vial consiste en la educación vial de las personas, tanto conductores como peatones, seguir las normas de seguridad vial y señales de circulación. La educación vial tiene como propósito fomentar en el conductor, pasajero o peatón las destrezas, habilidad e interés necesario para percibir conocimiento y equilibrio mental, que como resultado actúe de manera sensata ante las leyes, códigos y ordenanzas de tránsito vigentes, así prevenir y evitar accidentes de tránsito (Toapanta et al., 2012).

Control de tráfico

El presente capítulo especifica los diseños efectuados para el proyecto de señalética horizontal y vertical, se emplea las normas vigentes con conceptos y criterios de su utilización y ubicación, se diseña el número de elementos necesarios y recursos para mejorar el nivel de seguridad para los conductores y peatones.

Dispositivos de control de tráfico

Estos dispositivos de control están conformados por señalética vertical, horizontal y semáforos, la función de estos dispositivos son las siguientes:

- Anunciar al conductor sobre la situación actual de aquello que lo rodea.
- Comunicar la ubicación actual y la mejor selección de camino para llegar a su destino.
- Normalizar el empleo de la vía en todo momento.

- Advertir sobre posibles peligros que pueda enfrentarse el conductor.
- Recomendar la manera de conducir para sacar el mayor provecho del vehículo y de la vía, sin superar los límites de velocidad.
- Indicar sobre los servicios adicionales que se localizan en la ruta (Toapanta et al., 2012).

Normativa

Para el diseño de la señalética se toma las características físicas y de tamaño estipuladas en el RTE INEN 004-1 y RTE INEN 004-2 vigentes en el país. Se emplea las normas internacionales y locales que han sido aplicadas por el Ministerio de Obras Públicas, prefecturas, municipios y dirección nacional de tránsito.

Señalización horizontal

La función primordial es dirigir el tráfico a través de la vía, suministrando información al conductor sin exigir que desvíe su mirada de la vía, la señalética horizontal es clasificada como:

- Líneas.
- Flechas.
- Palabras.
- Flechas.
- Simbologías ilustradas en la calzada.
- Marcas del pavimento sobresalidas o bordillos montables.

Todos son empleados para controlar, evitar, advertir, aconsejar o informar a los conductores, pueden ser usados conjuntamente con señales verticales o ser usados por sí solas.

Señalización vertical

Señales regulatorias (S.R)

Son también llamadas restrictivas, su propósito es informar a los conductores las prohibiciones, responsabilidades, impedimentos y autorizaciones con respecto a la ocupación de la vía, vale destacar que el incumplimiento es considerado una infracción.

Este tipo de señales se clasifican en los siguientes grupos:

- Derecho de paso de vía.
- Inspección.
- Velocidad.
- Dirección o Circulación.
- Restricciones.
- Estacionamiento.

El tablero es de forma cuadrada, totalmente color blanco, círculo rojo, símbolo, letras color negro, estas características tienen dos excepciones, con la señalética de “PARE” que debe ser en forma ortogonal y “CEDA EL PASO” que posee una forma triangular.

Figura 95

Señales regulatorias



Nota: Recuperado de INEN (2011).

Doble vía (R2-2)

Esta señalética debe ubicarse al inicio de una calle de doble vía y reiterarse en cada intersección, siempre esta señalética debe ser ubicada a los 2 lados de la calle.

Su tablero debe ser de leyenda y fondo negro mate, su flecha y borde blanco tiene que ser reflectivo.

Figura 96

Señalética doble vía



Nota: Recuperado de INEN (2011)

Tabla 92

Dimensiones señalética doble vía

Código No.	Dimensiones (mm)	Dimensiones (mm) y serie de letras
R2 - 2A	900 x 300	100 cm
R2 - 2B	1350 x 450	140 cm

Nota: Recuperado de INEN (2011).

No rebasar (R2 – 13)

Esta señalética es utilizada para resaltar la prohibición de ejecutar la maniobra de rebasar en la vía con un solo carril de circulación en cada sentido, en vías de pavimento asfáltico se debe añadir señalética horizontal.

Se caracteriza siendo el símbolo y orla color negro, círculo rojo y con fondo blanco, ambos reflectivos.

Figura 97*Señalética no rebasar**Nota: Recuperado de INEN (2011).***Tabla 93***Dimensiones señalética de no rebasar*

Código No.	Dimensiones (mm)
R2-13 A	600 x 600
R2-13 B	900 x 900
R2-13 C	1200 x 1200

*Nota: Recuperado de INEN (2011).***Límite máximo de velocidad (R4 – 1)**

Esta señal es implementada para señalar la velocidad máxima autorizada en un tramo de vía, la instalación de esta señalética demanda un estudio previo, que analice el tipo de vía, su velocidad de diseño y de operativa, etc. Esta señalética se complementará con las placas: livianos, pesados y buses. Es importante que los límites máximos de velocidad sean escritos en números múltiplos de 10.

Se caracteriza por el símbolo y orla color negro, con círculo rojo reflectivo y fondo blanco también reflectivo.

Figura 98*Señalética límite máximo de velocidad**Nota: Recuperado de INEN (2011).***Tabla 94***Dimensiones señalética límite máximo de velocidad*

Código No.	Dimensiones (mm)
R4 -1 A	600 x 600
R4 -1 B	750 x 750
R4 -1 C	900 x 900

*Nota: Recuperado de INEN (2011).***Señales preventivas**

Se utilizan para prevenir a los conductores de peligros que se sitúan adelante, estas señaléticas advierten la exigencia de tener precaución y notifica la acción de reducir la velocidad de desplazamiento o realizar una maniobra, estas señales se instalan a una distancia mínima de 100 metros en carreteras urbanas y a 150 metros en carreteras rurales.

La colocación correcta de las señales preventivas mejora la seguridad vial, es de importancia el uso correcto y colocación en sitios necesarios, caso contrario, el uso reiterado disminuye la efectividad de estas señales.

Este tipo de señales se clasifican en los siguientes grupos:

- Alineamiento.

- Intersecciones.
- Aproximación a dispositivos de control de tránsito.
- Anchos, alturas y pesos.
- Asignación de carriles.
- Obstáculos en la vía.
- Peatonal.
- Complementaria.

Características:

La señalética preventiva tiene dimensiones generales y está definido por la velocidad de circulación.

Tabla 95

Dimensiones señalética preventiva

85 Percentile velocidad km/h	Dimensión de la señal (mm)
Menos de 60	600 x 600
70 - 80	750 x 750
más de 90	900 x 900

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Retro reflectividad

La totalidad de las señales preventivas deber ser retro reflectivas o iluminadas.

Ubicación

Según INEN (2011), las señales preventivas serán colocadas a criterio y esta puede colocarse al lado derecho de la vía, sin ninguna obstrucción lateral, debe constar con visibilidad total. En zonas urbanas las señales deben colocarse a no menos de 50 m y no más de 100 metros delante del sitio que se previene, mientras que en zonas rurales deben instalarse a no menos de 75 metros y no más de 225 metros delante del sitio que se previene.

Serie de alineamiento (P1)

Son instaladas a proximidad de curvas horizontales, las dimensiones dependen de la velocidad de circulación y la geometría del tramo.

Tabla 96

Guía para el uso de señales en curvas cerradas y abiertas.

85 percentile velocidad km/h	Deficiencia de velocidad (km/m)	Tipo de señal	Dimensiones mínimo de señal (mm)
95 y más		curva abierta	750 x 750
80		curva abierta	750 x 750
65	10 a 15	curva abierta	600 x 600
50		curva abierta o cerrada	600 x 600
95 y más		curva abierta	750 x 750
80		curva abierta	750 x 750
65	16 a 30	curva abierta o cerrada	600 x 600
50		curva cerrada	600 x 600
95 y más		curva abierta	900 x 900
80	31 a 45	curva abierta o cerrada	900 x 900
65		curva cerrada	750 x 750

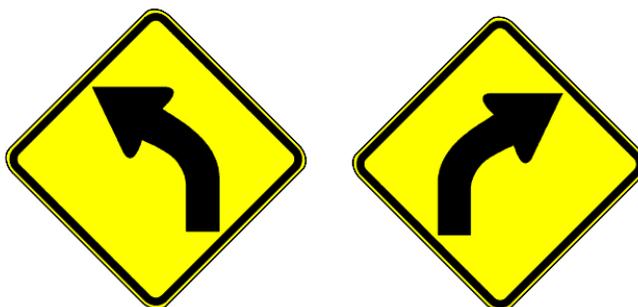
Nota: Recuperado de INEN (2011).

Curva abierta izquierda (P1-2I) derecha (P1-2D).

Advierte la aproximación de curvas abiertas u cerradas, y son colocadas con anterioridad a la curva, a una distancia de acuerdo a la ubicación ya señalada anteriormente, se caracteriza por el símbolo y orla color negro, además su fondo debe ser amarillo y retro reflectivo.

Figura 99

Señalética curva abierta izquierda / derecha



Nota: Recuperado de INEN (2011).

Tabla 97

Dimensiones señalética curva abierta

Código	Dimensiones (mm)
P1 - 2A (I o D)	600 x 600
P1 - 2B (I o D)	750 x 750
P1 - 2C (I o D)	900 x 900

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Puente angosto (R4-1).

Esta señalética debe ser usada antes de que exista un puente donde el ancho sea menor a la vía de circulación, en el caso que la calzada del puente sea menor a 5 metros se tiene que usar una señal complementaria (P4-8), se caracteriza por el símbolo y orla color negro, además su fondo debe ser amarillo y retro reflectivo.

Figura 100*Señalética puente angosto**Nota: Recuperado de INEN (2011).***Tabla 98***Dimensiones señalética puente angosto*

Código No.	Dimensiones (mm)
P4 - 1A	600 x 600
P4 - 1B	750 x 750
P4 - 1C	900 x 900

*Nota: Recuperado de INEN (2011)***Bandas transversales de alerta BTA; o de retumbos (P5-4)**

Esta señalética debe ser instalada para indicar la aproximación a un sector de retumbo en la superficie de la calzada, se caracteriza por el símbolo y orla color negro, además su fondo debe ser amarillo y retro reflectivo.

Figura 101*Señalética bandas transversales de alerta*

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Tabla 99

Dimensiones señalética bandas transversales de alerta

Código	Dimensiones (mm)
P6 - 5A	600 x 600
P6 - 5B	750 x 750
P6 - 5C	900 x 900

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Zona de derrumbes izquierda (P6-6) y derecha (P6-6D).

Esta señalética se usa para informar la cercanía a zona de posibles derrumbes a los lados de la vía, con posibilidad de caída de material sobre la vía, esta señalética se recomienda ser acompañada por una señal complementaria según la circunstancia, se caracteriza por el símbolo y orla color negro, además su fondo debe ser amarillo y retro reflectivo.

Figura 102

Señalética zona de derrumbes



Nota: Recuperado de INEN (2011).

Tabla 100

Dimensiones señalética zona de derrumbes

Código No.	Dimensiones (mm)
P6 - 6A (I o D)	600 x 600

Código No.	Dimensiones (mm)
P6 - 6B (I o D)	750 x 750
P6 - 6C (I o D)	900 x 900

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Vía compartida con ciclistas (P6-16).

Esta señalética debe ser utilizada para informar la cercanía a un tramo de vía compartida con ciclistas, esta señalética se recomienda ser acompañada por una señal complementaria según la circunstancia, se caracteriza por el símbolo y orla color negro, además su fondo debe ser amarillo y retro reflectivo.

Figura 103

Señalética vía compartida con ciclistas



Nota: Recuperado de INEN (2011).

Tabla 101

Dimensiones señalética vía compartida con ciclistas

Código No.	Dimensiones (mm)
P6 - 16A	600 x 600
P6 - 16B	750 x 750
P6 - 16C	900 x 900

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Peatones en la vía (P6 – 1).

Esta señalética tiene como objetivo informar la cercanía a una zona donde existe la posibilidad de que peatones se encuentren cruzando la vía, se caracteriza por el símbolo y orla color negro, además su fondo debe ser amarillo y retro reflectivo.

Figura 104

Señalética peatones en la vía



Nota: Recuperado de INEN (2011).

Tabla 102

Dimensiones señalética peatones en la vía

Código No.	Dimensiones (mm)
P6 - 1A	600 x 600
P6 - 1B	750 x 750
P6 - 1C	900 x 900

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Señales de información vial

Este grupo de señales tiene como objetivo orientar y dirigir a los conductores, facilitando información importante para que se pueda llegar al destino de una manera más ágil, cómoda y segura para el usuario. Estas señales no pierden su efectividad por uso reiterado, pero debe ser colocado en el sitio correcto y con un mensaje claro.

Forma. Este tipo de señales son de forma rectangular y de ser posible deben plantearse con el eje más largo en sentido horizontal.

Color. El color de fondo tiene que ser fácilmente perceptible por el usuario, las letras y símbolos de la señalética tiene que ser de un color que contraste con su fondo, las combinaciones a usar son: fondo verde (reflectivo), y las palabras, símbolos y orla de color blanco (reflectivo) (INEN, 2011).

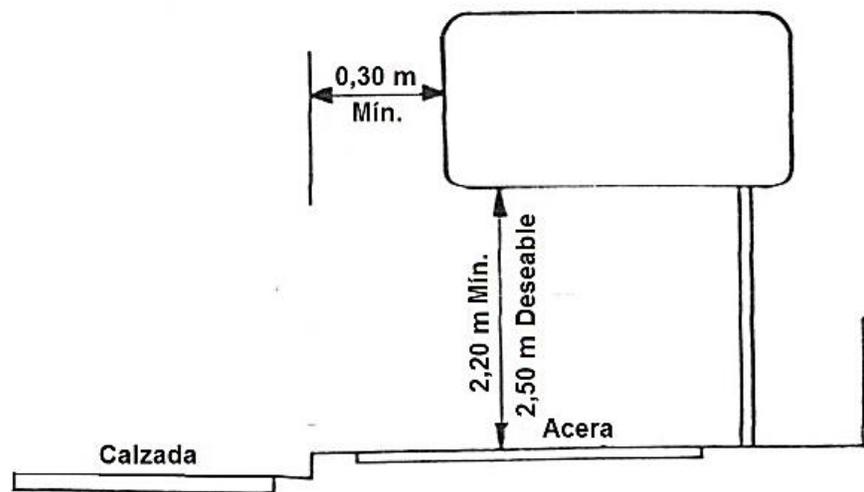
Dimensión. Las dimensiones son variables, debido a la cantidad de variedad de las leyendas a ser usadas, su dimensión depende del texto a ser colocado en la señal.

Señales aéreas

Los métodos usualmente usados de instalación de esta señalética se indican a continuación:

Figura 105

Soporte de poste simple – urbano



Nota: Recuperado de INEN (2011).

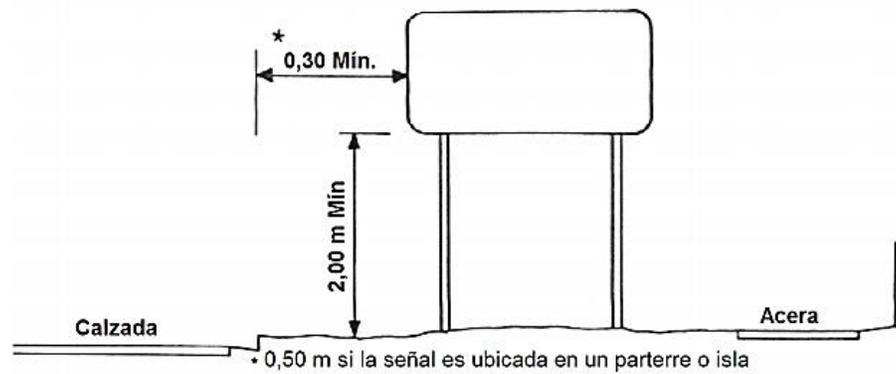
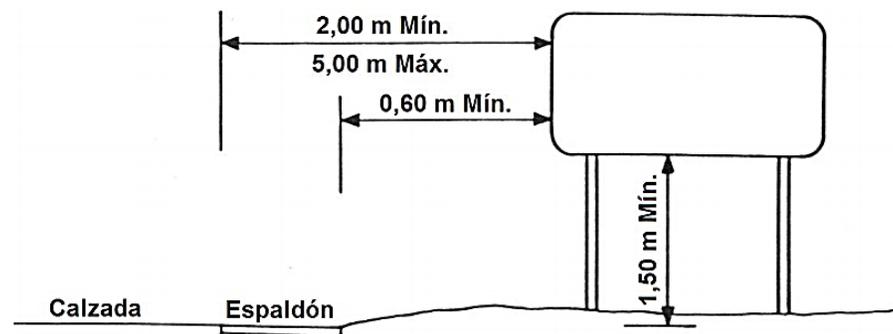
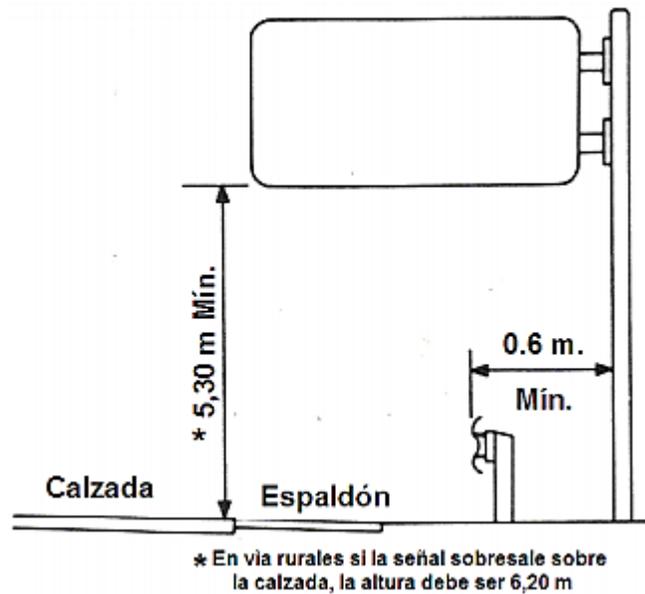
Figura 106*Soporte de dos postes – urbano**Nota: Recuperado de INEN (2011).***Figura 107***Soporte normal de dos postes – rural**Nota: Recuperado de INEN (2011).*

Figura 108*Soporte en voladizo**Nota: Recuperado de INEN (2011).***Delineadores de curva horizontal D6-2 (I o D)**

Esta señalética tiene como objetivo anunciar el cambio de rasante en el sentido de circulación que tiene que continuar el usuario, es utilizado en radio de curvas abiertas siendo esto derecha o izquierda según el sentido de la curva.

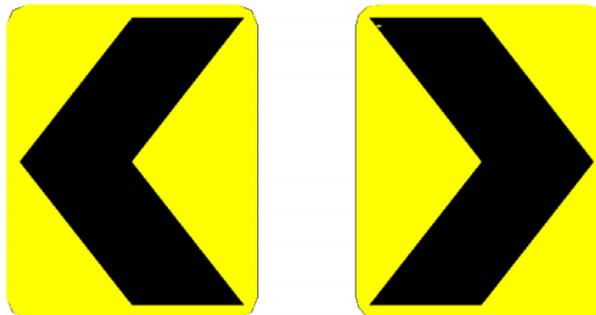
Figura 109*Señalética D6-2**Nota: Recuperado de INEN (2011).*

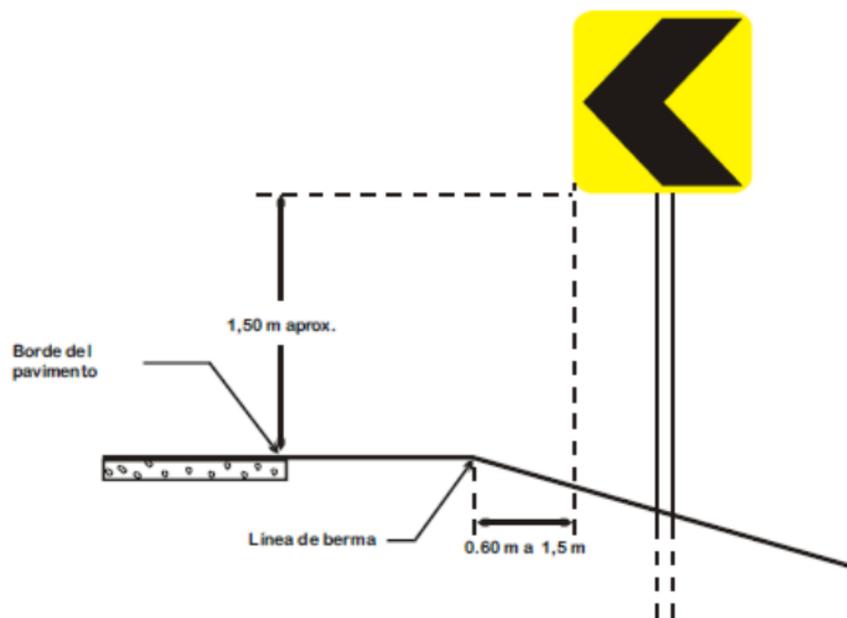
Tabla 103*Dimensiones señalética D6 – 2*

Código No.	Dimensiones (mm)
D6 - 2A (I o D)	600 x 750
D6 - 2B (I o D)	750 x 900
D6 - 2C (I o D)	900 x 1200

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Colocación y espaciamiento:

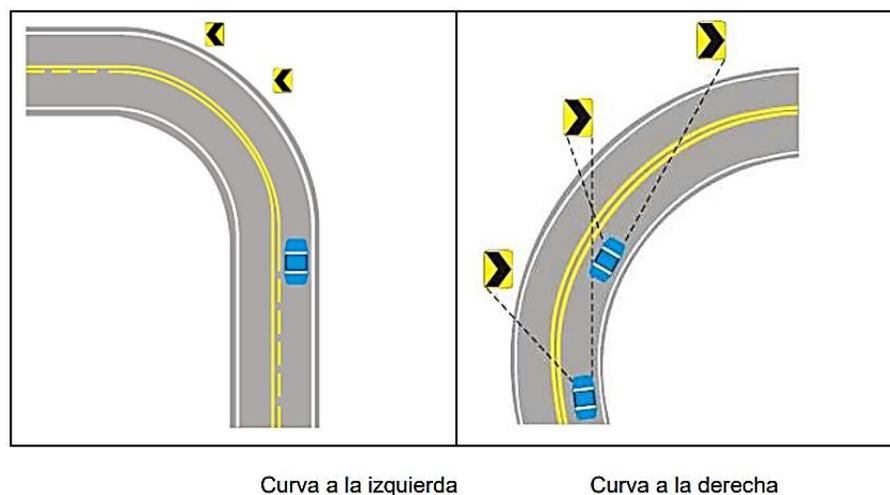
Los delineadores deben colocarse en postes metálicos semejantes a los usados para señales verticales, a una altura aproximada de 1.5 metros. Su ubicación lateral será en los dos lados de la vía, en caso de ser bidireccionales estas se instalarán en dos caras a una distancia entre 0.6 metros y 1.5 metros, a partir del borde del pavimento.

Figura 110*Ubicación lateral de los delineadores de curva horizontal*

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Figura 111

Ubicación longitudinal de los delineadores de curva horizontal



Curva a la izquierda

Curva a la derecha

Nota: Recuperado de INEN (2011).

Tabla 104

Resumen señalética en vía

Código	Señalética Vertical	Tamaño	Señalética	Unidad	Cantidad
R2 - 2A	Doble vía	0,90 x 0,30		u.	2
R2 - 13B	No rebasar	0,90 x 0,90		u.	2
R4 - 1 B	Máxima velocidad	0,75 x 0,75		u.	4
P1 - 2B (I)	Curva abierta izquierda	0,75 x 0,75		u.	3
P1 - 2B (D)	Curva abierta derecha	0,75 x 0,75		u.	3
P4 - 1C	Puente angosto	0,75 x 0,75		u.	2

Código	Señalética Vertical	Tamaño	Señalética	Unidad	Cantidad
P6 - 5B	Bandas transversales de alerta BTA	0,75 x 0,75		u.	2
P6 - 6B (D)	Zona de derrumbes	0,75 x 0,75		u.	2
P6 - 16B	Compartida con ciclistas	0,75 x 0,75		u.	2
P6 - 1B	Peatones en la vía	0,60 x 0,60		u.	2
D6 - 2B (I)	Delineadores de curva horizontal (izquierda)	0,60 x 0,75		u.	5
D6 - 2B (D)	Delineadores de curva horizontal (derecha)	0,60 x 0,75		u.	5
I1 - 3c	Señales informativas	1,80 x 2,40		u.	4
Señalización Horizontal				Unidad	Cantidad
Tachas reflectivas bidireccionales				u.	159
Marcas de pavimento				ml.	6618

Se recomienda realizar mantenimiento de las señales informativas y reglamentarias en la vía para menor costo de rehabilitación. Véase en el ANEXO C, los planos de la ubicación de la señalética en la vía.

Capítulo V

Presupuesto referencial

Rubros y Cantidades de obra

En base al inventario de la vía, se especifica los rubros necesarios y las cantidades de obra a ejecutar por cada rubro, a continuación, se presenta el cálculo de la cantidad de obra, considerando que el ancho de la calzada con berma es de 10.30 m. y la longitud del tramo vial es de 1362 metros (1500 – 138 puente = 1362 m.).

Tabla 105

Cantidades de obra

RUBRO	UNIDAD	Dimensiones			CANTIDAD
		L	A	B	
CALZADA					
Replanteo y nivelación en vía	m	1362			1362
Fresado de carpeta asfáltica	m ³	1362	10,3	0,11	1543,15
Excavación con maquinaria y desalojo	m ³	1362	10,3	0,36	5050,30
Subbase clase 3	m ³	1362	10,3	0,25	3507,15
Base clase 2 (camión cisterna, motoniveladora, y rodillo)	m ³	1362	10,3	0,15	2104,29
Asfalto RC-250 para imprimación	lt	1362	0,4		544,80
Carpeta asfáltica 4" con aditivo	m ³	1362	10,3	0,1	1402,86
Geomalla Biaxial BX 1100	m ²	1362	10,3		14028,60
SEÑALETICA HORIZONTAL					
Tachas reflectivas bidireccionales	u.	1362	0,28		381,36
Marcas de pavimento (Pintura amarilla y blanca/acrílica/a=0,10m)	ml.	1362	3		4086
Bandas transversales de alerta BTA	ml.	10.30	8		82.40
SEÑALETICA VERTICAL					
Señal preventiva (0,75 x 0,75)	u.	11			11
Mantenimiento de señal reglamentara	u.	18			18

RUBRO	UNIDAD	Dimensiones			CANTIDAD
MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES					
Agua para control de polvo	m3	1362	10,3	0,3	4208,58
Charlas de concientización - Relación Socializar	u.	2			2
Letrero ambiental del proyecto (0,6x1,2)	u.	2			2

Determinación de APUs

El precio unitario de cada rubro especificado, está calculado por el valor del costo de la maquinaria o el equipo utilizado, la mano de obra del operador se alinea al formulario de la Contraloría General del Estado (CGE) 2021 y se considera los materiales utilizados. (Véase en el ANEXO B, el detalle para el cálculo de los precios unitarios de los rubros).

Tabla 106

Rubro 1

Rubro:		Replanteo y nivelación en vía			
1, MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total	
Tiras	u	0,2	1,45	0,29	
Total materiales				0,29	
2, MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Rendimiento	Costo hora	Costo total	
Cadenero (ESTRUC, OCUP, D2)	Hora	0,14	3,65	0,511	
Topógrafo (ESTRUC, OCUP, C1)	Hora	0,14	4,04	0,57	
Total mano de obra				1,08	
3, EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Unidad	Rendimiento	Costo hora	Costo total	
Teodolito	hora	0,14	6,88	0,96	
Herramientas manuales	%Mo	1		0,05	
Total equipo, maquinaria y herramientas				1,02	
Total costo directo:				2,39	
Total costo indirecto (17%):				0,41	
Precio unitario total:				2,80	

Presupuesto

Para un efectivo funcionamiento del tramo de estudio, se describe a continuación el costo referencial que se recomienda para la vía Santo Domingo – 10 de agosto del Km 1+500 a 3+000, utilizando como fuente los valores referenciales de proyectos incorporados al Sistema Oficial de Contratación Pública, se resalta que este valor no debe ser tomado en cuenta dentro de un presupuesto directo de la rehabilitación del tramo vial, solo es un valor complementario recomendado no obligatorio.

Tabla 107

Presupuesto referencial

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P. Unitario	P. Total
CALZADA				
Replanteo y nivelación en vía	m	1362	2,80	3808,56
Fresado de carpeta asfáltica	m3	1543,15	7,60	11734,19
Excavación con maquinaria y desalojo	m3	5050,30	2,42	12231,31
Subbase clase 3	m3	3507,15	18,16	63683,41
Base clase 2 (camión cisterna, motoniveladora, y rodillo)	m3	2104,29	21,30	44827,22
Asfalto RC-250 para imprimación	lt	544,80	0,65	355,94
Carpeta asfáltica 4" con aditivo	m3	1402,86	151,44	212456,02
Geomalla Biaxial BX 1100	m2	14028,60	2,54	35590,95
SEÑALETICA HORIZONTAL				
Tachas reflectivas bidireccionales	u.	381,36	15,09	5756,36
Marcas de pavimento (Pintura amarilla y blanca/acrílica/a=0,10m)	ml.	4086	14,31	58488,84
Reductor de velocidad	ml.	82.40	10.30	1112.40
SEÑALETICA VERTICAL				
Señal preventiva (0,75 x 0,75)	u.	11	179,20	1971,25
Mantenimiento de señal reglamentara	u.	18	43,23	778,10
MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES				
Agua para control de polvo	m3	140,286	4,51	632,20
Charlas de concientización - Relación Socializar	u.	2	207,78	415,56
Letrero ambiental del proyecto (0,6x1,2)	u.	2	139,69	279,38
			TOTAL:	455700.52

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- El estudio de tráfico proporcionó un tráfico promedio diario anual (TPDA) actual de 4467 veh/día, con una clasificación funcional C1 y se estima, mediante el método geométrico un TPDA futuro en 20 años sea de 12765 veh/día.
- El estudio del tráfico logró determinar un ESAL de diseño para un periodo de 20 años con una tasa de crecimiento de 4.61% (MTOPI, 2018) de 38880282 ejes equivalentes de 8.2 Ton.
- Mediante el análisis de la metodología Highway Capacity Manual 2010 (HCM), se determinó un nivel de servicio tipo E.
- Mediante la metodología de inventario de patologías de daños, fallas y deterioros del pavimento se determinó que las afectaciones representan un 26.11% del área de la superficie del tramo en estudio, siendo la pérdida de agregado el mayor daño detectado.
- Según el análisis de las afectaciones el índice de serviciabilidad del pavimento actual es de 1.78, siendo clasificado en una categoría de regular a pobre.
- Al realizar la exploración de la estructura del pavimento mediante calicatas de excavación, se identificó los siguientes espesores: capa de rodadura asfáltica de 8 cm, 15 cm. de base y 25 cm de sub base.
- La caracterización del material granular de la base que conforma el pavimento existente, no cumple con las especificaciones técnicas de CBR y granulometrías expuestas por la normativa MTOPI F001, capítulo 403, por lo tanto, se sugiere el retiro de la capa de material granular existente y conformación de una base granular calificada, adicional, se verificó que el material granular de sub base

cumple de acuerdo a las especificaciones técnicas como clase 3 y sub rasante cumple con una sub rasante S1 y un CBR mayor a 10% en cumplimiento de la normativa vigente.

- Mediante el análisis y diseño de la estructura de pavimento se comprobó que los espesores actuales de la estructura del pavimento son insuficientes para el volumen vehicular actual y futuro de la vía.
- Se diseñó como alternativa de reposición los siguientes espesores: 10 cm. (4 plg.) de carpeta asfáltica, 15 cm de base clase 2 (6 plg), 48 cm de sub base clase 3 (19 plg).
- De acuerdo al estudio de drenaje vial, para un periodo de retorno de 25 años, mediante el método racional se determinó un caudal de proyecto de 0.75 m³/s, una altura de tirante de 0.20 m, se determinó que la geometría de la cuneta actual conforma las dimensiones adecuadas para el correcto drenaje de la vía con las siguientes características: cuneta triangular, altura de canal de 0.30 m, 0.10 m de borde libre, un ancho de coronación de 1.20 m, talud 1:3/4 y revestimiento de hormigón 210 kg/cm².
- De acuerdo al análisis de precios unitarios el presupuesto estimado para la reposición de la estructura del pavimento, incluye obras complementarias con un valor de \$ 455700.52 dólares.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar una intervención de mantenimiento de las estructuras contiguas, como es cuneta y bordillos.
- Se recomienda implementar un programa de conservación y mantenimiento, periódico o rutinario, con la finalidad de preservar la vida útil de la vía.

- Se recomienda realizar un estudio de cargas de tráfico mediante básculas colocadas estratégicamente en la localidad, a fin de evitar deterioros prematuros en la vía.
- Se sugiere que los materiales granulares sean elaborados mediante trituración y clasificación en plantas estandarizadas.
- Se recomienda que el cemento asfáltico a emplearse deberá cumplir los requisitos y ensayos que se presentan en la tabla 810.2.1 de la normativa vigente MOP-001F 2002 sección 810 para asfaltos y productos asfálticos.
- Se recomienda que los agregados para hormigón asfáltico mezclados en planta a colocarse en la estructura, debe tener el estricto cumplimiento de los requisitos de la sección 811-2.02 de la normativa MOP-001F 2002 sección 811.
- Se sugiere que el material bituminoso a utilizarse en la capa de rodadura tenga fiel cumplimiento de los requisitos expuestos en la normativa MOP-001F 2002 sección 812 agregados para tratamientos superficiales y sellos bituminosos.
- Se recomienda instalar la respectiva y necesaria señalización vertical y horizontal para mejorar la seguridad y comodidad del usuario en cumplimiento a la normativa INEN 004-1 e INEN 004-2 incluyendo la base de datos de georreferenciación.
- Se recomienda incluir una geomalla biaxial para refuerzo debido a las cargas de transitabilidad de vehículos pesados sobre la estructura de pavimento.
- Se recomienda establecer un sistema para la gestión y mantenimiento vial rutinario, en el área de influencia rural.

Referencias

- AASHTO, (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*.
- Alvarez Sacoto, J. A., & Calle Rivera, G. F. (2013). *Estudio de parámetros hidráulicos e hidrológicos para el dimensionamiento de obras para drenaje vial en la vía de acceso al sector “La Unión” en Santa Isabel–Azuay* Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4472>
- Arias, W. M. H. (2016). *Evaluación funcional y estructural para determinar el deterioro de la estructura del pavimento en la avenida Abdón Calderón, parroquia Conocoto, cantón Quito, provincia de Pichincha* Universidad Internacional del Ecuador]. Quito. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1263>
- Armas Gil, I. J. H. (2018). *EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA CAJABAMBA – RÍO NEGRO, UTILIZANDO EL MÉTODO VIZIR* UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA]. Cajamarca - Perú. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2540>
- Ashqui, H. F. C. (2018). *DISEÑO DEFINITIVO DE LA VÍA CAMINO REAL Y LA LINDERA, II ETAPA UBICADA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI, CANTÓN SALCEDO PARROQUIA SAN ANTONIO JOSÉ HOLGUÍN* Universidad Politécnica Salesiana]. Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16140/1/UPS%20-%20ST003794.pdf>
- Batallas, W. P. N. (2016). *Modelo de gestión de conservación vial para la red vial rural del cantón Santo Domingo* Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Quito. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12450>
- Bracho, G. E. A. (2016). *EVALUACIÓN DE FACTORES DE EQUIVALENCIA Y SUS EFECTOS EN LA REDUCCIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN LAS ESTRUCTURAS DE LOS PAVIMENTOS DE LA VÍA BARRANQUILLA CIÉNAGA* Corporación Universidad de la Costa]. Barranquilla. <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/807/1.140.869.326.pdf?sequence=1>
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de Tránsito-Fundamentos y Aplicaciones. México*:.
- Cedar Lake Ventures, I. (2019). *El clima promedio en Santo Domingo de los Colorados Ecuador*. <https://es.weatherspark.com/y/19366/Clima-promedio-en-Santo-Domingo-de-los-Colorados-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Climate-Data.org. (2019). *Santo Domingo de los Tsáchilas Clima*. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-santo-domingo-de-los-tsachilas/santo-domingo-de-los-tsachilas-2979/>
- Correa, L. E. E. (2018). *Análisis de alternativas en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO 93* Universidad de Cuenca]. Cuenca - Ecuador. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30348/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Cueva, G. M. S. (2019). *Estabilización de capas granulares para construcción y mantenimiento vial con organosilanos en la vía colectora E182 (Carchi)* Universidad Central del Ecuador]. Quito

- <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20242/1/T-UCE-0012-FIG-012-P.pdf>
- Delmar, S. (2006). *Conservación de Pavimentos: Conservando la inversión del patrimonio vial*. 6.
- Fernandez Vasquez, V. J. (2019). *Evaluación de las fallas estructurales del pavimento flexible de la avenida Francisco Vidal, Huacho* Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/4002/VICTOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gaete, G. T. R. (2012). *Evaluación Técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico* Pontificia Universidad Católica de Chile]. Chile. <https://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/364/306>
- Geovanny, O. O. J. (2015). *REHABILITACIÓN DE LA VÍA TANLAHUA – PERUCHO, ABCISAS Km 6+000 – Km 12+000* Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4341>
- Ghouse Ali Khan H M, M. J., Mirza Azeem Baig, Mohammed Maaz Malik, Jawed Alam, Mohammed Abdul Hameed. (2017). Failures in Flexible Pavements and Remedial Measures. *International Journal of Research*, 4(5), 945-952. <https://journals.pen2print.org/index.php/ijr/article/view/7441>
- Guillén, J. F. (2016). *Modelo de caracterización de la movilidad vehicular en el centro histórico de Cuenca* Universidad del Azual]. Cuenca. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5900/1/12220.pdf>
- Haro, R. S. P. (2016). *Estudio y diseño de la vía que comunica el sector cuatro esquinas de la parroquia Matus con la comunidad Santa Vela de la parroquia San Antonio de Bayushig, del cantón Penipe (l = 4.7km)* Universidad nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/3012>
- Hernández, Á. G. J., & Santos, O. E. M. (2015). *Análisis del nivel de servicio y capacidad vehicular de las intersecciones con mayor demanda en la ciudad de Azoguez* Universidad Politécnica Salesiana]. Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7704/1/UPS-CT004571.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. 12.
- Higuera Sandoval, C. H. (2015). *Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos* (Vol. 2). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Hurtado Arias, W. M. (2016). *Evaluación funcional y estructural para determinar el deterioro de la estructura del pavimento en la avenida Abdón Calderón, parroquia Conocoto, cantón Quito, provincia de Pichincha* [Tesis - Ingeniería Civil, UIDE]. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1263>
- Señalización vial (2011). https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015_reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-004-1-2011.pdf
- Keller, G., & Sherar, J. (2008). *Ingeniería de caminos rurales*. Instituto Mexicano del Transporte.
- Latorre, A., del Rincón Igea, D., & Arnal, J. (1996). *Bases metodológicas de la investigación educativa*.

- León, J. A. M. D., León, D. Z. D., & Esparza, A. R. (2015). Consideraciones, procedimientos y conceptos para la realización de un proyecto geométrico de carreteras. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7137425.pdf>
- Minchong, J. A. C., Pillajo, W. A. M., & Cedeño, X. V. M. (2011). *Los Geosintéticos Aplicados a Obras de Pavimento Flexible* [Escuela Superior del Litoral]. Guayaquil. <http://www.dspace.espol.edu.ec/123456789/21129>
- Morales, A. R. G. (2015). *Diseño de pavimento asfáltico por el método aashto-93 empleando el software disaashto-93* [Universidad Militar Nueva Granada]. Bogotá. <http://hdl.handle.net/10654/7544>
- MTOP. (2012). NEVI-12 2A.
- MTOP, M. d. T. y. O. P. (2018). *Ampliación y rehabilitación a cuatro carriles anillo vial de Santo Domingo*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/LOTAIP_3_anillo-vial-santo-domingo.pdf
- Nacevilla Toaquiza, L. J. (2018). *Evaluación funcional y estructural de pavimentos flexibles mediante tecnología termográfica y método UAV* [Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15050>
[Record #31 is using a reference type undefined in this output style.]
- Ogoño Aguinsaca, J. R., & Orozco Calva, L. F. (2020). *Análisis del tránsito vehicular en las intersecciones viales en el centro histórico de la ciudad de Loja, determinando el nivel de servicio* [Universidad Politécnica Salesiana]. Cuenca. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19381>
- Ordóñez, G. A. M. (2009). *Aplicación del manual de capacidad de carreteras (HCM) versión 2000, para evaluación del nivel de servicio de carreteras multicarriles* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3023_C.pdf
- Quintana, P. D. F., & Almeida, S. A. A. (2019). *MANUAL DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN* [Universidad Politécnica Salesiana]. Quito. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2245/garay_mprrios_ja.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rito, J. A. D. (2016). *Análisis de los procedimientos constructivos de bases y subbases granulares para pavimentos flexibles* [Universidad Nacional Autónoma de México]. Ciudad de México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10835/tesis.%20pdf.pdf?sequence=1>
- Sandoval, W. (2020). *Principios de la Hidráulica 2*. https://www.researchgate.net/publication/341165763_Principios_de_la_Hidraulica_2
- Silva Saldaña, J. N. (2016). *“ESTUDIO DEFINITIVO DE LA CARRETERA MAMAJPAMPA-CAÑARIS A NIVEL DE PAVIMENTADO – DISTRITODE CAÑARIS - PROVINCIA DE FERREÑAFE – DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE”* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Perú. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/1623>
- Toapanta, L. F. O., Calvopiña, G. C. R., & Argoti, T. E. V. (2012). *Estudio de tráfico y de accesibilidad en las intersecciones América – La Gasca y La Gasca – Gaspar*

- de Carvajal, de la ciudad de Quito* Universidad Central del Ecuador]. Quito.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/283>
- Vasquez, B. M. B. (2014). *Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira – El Arenal, en la comuna de Valdivia* Universidad Austral de Chile]. Chile.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcib957a/doc/bmfcib957a.pdf>
- Vicuña, A. L. V. (2015). *Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo Quichuay -Ingenio del km 0+000 al km 1+000 2014* Universidad Nacional del Centro de Perú (UNCP)]. Huancayo.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/421>
- Yaguachi, D. F. D. (2019). *DISEÑO DE PARQUEADERO VEHICULAR EN LA VÍA PANAMERICANA FRENTE AL COLEGIO DR. JODE M. VELASCO IBARRA DEL CANTON EL GUABO* Universidad Técnica de Machala]. Machala - Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13870/1/TTUAIC-2019-ICI-DE00002.pdf>

Anexos

Anexo A Ensayos de laboratorio

Anexo B Análisis de precios unitarios

Anexo C Planos