



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN I

**DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ -
BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F. M.**

PRESENTADO POR:

11641344 LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA

11641054 MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS

ASESORA METODOLÓGICA: ING. KARLA ANTONIA UCLÉS BREVÉ

ASESORA TEMÁTICA: ING. LUZ MARINA FUNES MATUTE

CAMPUS TEGUCIGALPA; ABRIL, 2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por permitirme llegar hasta este momento
tan importante de mi vida.

A mi madre Aracely Cristina Zepeda Alvarado por apoyarme desde el primer día en
que entré a la carrera y a motivarme a seguir adelante.

A mi hermana Shary Cristina Padilla Zepeda por escucharme en los momentos más
difíciles.

A mi tía, Lourdes Elizabeth Zepeda Alvarado porque me ha brindado un apoyo
incondicional y por compartir buenos momentos.

A mis abuelos, María Cristina Alvarado, Jesús Zepeda por siempre estar pendientes de
mí.

A mis amigos, Valeria López, Jorge Pineda, Helen Franco, Elías Sánchez Diego
Méndez, Delmis Álvarez y Alison Cardona que gracias por su apoyo hicieron de esta
experiencia una de las más inolvidables.

A todos los docentes que me ayudaron y me aconsejaron a lo largo de la carrera y me
apoyaron siempre.

-Lissie Carolina Padilla Zepeda

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado principalmente a mi familia por todo su apoyo incondicional.

A mis padres, Miguel Armando Paz Herrera y Diana Elizabeth Uclés Martínez, por darme todo lo que necesito en esta vida; amor, un hogar, una excelente educación, atención y apoyo sin importar nada.

A mi hermana, Kathy Uclés, y mi sobrino, Mateo García, por su apoyo y ánimos.

A mis abuelos, Ramón Paz Barahona, Gloria Herrera, y América Martínez, por su apoyo, atención y cariño.

A mi abuelo, "Cati" Uclés (QEPD), que, si aún estuviese con nosotros, sé que hubiese tenido todo su apoyo.

A mi novia, Valentina Mariucci, por todo su cariño y apoyo emocional en cualquier momento, sin importar cuando.

A todos mis tíos/as por apoyarme en cualquier momento.

A todas mis amistades, por todos los buenos momentos que hemos tenido.

A todos los docentes de la carrera que me han enseñado todo lo necesario para considerarme, a mí mismo, como un ingeniero civil.

-Miguel Armando Paz Uclés

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa GeoConsult por habernos facilitado el laboratorio para realizar los ensayos de laboratorio. Al Ing. Flores, Ing. Escobar e Ing. Murillo por brindarnos una experiencia única e inigualable.

Al topógrafo Melvin Argueta por ayudarnos a realizar el levantamiento topográfico del proyecto y enseñarnos a manejar la estación total.

Al hidrólogo Ramon Paz Barahona por toda su enseñanza en cuanto a la ingeniería, específicamente la hidrología y la hidráulica.

Al Ing. Miguel Paz Herrera por apoyarnos en lo que sea con el programa tecnológico de ArcGIS, su asistencia en los trabajos de campo y por la experiencia única en campo junto al Ing. Ramon Paz.

A nuestra asesora metodológica Ing. Karla Uclés por estar junto a nosotros durante las diez semanas del periodo y por aconsejarnos siempre a luchar y seguir adelante.

A nuestra asesora temática Ing. Luz Marina Funes por ser una persona maravillosa y carismática con nosotros a lo largo de la carrera y por ayudarnos a realizar algunos cálculos para el diseño de nuestro proyecto.

Al Ing. Marco Antonio Amaya por brindarnos una nueva experiencia en fotogrametría y sistemas de información geográfica.

Al Ing. Carlos Abrego por su asistencia tecnológica en cuanto a los análisis hidrológicos.

A los ingenieros Julio Baide, Julio Cesar Zerón y Miguel Velásquez por brindarnos sus conocimientos y por prestar atención a nuestras consultas temáticas.

RESUMEN EJECUTIVO

Como proyecto de graduación se ha considerado la solicitud de la Alcaldía Municipal de Santa Lucía, departamento de Francisco Morazán, consistente en el diseño de pavimento rígido para el camino "El Paiz - Bellaco – Escuela Marco Aurelio Soto", compuesto por dos tramos, el primer tramo con una longitud de 1.29 Km, desde la comunidad El Paiz, en la estación 1+117 hasta el sitio conocido como Bellaco, en la estación 2+416, el cual forma parte del camino vecinal 08V81700 y el segundo tramo, con una longitud de 1.02 Km, desde el desvío en Bellaco hasta la Escuela Marco Aurelio Soto ubicada en el sitio conocido como en Montañita El Edén.

Para realizar el diseño del pavimento rígido se ha obtenido información de campo consistente en el levantamiento topográfico y muestreo del suelo de la zona, para lo que ha sido necesario definir cinco estaciones para ambos tramos carreteros, en función del tipo de suelo observado en los taludes de corte. Asimismo, se ha realizado el conteo vehicular durante cinco días no consecutivos, coincidiendo con los trabajos de topografía, extracción de suelos y levantamiento aero-fotogramétrico, para lo que se utilizó un dron DJI Mavic Pro. Para complementar la información ha sido necesario llevar a cabo el inventario del drenaje existente considerando diámetros, tipo de tubería y cabezales, así como la revisión del cumplimiento utilizando la licencia ArcGIS para hacer uso de la información cartográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

A partir de la información de campo se ha realizado el diseño geométrico de 2.31 kilómetros de carretera, adaptada a la geometría del camino existente con el propósito de realizar la menor cantidad de cambios de alineamiento horizontal y vertical, a partir de la revisión de radios y pendientes, asimismo, se han definido dos secciones típicas, cunetas y taludes para cada tramo carretero, cumpliendo con los parámetros de diseño y manteniendo el costo del proyecto dentro de la capacidad presupuestaria de la Alcaldía Municipal de Santa Lucía.

De la información resultante de los análisis de suelos y conteo vehicular se ha definido la estructura de la carretera, específicamente los espesores de la subbase y de la estructura de concreto hidráulico, para lo que se han utilizado los criterios establecidos por el Manual de Carreteras de Honduras.

Palabras clave: cabezal, cuneta, drenaje, dron, talud

ABSTRACT

As a graduation project, the request of the Municipal Mayor's Office of Santa Lucía, department of Francisco Morazán, has been considered, consisting of the design of a rigid pavement for the "El Paiz - Bellaco - Marco Aurelio Soto School" road, made up of two sections, the first section with a length of 1.29 km, from the El Paiz community, at station 1 + 117 to the site known as Bellaco, at station 2 + 416, which is part of the 08V81700 local road and the second section, with a length of 1.02 km, from the detour in Bellaco to the Marco Aurelio Soto School located in the place known as Montañita El Edén.

To carry out the design of the rigid pavement, field information has been obtained consisting of the topographic survey and soil sampling of the area, for which it has been necessary to define five stations for both road sections, depending on the type of soil observed on the slopes cutting Likewise, the vehicle count has been carried out for five non-consecutive days, coinciding with the topography, soil extraction and aero-photogrammetric survey work, for which a DJI Mavic Pro drone was used. carry out the inventory of the existing drainage considering diameters, type of pipe and heads, as well as the compliance review using the ArcGIS license to make use of the cartographic information of the National Geographic Institute (IGN).

From the field information, the geometric design of 2.31 kilometers of road has been made, adapted to the geometry of the existing road to make the least amount of horizontal and vertical alignment changes, based on the review of radio and likewise, two typical sections, ditches and slopes have been defined for each road section, complying with the design parameters, and keeping the cost of the project within the budgetary capacity of the Santa Lucía Municipal Mayor's Office.

From the information resulting from the soil analysis and vehicle count, the structure of the road has been defined, specifically the thickness of the subbase and the hydraulic concrete structure. Some criteria's have been established by the Highway Manual of Honduras.

Keywords: header, gutter, drain, drone, slope

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción	1
II.	Planteamiento de problema.....	3
2.1	Precedentes del problema.....	3
2.2	Definición del problema.....	5
2.3	Justificación	6
2.4	Preguntas de investigación	7
2.5	Objetivos	8
2.5.1	Objetivo General	8
2.5.2	Objetivos Específicos	8
III.	Marco teórico.....	9
3.1	Carreteras.....	9
3.1.1	Clasificación de Calles y Carreteras.....	9
3.2	Topografía.....	10
3.2.1	Cartografía.....	10
3.2.2	Fotogrametría.....	10
3.2.1	Levantamiento Aero-Fotogramétrico con Dron.....	12
3.2.2	Levantamiento Topográfico con Estación Total.....	12
3.3	Mecánica de suelos	13
3.3.1	Geología Regional	13
3.3.2	Tamaño de Partícula de Suelo	14
3.4	Ensayos de laboratorio para la clasificación de los suelos.....	15
3.4.1	Granulometría	15
3.4.1	Límites de Atterberg	19
3.4.2	California Bearing Ratio (CBR).....	21

3.5	Clasificación de los suelos.....	21
3.5.1	Sistema de Clasificación AASHTO-93.....	22
3.5.2	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.....	23
3.6	Características del tránsito vehicular	25
3.6.1	Volumen de Tránsito	25
3.6.2	Composición del Tránsito	27
3.6.1	Consideraciones para el Cálculo de Ejes Equivalentes.....	29
3.7	Diseño geométrico de carreteras.....	31
3.7.1	Clasificación por Tipo de Terreno.....	31
3.7.2	Velocidad	32
3.7.3	Distancia de Visibilidad.....	34
3.7.1	Coeficiente de Fricción Lateral.....	35
3.7.2	Relación Peralte y Rasante.....	35
3.7.1	Radios Mínimos de Curvatura.....	36
3.7.2	Pendientes Máximas y Mínimas	37
3.7.1	Curvas Verticales	38
3.8	Secciones Transversales.....	41
3.8.1	Calzada.....	41
3.8.2	Corona.....	42
3.8.3	Pendiente Transversal	42
3.8.4	Bombeo	42
3.8.5	Hombros.....	42
3.8.6	Taludes.....	42
3.9	Hidrología	43
3.9.1	Conceptos Hidrológicos.....	43

3.9.2	Mediciones Hidrológicas.....	45
3.9.3	Análisis Hidrológico	51
3.10	Drenaje.....	52
3.10.1	Drenaje Longitudinal	52
3.10.2	Drenaje Transversal: Alcantarillas.....	56
3.10.3	Método Empírico de Talbot.....	59
3.11	Pavimento rígido.....	60
3.11.1	Estructura de un Pavimento Rígido.....	61
3.12	Métodos de diseño de pavimento rígido	62
3.12.1	Método de Diseño AASHTO-93	62
3.12.2	Método Portland Cement Association (PCA)	70
3.13	Señalización.....	73
3.13.1	Código de colores.....	73
3.13.2	Señales Verticales.....	74
3.13.3	Señalización Horizontal	77
IV.	Metodología.....	79
4.1	Técnicas e Instrumentos Aplicados	79
4.1.1	Extracción de muestras de suelos.....	79
4.1.2	Ensayos de Laboratorio	80
4.1.3	Levantamiento Topográfico	84
4.1.4	Estudios Complementarios de la Zona.....	84
4.1.5	Estudio del Tránsito Vehicular.....	85
4.1.6	Diseño Geométrico.....	85
4.1.7	Análisis Hidrológico	86
4.1.8	Diseño de Drenaje	86

4.2	Materiales.....	87
4.2.1	Suelo.....	87
4.2.2	Agua.....	87
4.2.3	Cal Hidratada.....	87
4.2.4	Madera.....	87
4.2.5	Cinta Adhesiva y Plástico de Colores.....	87
4.3	Metodología de estudio.....	87
4.3.1	Ensayos de Laboratorio.....	87
4.3.2	Límites de Atterberg.....	89
4.3.3	Índice de Grupo.....	90
4.3.4	Variables de Diseño.....	91
4.3.5	Diseño Geométrico.....	98
4.3.6	Factores de Diseño.....	99
4.3.7	Diseño de Espesor con "Pavement Designer" para Tramo 1.....	107
4.3.8	Diseño de Espesor con "Pavement Designer" para Tramo 2.....	111
4.3.9	Diseño de Espesor por Método PCA para Tramo 1.....	111
4.3.10	Diseño de Espesor por Método PCA para Tramo 2.....	122
4.3.11	Delimitación de las Cuencas.....	130
4.3.12	Cálculo de Caudal.....	133
4.3.13	Revisión y Diseño de Drenaje.....	143
4.4	Cronograma de actividades.....	150
V.	Resultados y Análisis.....	151
5.1	Ubicación de Banco de Material Selecto.....	151
5.2	Ensayos de laboratorio.....	151
5.2.1	Resultados de Ensayos de Laboratorio.....	151

5.3	Clasificación del suelo	152
5.4	Diseño geométrico	152
5.5	Factores de diseño.....	153
5.5.1	Cálculo de CBR.....	153
5.5.2	Pesos por Eje.....	154
5.5.3	Cálculo de ESAL.....	154
5.5.4	Diseño de Espesores Utilizando el Método PCA y programa Pavement Designer 155	
5.6	Análisis de cuencas.....	156
5.7	Diseño de drenaje longitudinal	158
5.8	Revisión de alcantarillado existente.....	159
5.9	Señalización.....	160
5.10	Levantamiento aero-fotogramétrico	161
5.11	Presupuesto.....	162
VI.	Conclusiones	163
VII.	Recomendaciones.....	165
ANEXOS	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Red vial nacional por tipo de calzada según tipo de red (km).....	4
Tabla 2.	Red vial principal por tipo de calzada y departamento	4
Tabla 3.	Litología local de la región.....	14
Tabla 4.	Tamaño de grano (mm)	15
Tabla 5.	Tamaños estándar de tamiz para granulometría gruesa.....	16
Tabla 6.	Tamaños estándar de tamiz para granulometría fina.....	17

Tabla 7. Clasificación general de suelo.....	22
Tabla 8. Clasificación general de suelo pt. 2	23
Tabla 9. Simbología extra que se utiliza en la clasificación de SUCS.....	24
Tabla 10. Límite de peso por eje.....	31
Tabla 11. Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales	32
Tabla 12. Velocidades directrices (km/h).....	34
Tabla 13. Peralte según la característica de la zona	36
Tabla 14. Radios mínimos absolutos.....	37
Tabla 15. Valores del factor K para curvas convexas.....	40
Tabla 16. Valores del factor K para curvas cóncavas.....	41
Tabla 17. Tipo de superficie según el bombeo	42
Tabla 18. Diferentes tipos de precipitación	43
Tabla 19. Clasificación hidrológica de los suelos de Honduras tipo A.....	45
Tabla 20. Clasificación hidrológica de los suelos de Honduras tipo B.....	46
Tabla 21. Clasificación hidrológica de los suelos de Honduras tipo C.....	46
Tabla 22. Clasificación hidrológica de los suelos de Honduras tipo D.....	47
Tabla 23. Coeficiente de escorrentía C.....	50
Tabla 24. Valor del coeficiente "n"	54
Tabla 25. Velocidades máximas para diseño de canal	55
Tabla 26. Especificaciones de alcantarillas de concreto (sin refuerzo).....	58
Tabla 27. Especificaciones de alcantarillas de concreto (con refuerzo)	58
Tabla 28. Especificaciones para alcantarillas de PVC	59
Tabla 29. Valores del coeficiente C de la fórmula de Talbot.....	60
Tabla 30. Porcentaje de camiones en el carril de diseño	64
Tabla 31. Número de carriles en una dirección.....	64

Tabla 32. Desviación estándar en función a la confiabilidad (R%).....	65
Tabla 33. Valores de error estándar So a utilizar	66
Tabla 34. Niveles de confiabilidad R (%) en relación con el tipo de carretera.....	66
Tabla 35. Confiabilidad y factores de seguridad recomendados.....	67
Tabla 36. Calidad de drenaje.....	68
Tabla 37. Valores de coeficiente de drenaje Cd.....	68
Tabla 38. Valores de coeficiente de transmisión de carga J.....	69
Tabla 39. Correlación entre la resistencia a la compresión y el Módulo de elasticidad Ec.	69
Tabla 40. Valores del factor de pérdida de soporte Ls por el tipo de base o subbase.....	70
Tabla 41. Correlación aproximada entre clasificación de suelos y ensayos	72
Tabla 42. Código de colores.....	74
Tabla 43. Ancho de líneas horizontales.....	78
Tabla 44. Ubicación longitudinal de las señales preventivas para protección de obras.....	78
Tabla 45. Instrumentos para realizar la granulometría de un suelo.....	82
Tabla 46. Instrumentos para realizar Límites de Atterberg	83
Tabla 47. Horario de estudio de tránsito vehicular.....	85
Tabla 48. Pendientes resultantes de ArcGIS.....	93
Tabla 49. Velocidades directrices (km/h).....	93
Tabla 50. Porcentajes de peralte según las características de la zona	94
Tabla 51. Radios mínimos según peralte y velocidad.....	95
Tabla 52. Pendiente máxima longitudinal según tipo de carretera.....	96
Tabla 53. Factor K de curvas convexas	97
Tabla 54. Factor K para curvas cóncavas	97
Tabla 55. Cuento de tránsito vehicular "El Paiz - Bellaco"	99
Tabla 56. Cuento de tránsito vehicular "Bellaco – Escuela Marco Aurelio Soto"	100

Tabla 57. Promedio de tránsito vehicular por hora y doce horas.....	100
Tabla 58. Promedio de tránsito vehicular diurno/nocturno.....	101
Tabla 59. Promedio de tránsito vehicular a las 24 hrs y a los 365 días.....	101
Tabla 60. Porcentaje de camiones tramo 1 y 2.....	102
Tabla 61. Factor de distribución por dirección.....	104
Tabla 62. Factor de distribución por carril.....	105
Tabla 63. Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos	106
Tabla 64. CBR subrasante para cada tipo de suelo.....	107
Tabla 65. Tipo de tráfico según el tipo de carretera.....	108
Tabla 66. Periodo de diseño según el tipo de carretera.....	108
Tabla 67. Población total de Santa Lucia, FM 2013.....	109
Tabla 68. Población total de Santa Lucia, FM 2018.....	109
Tabla 69. Confiabilidad recomendada según tipo de carretera.....	109
Tabla 70. Porcentaje de losas agrietadas.....	110
Tabla 71. Efectos de la subbase granular sobre los valores de k.....	110
Tabla 72. Criterios para el diseño de losa de concreto hidráulico.....	111
Tabla 73. Correlación aproximada entre clasificación de suelos y ensayos.....	112
Tabla 74. Efecto de la subbase sobre los valores "k".....	112
Tabla 75. Esfuerzo equivalente sin hombros de concreto análisis por fatiga (eje sencillo)	113
Tabla 76. Esfuerzo equivalente sin hombros de concreto (eje tándem).....	114
Tabla 77. Factor de erosión para ejes sencillos. Pavimento sin dovelas y sin hombros de concreto.....	115
Tabla 78. Factor de erosión para ejes tándem. Pavimento sin dovelas y sin hombros de concreto	116
Tabla 79. Número de carriles en ambas direcciones (Fc).....	117

Tabla 80. Número de carriles en una sola dirección (Fc).....	118
Tabla 81.Tabla resumen para cálculo de % de fatiga y erosión.....	121
Tabla 82. Espaciamento entre juntas	122
Tabla 83. Criterios para el diseño de losa de concreto hidráulico tramo 2.....	122
Tabla 84. Correlación aproximada entre clasificación de suelos y ensayos	123
Tabla 85. Efecto de la subbase sobre los valores "k"	123
Tabla 86. Esfuerzo equivalente sin hombros, análisis por fatiga (tramo 2)	124
Tabla 87. Factor de erosión sin dovelas y sin hombros de concreto (tramo 2).....	125
Tabla 88. Cálculo de % de fatiga y erosión (tramo 2).....	129
Tabla 89. Espaciamento entre juntas (tramo 2)	130
Tabla 90. Estacionamiento de las áreas de flujo.....	133
Tabla 91. Área de flujo.....	134
Tabla 92. Cálculo de coeficiente de escorrentía	138
Tabla 93. Valores C calculados	139
Tabla 94. Cálculo de tiempo de concentración para cada subcuenca	140
Tabla 95. Resultados de intensidades.....	142
Tabla 96. Cálculo de caudales.....	142
Tabla 97. Ubicación y dimensionamiento de las cunetas.....	144
Tabla 98. Método Newton-Raphson.....	145
Tabla 99. Cálculo de velocidad de escurrimiento.....	146
Tabla 100. Cálculo de longitud entre retardador	147
Tabla 101. Caudal de diseño, ubicación y dimensiones del alcantarillado existente	148
Tabla 102. Verificación de cumplimiento de áreas según fórmula de Talbot	148
Tabla 103. Resultados finales de ensayos de laboratorio	151
Tabla 104. Resultados finales mediante clasificación método AASHTO	152

Tabla 105. Datos finales del alineamiento vertical y horizontal.....	153
Tabla 106. Determinación del CBR.....	153
Tabla 107. Límites de peso por eje para camiones C2 y C3	154
Tabla 108. Datos para cálculo de ESAL	155
Tabla 109. Resultado final de cálculo de ESAL vida útil.....	155
Tabla 110. Resultados de espesores método PCA y Pavement Designer.....	155
Tabla 111. Datos de las áreas de flujo del proyecto	157
Tabla 112. Datos de retardadores por tramo	158
Tabla 113. Señalización vertical.....	160
Tabla 114. Presupuesto final del proyecto.....	162
Tabla 115. Asignación de símbolos de grupo SUCS	192
Tabla 116. Contenido de humedad para límite plástico Est. 0+060	194
Tabla 117. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 0+060.....	194
Tabla 118. Contenido de humedad para límite plástico Est. 1+110	196
Tabla 119. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 1+110.....	196
Tabla 120. Contenido de humedad para límite plástico Est. 1+370	198
Tabla 121. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 1+370.....	198
Tabla 122. Contenido de humedad para límite plástico Est. 1+670	200
Tabla 123. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 1+670.....	200
Tabla 124. Gráfica 22. Contenido de humedad para límite plástico Est. 2+280.....	202
Tabla 125. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 2+280.....	202
Tabla 126. Ficha de costo unitaria Levantamiento Topográfico.....	206
Tabla 127. Ficha de costo unitaria Corte de Material	206
Tabla 128. Ficha de costo unitaria Relleno de Material	207
Tabla 129. Ficha de costo unitaria Conformación de Subrasante.....	207

Tabla 130. Ficha de costo unitaria Señalización Horizontal	208
Tabla 131. Ficha de costo unitaria Señalización Vertical	208
Tabla 132. Ficha de costo unitaria Retardadores.....	209
Tabla 133. Ficha de costo unitaria Alcantarilla de hormigón de 30"	209
Tabla 134. Ficha de costo unitaria Pavimento Rígido.....	210

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Desvío Est. 1+300 hacia la Escuela Marco Aurelio Soto	5
Ilustración 2. Dron Mavic Pro.....	12
Ilustración 3. Estación Total.....	13
Ilustración 4. Tamizadora industrial para ensayo granulométrico.....	16
Ilustración 5. Copa Casagrande.....	20
Ilustración 6. Determinación del límite plástico.....	20
Ilustración 7. Gráfica de plasticidad.....	24
Ilustración 8. Vehículos de transporte para circular en Honduras.....	29
Ilustración 9. Tipo 1 y 2 de curvas verticales simétricas.....	38
Ilustración 10. Tipo 3 y 4 de curvas verticales simétricas	39
Ilustración 11. Curva convexa simétrica	39
Ilustración 12. Curva convexa asimétrica.....	39
Ilustración 13. Curva cóncava simétrica	40
Ilustración 14. Curva cóncava asimétrica.....	41
Ilustración 15. Escorrentía Superficial	45
Ilustración 16. Capacidad hidrológica de los suelos de Honduras.....	48
Ilustración 17. Mapa forestal de Honduras.....	49
Ilustración 18. Sección transversal de una cuneta	53
Ilustración 19. Sección típica de una cuneta.....	54

Ilustración 20. Retardadores.....	56
Ilustración 21. Descripción de una alcantarilla.....	57
Ilustración 22. Localización de alcantarilla en su drenaje natural.....	57
Ilustración 23. Ejemplo de señales bajas.....	75
Ilustración 24. Ejemplo de señales elevadas.....	75
Ilustración 25. Señal de "ALTO".....	76
Ilustración 26. Señal de "CEDA EL PASO".....	77
Ilustración 27. Estaciones de la extracción de muestras de suelo.....	80
Ilustración 28. Levantamiento topográfico Est. 1+540.....	84
Ilustración 29. Mapa de terreno de la zona según sus pendientes naturales.....	92
Ilustración 30. Selección de tipo de proyecto en programa Pavement Designer.....	107
Ilustración 31. Delimitación de las microcuencas.....	132
Ilustración 32. Capacidad hidrológica tipo B.....	135
Ilustración 33. Mapa de pendientes.....	136
Ilustración 34. Mapa forestal del proyecto.....	137
Ilustración 35. Ubicación del banco de material selecto EST 2+280.....	151
Ilustración 36. Delimitación de microcuencas.....	156
Ilustración 37. Levantamiento Aero-fotogramétrico del tramo carretero.....	161
Ilustración 38. Est. 0+200 tramo 1.....	179
Ilustración 39. Est. 0+600 tramo 1.....	179
Ilustración 40. Est. 0+750 tramo 1.....	180
Ilustración 41. Est. 0+850 tramo 1.....	180
Ilustración 42. Est.1+300 desvío "Bellaco".....	181
Ilustración 43. Est. 1+500 tramo 2.....	181
Ilustración 44. Est. 1+700 tramo 2.....	182

Ilustración 45. Est. 1+950 tramo 2	182
Ilustración 46. Est 2+280 (BMS)	183
Ilustración 47. Est. 2+300 Escuela Marco Aurelio Soto	183
Ilustración 48. Extracción de muestra de suelo Est. 0+060	184
Ilustración 49. Extracción de muestra de suelo Est. 1+110	184
Ilustración 50. Extracción de muestra de suelo Est. 1+370	185
Ilustración 51. Extracción de muestra de suelo Est. 1+670	185
Ilustración 52. Extracción de muestra de suelo Est. 1+280	185
Ilustración 53. Levantamiento topográfico Est. 1+340.....	186
Ilustración 54. Levantamiento topográfico Est. 1+400.....	186
Ilustración 55. Levantamiento aero-fotogramétrico	186
Ilustración 56. Ensayo de límite líquido GeoConsult.....	187
Ilustración 57. Ensayo de límite plástico GeoConsult	187
Ilustración 58. Ensayo de peso específico GeoConsult (adicional)	188
Ilustración 59. Revisión de diámetro de la alcantarilla en la Est. 2+277.....	188
Ilustración 60. Revisión de diámetro de la alcantarilla en la Est. 2+075.....	189
Ilustración 61. Limpieza de alcantarilla Est. 2+075 para cálculo de diámetro.....	189
Ilustración 62. Revisión de diámetro de la alcantarilla en la Est. 1+990.....	190
Ilustración 63. Doble alcantarilla Est. 1+990	190

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Distribución de la red vial por tipo de carretera.....	3
Gráfica 2. Actividad económica Santa Lucía, FM.	7

Gráfica 3. Curva de distribución de tamaño de partícula a través del análisis de tamiz e hidrómetro	17
Gráfica 4. Cálculo de D10, D60, y D30	18
Gráfica 5. Diferentes tipos de curva de distribución de tamaño de grano de partícula.....	19
Gráfica 6. Relación entre volumen de hora pico y TPD en caminos rurales.....	27
Gráfica 7. Análisis por fatiga tramo 1.....	119
Gráfica 8. Análisis por erosión tramo 1	120
Gráfica 9. Análisis por fatiga tramo 2.....	127
Gráfica 10. Análisis por erosión tramo 2.....	128
Gráfica 11. Curvas IDF Tegucigalpa	141
Gráfica 12. Curva granulométrica Est. 0+060.....	193
Gráfica 13. Límite líquido Est. 0+060.....	193
Gráfica 14. Curva granulométrica de la Est. 1+110.....	195
Gráfica 15. Límite líquido Est. 1+110.....	195
Gráfica 16. Curva granulométrica de la Est. 1+370.....	197
Gráfica 17. Límite líquido Est. 1+370.....	197
Gráfica 18. Curva granulométrica de la Est. 1+670.....	199
Gráfica 19. Límite líquido Est. 1+670.....	199
Gráfica 20. Curva granulométrica Est. 2+280.....	201
Gráfica 21. Límite líquido Est. 2+280.....	201

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de asesoramiento técnico 1.....	169
Anexo 2. Acta de asesoramiento técnico 2.....	170
Anexo 3. Acta de asesoramiento técnico 3.....	171

Anexo 4. Acta de asesoramiento técnico 4.....	172
Anexo 5. Acta de asesoramiento técnico 5.....	173
Anexo 6. Acta de asesoramiento técnico 6.....	174
Anexo 7. Acta de asesoramiento técnico 7.....	175
Anexo 8. Acta de asesoramiento técnico 8.....	176
Anexo 9. Acta de asesoramiento técnico 9.....	177
Anexo 10. Acta de asesoramiento técnico 10.....	178
Anexo 11. Estaciones del tramo carretero.	179
Anexo 12. Actividades de campo	184
Anexo 13. Red vial principal por tipo de calzada y departamento.....	191
Anexo 14. Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS)	192
Anexo 15. Clasificación método SUCS para grupos de grava y arena	203
Anexo 16. Clasificación método SUCS para limo inorgánico y suelos arcillosos	204
Anexo 17. Clasificación SUCS para suelos limosos orgánicos y arcillosos.....	205
Anexo 18. Fichas de costo unitarias por actividad.....	206
Anexo 19. Pendiente máxima longitudinal.....	211

SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBR	California Bearing Ratio
DEM	Digital Elevation Model
ICF	Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal
IMDA	Índice Medio Diario Anual
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
INSEP	Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos
LEF	Load Equivalent Factor
PCA	Portland Cement Association
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
SN	Structural Number
SOPTRAVI	Secretaría de Obras Públicas, Transporte y Vivienda
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual

GLOSARIO

Camino vecinal: “son carreteras con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00 m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50 m, contando con el sustento técnico correspondiente. Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase”. (MTC, 2014, p. 13)

Carretera principal: “son carreteras con un IMDA entre 4,000 y 2,001 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3.60 m de ancho como mínimo. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada” (MTC, 2014, p. 13).

Carretera secundaria: “son carreteras con IMDA entre 2.000 y 400 veh/día, con una calzada de dos carriles de 3,30 m de ancho como mínimo. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada” (MTC, 2014, p. 12).

Pavimento rígido: “se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante”(Giordani & Leone, 2015, p. 4).

Subbase: “las capas de material especificado de espesor establecido según el valor soporte, colocado sobre una subrasante para sostener la capa de base superior” (SIECA, 2010, p. 33).

Subrasante: “capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto”(SIECA, 2010, p. 34).

Superficie de rodadura: “componente de la carretera destinada a la circulación de vehículos, excluyendo los hombros laterales” (SIECA, 2010, p. 30).

Demarcaciones: “se emplean para regular la circulación, advertir o guiar a los usuarios de la vía, por lo que constituyen un elemento indispensable para la seguridad y la gestión de tránsito” (CONASET, 2012, p. 5).

Fotogrametría: “es la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto” (IGN, 2008, p. 2).

I. INTRODUCCIÓN

SOPTRAVI (1996) menciona que: la longitud total de los caminos vecinales de Honduras representa el 63% de la red vial nacional, contando con 7,723 Km protegidos con material selecto, de los que 29.84 Km pertenecen al departamento de Francisco Morazán. De los caminos vecinales que componen la red vial, el 74% pertenecen a la categoría de material selecto y el 26% restante se denomina camino de tierra, ya que la superficie de rodadura está construida con material del sitio, contándose únicamente con el 23% de la red vial con pavimento, ya sea rígido, flexible, incluyendo el doble tratamiento.

Dentro de la red vial del departamento de Francisco Morazán se cuenta con el tramo carretero 08V81700, que de Santa Lucía conduce a Cantagallo, existiendo el particular interés de la Alcaldía Municipal de Santa Lucía de contar con el diseño de pavimento rígido para el tramo carretero desde la comunidad conocida como "El Paiz", en la Est. 1+117 del camino 08V81700, hasta la Escuela "Marco Aurelio Soto", cuyo desvío se encuentra en la Est. 2+416, con una longitud de 1.02 Km hasta la escuela, por lo que la longitud total del proyecto será de 2.31 Km, el cual se encuentra en mal estado debido al asolvamiento de las cunetas y la superficie de rodadura está deformada como consecuencia de la inexistencia de drenaje longitudinal, además de que existen pendientes superiores al 20%, por lo que al prevalecer el suelo tipo arcilla el camino se vuelve intransitable en época lluviosa.

El informe mostrará la evidencia de los trabajos de campo realizados, consistentes en el levantamiento topográfico y muestreo de los suelos, información necesaria para realizar el diseño geométrico de la carretera y la estructura del pavimento rígido, así como el análisis de cuencas mediante la información geográfica utilizando ArcGIS para el diseño y revisión del drenaje transversal. Para determinar los espesores de la subbase y de losa de concreto hidráulico se consideraron las características de los suelos del tramo principal y desvío hacia la escuela "Marco Aurelio Soto", para lo que se llevaron a cabo ensayos de granulometría (ASTM D-422) y límites de Atterberg (ASTM D-4318) en los laboratorios de GeoConsult.

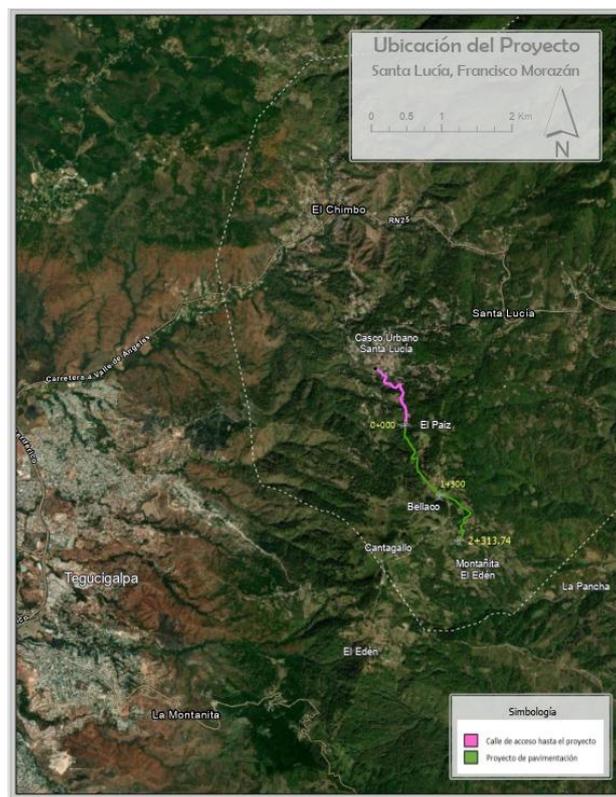
Como parte de la información técnica utilizada en la etapa de diseño se utilizaron las normas AASHTO-93 y Portland Cement Association (PCA), así como la información resultante del conteo vehicular y cálculo de CBR.

Dos aspectos fundamentales para la realización del proyecto se observarán a través de las imágenes resultantes del levantamiento "Aero-fotogramétrico" utilizando un dron DJI Mavic Pro para obtener la ortofoto de la zona y una cámara 360° para mostrar la perspectiva del camino en 3 dimensiones, como una iniciativa de los alumnos para mostrar las herramientas innovadoras utilizadas para el reconocimiento de campo en carreteras.

Como parte del diseño se definió el tipo y ubicación de la señalización, tanto vertical como horizontal, detalle que se mostrará en los planos.

Complementariamente se incluirán las fichas de costos unitarios para cada una de las actividades y el presupuesto total del proyecto, información que será compartida con la Alcaldía Municipal de Santa lucía como parte del compromiso adquirido por los alumnos.

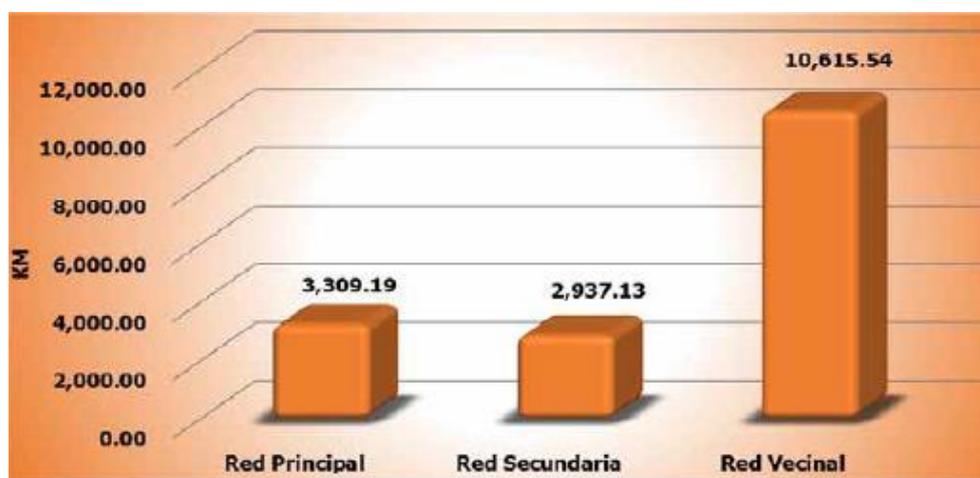
Como complemento introductorio se comparte la ubicación y acceso al proyecto:



II. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

INE (2015) menciona que la mayor parte de la Red Vial de Honduras está compuesta por caminos vecinales (10,615.54 km), lo que equivale a un 63%. El 37% restante está compuesto por 2,937.13 km pertenecientes a la Red Secundaria (17%) y 3,309.19 km de Red Principal (20%).



Gráfica 1. Distribución de la red vial por tipo de carretera

Fuente: (INE, 2019, p. 4)

Al conocer estos valores se observa que la Red Vial de Honduras está compuesta mayoritariamente por caminos vecinales, en comparación con la longitud de carreteras principales y secundarias, de lo que se concluye que la red vial principal y secundaria no tiene cobertura en todo el territorio nacional. La mayoría de los caminos de la Red Vecinal no cuentan con pavimento, ya sea de concreto asfáltico o hidráulico, sino que están protegidos con material selecto o no poseen protección, contando con superficie de rodadura de tierra, detalle que se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Red vial nacional por tipo de calzada según tipo de red (km)

Red	Total	Concreto asfáltico	Concreto hidráulico	Doble tratamiento	Material selecto	Tierra
Total	16,861.86	2,020.48	367.53	1,494.26	10,172.48	2,807.11
Red Principal	3,309.19	1,813.40	273.55	859.35	362.89	0.00
Red Secundaria	2,937.13	207.08	93.98	634.91	2,001.16	0.00
Red Vecinal	10,615.54	0.00	0.00	0.00	7,808.43	2,807.11

Fuente: (INE, 2019, p. 5)

El departamento de Francisco Morazán cuenta con 1,672.00 km de carreteras, entre la Red Principal, Secundaria y Vecinal, de las cuales el 31.94% (534 km) son pavimentadas y el 59.75% (999 km) están protegidas con material selecto. El 8.31% restante (139 km) está conformada por caminos de tierra, es decir que no han tenido ningún tipo de mejoramiento con material selecto (INE, 2019, p. 7).

Tabla 2. Red vial principal por tipo de calzada y departamento

Departamento	Total	Pavimentada		Material selecto		Tierra	
		Kilómetros	%	Kilómetros	%	Kilómetros	%
Total, nacional	16,862	3,882	100	10,172	100	2,807	100
Francisco Morazán	1,672	534	14	999	10	139	5

Fuente: (INE, 2015, p. 7)

Una red vial pavimentada es necesaria para poder lograr una conexión de todas las producciones agrícolas, turismo, comercio, servicios con los mercados tanto nacionales como regionales y Honduras es un país donde debe mejorar la calidad de todas las redes viales y llevar a cabo un mantenimiento de alta eficacia.

Uno de los problemas principales de este camino vecinal es su impacto ambiental asociado a la erosión. En zonas montañosas y con abundante precipitación pluvial es común que los caminos de este tipo no reciban un mantenimiento adecuado, específicamente relacionado con el sistema de drenaje. Otro problema de los caminos vecinales es la suspensión de partículas de suelo fino, lo que puede perjudicar la salud de los habitantes de la zona, la fauna y la flora, provocando pérdidas en el sector producción.



Ilustración 1. Desvío Est. 1+300 hacia la Escuela Marco Aurelio Soto

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

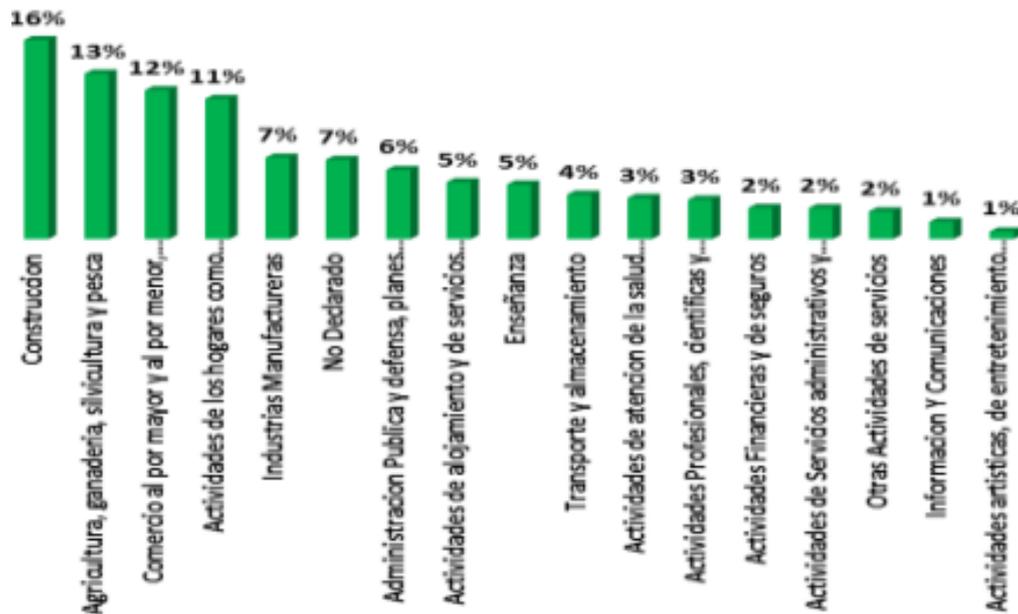
El municipio de Santa Lucía posee aproximadamente 62.0 km de caminos vecinales no pavimentados, dentro de los que se encuentra el tramo “El Paiz – Bellaco y de Bellaco hacia la Escuela Marco Aurelio Soto” que anualmente requieren de incursiones de mantenimiento periódico y rutinario, ya que el suelo es arcilloso, característico por contar con un mayor porcentaje de partículas finas que reaccionan plásticamente ante la presencia del agua en época lluviosa y se contraen en la época seca, perdiéndose las partículas finas de suelo y dejando expuestos los agregados gruesos, causando en ambas condiciones daños a los vehículos que los transitan, lo que consecuentemente se convierte en pérdidas monetarias para empresas y particulares. En cambio, los caminos que cuentan con suelo de baja plasticidad, escasez de finos y agregados de tamaño mayor de 5 cm son los más propensos a sufrir corrugaciones. Las corrugaciones, ahuellamiento, tránsito vehicular, clima y características de los materiales son las causas por las cuales se forman baches en la capa de rodadura. La falta de drenaje y de mantenimiento periódico también afectan la capa de rodadura ya que las aguas lluvias provocan deformación, deslizamientos, erosión y azolvamiento de cunetas.



Ilustración 2. Camino Vecinal “Bellaco - La Montañita el Edén”

2.3 JUSTIFICACIÓN

La falta de pavimento en caminos vecinales provoca pérdidas económicas por daño a los vehículos, dificultad para transportar los productos a través de zonas montañosas, afectación al turismo, entre otros. Las vías pavimentadas tienen un impacto positivo en la población beneficiada, promueve la generación de empleo, reduce los costos de transporte y el tiempo necesario para desplazarse de un punto a otro, lo que favorece a las personas que se dedican a la agricultura, ganadería y silvicultura, actividades a las que se dedica el 13% de la población de Santa Lucía como se puede observar en la gráfica 1, dentro de la que se encuentra la que será beneficiada con el proyecto de pavimentación.



Gráfica 2. Actividad económica Santa Lucía, FM.

Fuente: (INE, 2018, p. 2)

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuáles son las características del tráfico vehicular del camino existente?
2. ¿Qué características posee el suelo de la zona?
3. ¿Qué cambios o restricciones de diseño son necesarios de acuerdo con el diseño geométrico del camino existente?
4. ¿Qué consideraciones de diseño se requieren para revisar que el drenaje transversal existente cumpla con la función de evacuar el agua lluvia que atraviesa la vía?
5. ¿Cuál sería el dimensionamiento para la sección típica de cada tramo carretero?
6. ¿Existe una diferencia significativa en el cálculo del espesor del pavimento rígido entre el diseño por el método Portland Cement Association (PCA) y la utilización del programa Pavement Designer?
7. ¿Cuál es el costo directo del proyecto?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño geométrico, revisar el drenaje transversal, diseñar el drenaje longitudinal, definir la estructura de pavimento rígido y calcular el presupuesto para la pavimentación del tramo carretero "El Paiz - Bellaco" de 1.29 kilómetros, que pertenece al camino vecinal 08V81700 (de la Estación 1+117 a la Estación 2+416) y 1.01 kilómetros del acceso "Bellaco - Escuela Marco Aurelio Soto", municipio de Santa Lucía, departamento de Francisco Morazán.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Llevar a cabo el cálculo de los ejes equivalentes tomando en cuenta los datos extraídos del conteo vehicular.
2. Conocer las características geotécnicas de las muestras de suelo extraídas en la estación 0+060, 1+110, 1+370, 1+670 y 2+280 del proyecto, llevando a cabo los ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg y la identificación del CBR de diseño en función de los parámetros técnicos.
3. Replantear los alineamientos vertical y horizontal del camino existente en Civil 3D para verificar el cumplimiento de los parámetros de diseño para definir las secciones típicas y calcular el diagrama de masas.
4. Diseñar el espesor del pavimento rígido utilizando el método PCA y el programa Pavement Designer.
5. Definir la sección típica de cada tramo carretero cada 10 metros, considerando la estructura de la carretera, los PC y PT de las curvas horizontales, cortes, relleno y caudales de las áreas de flujo local.
6. Obtener los diámetros del drenaje existente para revisar el cumplimiento en función del diseño basado en el caudal que recibe cada estructura.
7. Calcular las fichas de costos unitarios para definir el presupuesto del proyecto, considerando las actividades de perfilado de cunetas, conformación, subbase, losa de concreto hidráulico y drenaje.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 CARRETERAS

“Una carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento, y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada” (Crespo, 2004).

3.1.1 CLASIFICACIÓN DE CALLES Y CARRETERAS

Las carreteras son un componente de un sistema de transporte en donde se ha visto necesario clasificar los tipos de carreteras según su función. Una carretera o camino, se clasifica según su sistema operacional, geometría, y orografía. Estas clasificaciones han servido de ayuda para facilitar la comunicación para el público en general (SIECA, 2011, p. 23).

3.1.1.1 *Carreteras principales*

Son las que forman la estructura vital de la red vial de la República o que unen ciudades o zonas geográficas de importancia nacional e interdepartamental, pudiendo estas rutas estar pavimentadas o no, y deben proveer las condiciones para asegurar un tránsito permanente en toda temporada. (SOPTRAVI, 2006, p. 6)

3.1.1.2 *Carreteras secundarias*

Son las rutas que unen ciudades y pueblos a la Red de Carreteras Principales o entre sí y que tienen principalmente importancia intradepartamental o unen hasta tres departamentos de la República, generalmente en las zonas limítrofes, reciben tráfico de carreteras de menor categoría y estas rutas pueden estar pavimentadas o no. Deben al menos tener como capa de rodado grava o material selecto. (SOPTRAVI, 2006, p. 6)

3.1.1.3 *Caminos vecinales*

Son las rutas que unen pueblos, aldeas y fincas a la Red de Carreteras Principales o Secundarias y que tienen importancia exclusivamente Departamental o Municipal, pueden recibir tráfico de caminos de penetración, huellas o sendas de menor categoría. Estas rutas no son pavimentadas y tienen capa de rodado de grava, material selecto o sólo terreno natural, y deben proveer las condiciones para asegurar un tránsito permanente al menos en las épocas de cosechas de productos agrícolas. (SOPTRAVI, 2006, p. 6)

3.2 TOPOGRAFÍA

Un levantamiento topográfico es la descripción de un terreno existente. Es aquí donde se resumen todos los elementos que permanecen en el terreno, como, por ejemplo, características naturales, o elementos que ya han sido construidos por el mismo hombre. Además, se determinan las diferentes posiciones entre ciertos puntos sobre un plano horizontal, y se definen las elevaciones del terreno. Con toda la información necesaria recopilada, se conoce perfectamente el terreno donde se estará trabajando.

3.2.1 CARTOGRAFÍA

La cartografía se define como la ciencia encargada de estudiar los sistemas y métodos utilizados para representar una parte o la totalidad de la superficie terrestre sobre un plano. Los métodos necesarios para lograr representar de manera gráfica las deformaciones terrestres sobre un mapa o plano son la geodesia y la topografía (Santamaría Peña, 2011, p. 11).

3.2.2 FOTOGRAMETRÍA

Es una técnica de levantamiento indirecto, que logra medir y registrar coordenadas tridimensionales y es capaz de producir representaciones de alta precisión (gráficas o

fotográficas) de todo tipo de objeto, en donde sus imágenes puedan ser registradas a través de los rayos de luz sobre soportes analógicos o digitales (E. Cheli, 2011, p. 25).

Este método posee tres distintos tipos de documentación:

1. Documentación Puntual: Coordenadas de puntos identificados sobre las imágenes
 - Cálculo de superficies y volúmenes
 - Control de longitudes, anchos, formas, posiciones, orientaciones
 - Cálculo de alturas, pendientes, perfiles longitudinales y transversales
 - Rectificación de imágenes aisladas
 - Georreferenciar pares de imágenes
 - Producir modelos digitales del terreno.
2. Documentación Representativa: Representación gráfica o virtual
 - Planos y mapas topográficos lineales a distintas escalas y propósitos
 - Curvas de nivel derivadas del DEM
 - Modelos tridimensionales del terreno para visualización desde distintos puntos
 - Mapas temáticos (incluso para georreferenciar los GIS).
3. Documentación textural: Imágenes visuales
 - Copias simples, ampliadas o reducidas
 - Fotoíndices
 - Mosaicos sin control
 - Copias rectificadas
 - Mosaicos controlados
 - Estereogramas

(E. Cheli, 2011, p. 25)

3.2.1 LEVANTAMIENTO AERO-FOTOGRAMÉTRICO CON DRON

Toda información recopilada en un levantamiento topográfico es esencial para obtener un conocimiento previo del terreno antes de dar a inicio a la obra. Hoy en día, con la nueva tecnología, se están realizando levantamientos Aero-fotogramétricos mediante la ayuda de un dron debido a que estos obtienen modelos digitales del terreno más precisos, detallados y de mejor calidad que los otros métodos ya existentes. Las imágenes que recopilan los drones son de alta resolución de la superficie del terreno para poder detectar daños ya sean físicos, eléctricos, por humedad, etc. Utilizan imágenes térmicas para detectar fácilmente el daño en el terreno.



Ilustración 2. Dron Mavic Pro

3.2.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL

La Estación Total es la conjunción dentro de un espacio común de las funciones inherentes al teodolito (medición de ángulos verticales y horizontales) y aquellas propias del nivel, a las cuales se les ha adicionado una pequeña computadora que permite gobernar la lectura y registro de los datos de campaña. El equipo se complementa con un prisma que, asociado a la mira, es el que indica la posición de esta (SOPTRAVI, 1996).



Ilustración 3. Estación Total

3.3 MECÁNICA DE SUELOS

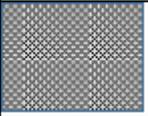
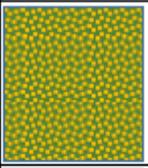
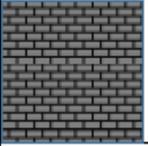
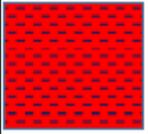
La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica. (Badillo & Rico Rodríguez, 1973)

3.3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

3.3.1.1 Formación Rio Chiquito (Krc)

Este tipo de rocas superponen las capas de Kvn con conformidad. Este grupo está formado por piedras areniscas, limolitas y rocas arcillosas que usualmente son de color rojo y frecuentan en el trayecto hacia Valle de Ángeles y la parte inferior de El Hatillo y a lo largo del Río Chiquito. La deformación de la capa tiende a erosionarse fácilmente produciendo deslizamientos en esas zonas (IHCT, 2016, p. 19).

Tabla 3. Litología local de la región

		Tmd	<u>Volcánicos Andesíticos Terciarios</u> , secuencia de coladas de lava basáltica y andesítica color gris oscuro, de grano fino, con alteración y fracturamiento. Los pórfidos de andesita se presentan como diques, sill y pequeños stocks andesíticos de color gris y presencia de fenocristales de plagioclasas masiva.
		Tommm	<u>Formación Matagalpa</u> , coladas de lava basalto andesitas y algunas brechas de colores gris claro a gris verdoso, fenocristales alterados de feldespato calcio y plagioclasas, olivino y piroxeno
CRETACICO			<u>Formación Esquías</u> , secuencia de rocas carbonatas de gran espesor ubicadas en la parte superior del Grupo Valle de Ángeles, presencia de calcilitas, calcarenitas y margas, dentro de esta unidad se han identificado fósiles de moluscos.
		Kvs	<u>Grupo Valle de Ángeles Superior</u> , brechas de grano grueso de color marrón, compuesta de fragmento subangulares a angulares de basalto, andesitas, tobas, cuarzo en una matriz de alunita-cuarzo, con presencia de hematita
		Kj	<u>Formación Jaitique</u> , calizas masivas de color gris oscuro calizas micríticas de color gris, masivas, de estratificadas a pobremente estratificadas, se observaron algunos nódulos de pedernal, margas y calizas en estratos delgados.
JURASICO		Jts	<u>Formación Tepemechín</u> , areniscas gruesas de color amarillo rojizas, grises y café amarillentas con abundancia de conglomerados de cuarzo dentro de una matriz de arenisca, son bien fracturadas y estratificadas

Fuente: (IHCT, 2016, p. 23)

3.3.2 TAMAÑO DE PARTÍCULA DE SUELO

Das (2013) menciona que, sin importar el origen de las partículas del suelo, su tamaño puede ir variando. Por lo general, las partículas de suelo están clasificadas como: grava, arena, limo, y arcilla. Lo que es la grava, son trozos de rocas que ocasionalmente presentan partículas como el cuarzo, feldespato y otros tipos de minerales, mientras que la arena, su mayor predominante es el cuarzo y el feldespato. Los limos son porciones microscópicas de suelo que contienen fracciones de cuarzo muy finos, y, por último, las arcillas son partículas microscópicas y submicroscópicas de mica y minerales que contiene la arcilla. Por lo general, las partículas de las arcillas son menores de 0.002mm. A continuación, se mostrará el tamaño de grano en milímetros según la clasificación de algunas organizaciones americanas.

Tabla 4. Tamaño de grano (mm)

Tamaño de Grano (mm).				
Nombre de La organización	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	76.2 a 2	4.75 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002

Fuente: (Das, 2013, p. 28)

3.4 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

3.4.1 GRANULOMETRÍA

El análisis de tamiz (ASTM D422) es un ensayo de laboratorio que se basa en agitar la muestra de suelo a través de un grupo de tamices que tienen aberturas según el número de pase. Usualmente, los tamices cuentan con un diámetro de 203mm.



Ilustración 4. Tamizadora industrial para ensayo granulométrico

Fuente: (Tamices.es, 2014)

A continuación, se muestra los tamaños estándares de tamices para granulometría fina y gruesa:

Tabla 5. Tamaños estándar de tamiz para granulometría gruesa

Tamiz	Abertura (mm)
3"	76.2
2 ½"	63.5
2"	50.8
1 ½ "	38.1
1"	25.4
¾"	19
½"	12.7
3/8"	9.5
#4	4.8

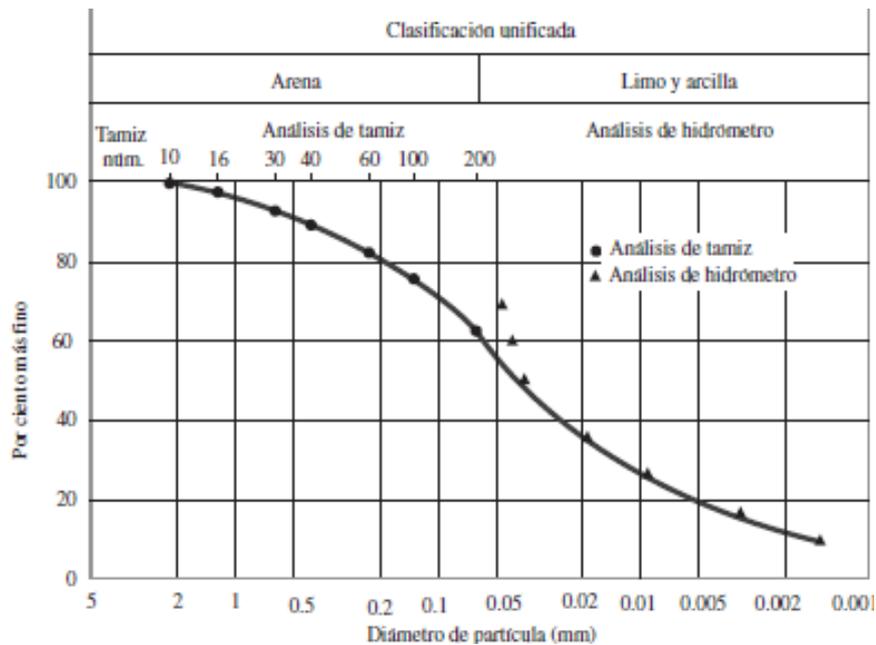
Fuente: (Das, 2013, p. 34)

Tabla 6. Tamaños estándar de tamiz para granulometría fina

Tamiz	Abertura(mm)
#10	2
#40	0.42
#100	0.149
#200	0.074

Fuente: (Das, 2013, p. 34)

Cabe destacar que los porcentajes de grava, limo, arena, y arcilla en el suelo se pueden determinar a partir de la curva de distribución de tamaño de partícula.



Gráfica 3. Curva de distribución de tamaño de partícula a través del análisis de tamiz e hidrómetro

Fuente: (Das, 2013, p. 39)

La curva de distribución de tamaño de partícula se puede utilizar para comparar el tipo de suelo (Das, 2013, p. 40). Una vez que se obtienen las curvas, se pueden determinar otros 3 parámetros básicos de suelos que se usan para clasificar de manera granular los suelos, y son los siguientes:

1. Tamaño efectivo
2. Coeficiente de uniformidad
3. Coeficiente de gradación

Para calcular el coeficiente de uniformidad y el de gradación se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 1. Coeficiente de uniformidad

Fuente: (UNITEC, 2019, p. 11)

Donde:

C_u = coeficiente de uniformidad

D_{10} = diámetro correspondiente al 10% mas fino

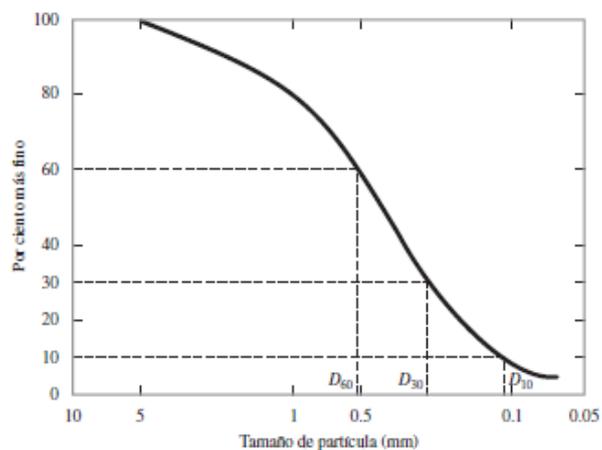
D_{60} = diámetro correspondiente al 60% mas fino

D_{30} = diámetro correspondiente al 30% mas fino

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

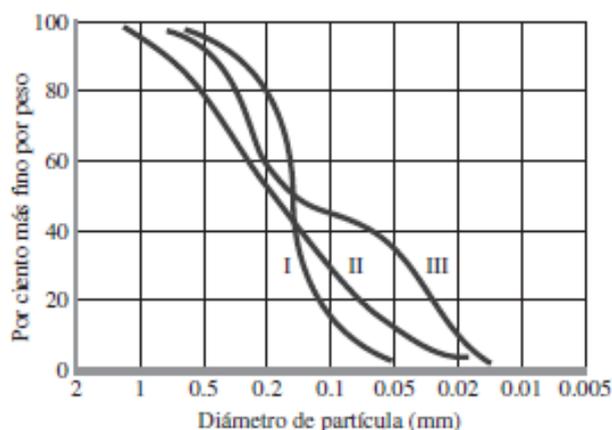
Ecuación 2. Coeficiente de gradación

Fuente: (UNITEC, 2019, p. 11)



Gráfica 4. Cálculo de D10, D60, y D30

Fuente: (Das, 2013, p. 40)



Gráfica 5. Diferentes tipos de curva de distribución de tamaño de grano de partícula

Fuente: (Das, 2013, p. 41)

La curva tipo I representa un suelo en donde la mayoría de los granos son del mismo tamaño, catalogándolo como "pobrementemente clasificado". La curva II representa un suelo que tiene un tamaño de partículas en un rango definido, y es denominado como "bien clasificado", y, por último, la curva tipo III está denominada como "brecha clasificada" (Das, 2013, p. 41).

3.4.1 LÍMITES DE ATTERBERG

3.4.1.1 Límite líquido

El límite líquido se define cuando un suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. El equipo de laboratorio para realizar el ensayo de límite líquido consiste en una copa de latón y una base de goma dura. La copa de latón se puede soltar sobre la base por una leva operada por una manivela. Para la prueba de límite líquido ASTM D-4318, se coloca una pasta de suelo en la copa y se hace un corte en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de ranurado estándar (Das, 2013, p. 65).



Ilustración 5. Copa Casagrande

3.4.1.2 *Límite plástico*

“El límite plástico se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona” (Das, 2013, p. 65). Para realizar el ensayo de límite plástico se utiliza la norma ASTM D-4318. Una vez que se han obtenido los valores del límite líquido y plástico, se procede a calcular el índice de plasticidad.

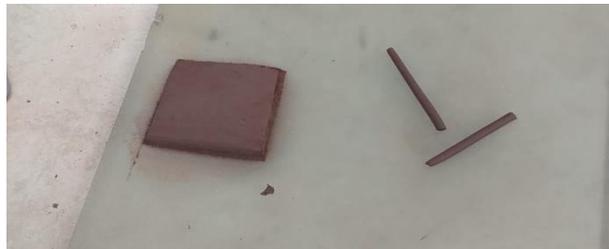


Ilustración 6. Determinación del límite plástico

3.4.1.3 *Índice de plasticidad*

El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. “Es un rango de humedades que define el estado de consistencia plástico de un suelo” (Sobrecases, 2009, p. 8). Un suelo puede ser plástico cuando tiene un mayor índice de plasticidad y límite líquido, de lo contrario, un suelo con índice de plasticidad bajo puede pasar de un estado de consistencia sólido a fluido, con un pequeño cambio de humedad.

3.4.2 CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Fue desarrollado por primera vez por el Departamento de Carreteras del Estado de California, es un ensayo que se utiliza para evaluar la capacidad portante de los terrenos compactados.

El ensayo (ASTM D-1883) normalmente es elaborado sobre suelos preparados en un laboratorio, en condiciones determinadas tanto de humedad como densidad, sin embargo, el ensayo también puede realizarse sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. El índice de CBR se utiliza para evaluar la capacidad portante de la subrasante, base y subbase (UNIP, 2006, p. 1).



3.5 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

“Los suelos con propiedades similares pueden ser clasificados en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería” (Das, 2013, p. 78).

Los sistemas que se utilizan para clasificar el suelo muestran las características generales de el mismo. Hoy en día, existen dos sistemas de clasificación en donde se ven referenciados a partir de la granulometría y la plasticidad del suelo. Se trata del American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Para efectos de proyecto, el sistema para clasificar el suelo será el método AASHTO-93.

3.5.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO-93

Desarrollado en 1929, es un sistema que clasifica el suelo a partir de 7 grupos principales que son:

1. A-1 a A-3: "se considera que es un suelo granular y el 35% menos de las partículas pasan a través del tamiz #200" (Das, 2013 p. 78).
2. A-4 a A-7: "más del 35% de las partículas pasan a través del tamiz #200, siendo un suelo limoso y arcilloso (Das, 2013 p. 78).

Tabla 7. Clasificación general de suelo

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes							
	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante			Excelente a bueno				

Fuente: (Das, 2013, p. 79)

Tabla 8. Clasificación general de suelo pt. 2

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
				A-7 A-7-5* A-7-6†
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Fuente: (Das, 2013, p. 79)

3.5.2 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Según la norma ASTM D-2487 el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) clasifica los suelos en 2 categorías:

1. Suelos de grano grueso (normalmente son grava y arena en su estado natural) y contienen menos del 50% de pase a través del tamiz #200. Utilizan una nomenclatura de "G" o "S". Siendo G para grava y S para arena (Das, 2013, p. 82).
2. Suelos de grano fino que contienen 50% o más de pase por el tamiz #200. La nomenclatura que utilizan en este grupo es "M" para limo inorgánico, "C" para arcilla inorgánica y "O" para limos y arcillas orgánicas. Cabe recalcar que la nomenclatura "Pt" se utiliza más que todo para clasificar la turba, lodo, y otros suelos orgánicos (Das, 2013, p. 82).

Para poder utilizar la clasificación SUCS se debe conocer el porcentaje de grava que pasa por el tamiz de 3" y retenida en el tamiz #4, el porcentaje de arena que pasa por el tamiz #4 pero que es retenida en el tamiz #200, el porcentaje de limo y arcilla que pasa por el tamiz #200, el coeficiente de uniformidad y gradación, y, por último, conocer el límite líquido y plástico del suelo que pasa por el tamiz #40 (Das, 2013, p. 84).

Tabla 9. Simbología extra que se utiliza en la clasificación de SUCS

Otra simbología que utilizan para la clasificación	
W	Bien clasificado
P	Mal clasificado
L	Baja plasticidad ($LL < 50$)
H	Alta plasticidad ($LL > 50$)

Fuente: (Das, 2013, p. 82)

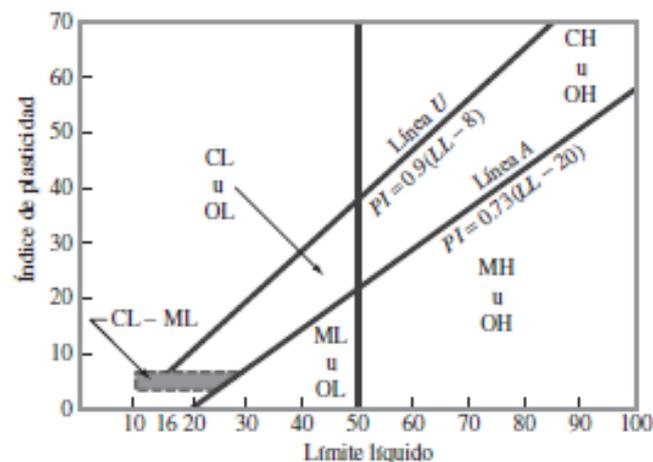


Ilustración 7. Gráfica de plasticidad

Fuente: (Das, 2013, p. 83)

Los símbolos de los grupos de los suelos de grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM y GP-GC. Del mismo modo, los símbolos de los grupos de suelos de grano fino son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML y Pt. (Das, 2013, p. 84)

En los anexos 15, 16, y 17 se mostrarán las tablas de clasificación de suelo utilizando el método de SUCS.

3.6 CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO VEHICULAR

3.6.1 VOLUMEN DE TRÁNSITO

Para poder diseñar un pavimento, es fundamental conocer la cantidad de vehículos que pasan por un punto dado. Para tal análisis, se deben realizar estudios de volúmenes de tránsito, en donde estos estudios pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras (Coronado Iturbide, 2002, p. 41).

El estudio de volumen de tránsito se realiza con el objetivo de:

1. Determinar la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras
2. Determinar el número de vehículos que transitan en cierta zona
3. Evaluar los índices de accidentes
4. Servir de base para la clasificación de caminos
5. Proyectar sistemas de control de tránsito
6. Elaborar sistemas de mantenimiento
7. Establecer prioridades y técnicas de construcción
8. Determinar el tránsito futuro

(Coronado Iturbide, 2002, p. 41).

Para los estudios de volúmenes de tránsito es importante obtener los datos del tránsito medio diario *general* y el tránsito medio diario de *camiones*. Estos datos se pueden obtener mediante la realización de censos o aforos, sin embargo, existen mapas de volumen de tránsito que ya muestran el número de vehículos diarios pero lo más recomendable es que se efectúe el censo o aforo en el lugar específico debido a que por ejemplo, para una carrera determinada,

se debe tomar en cuenta la localización geográfica del lugar para poder tomar en cuenta los futuros desarrollos industriales, agrícolas, complejos habitacionales o simplemente proyectos de carácter regional, ya que en dado caso, incrementaría el flujo vehicular de la carretera proyectada (Coronado Iturbide, 2002, p. 42).

El tránsito vehicular va variando según el día de la semana, semana del mes, época del año, días de descanso, hora pico, etc., por lo que se ve necesario (siempre y cuando sea posible), elaborar un conteo estadístico de periodos largos de evaluación de tránsito para estudiar los diferentes volúmenes de tránsito y tipos de vehículos (Coronado Iturbide, 2002, p. 42).

3.6.1.1 *Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)*

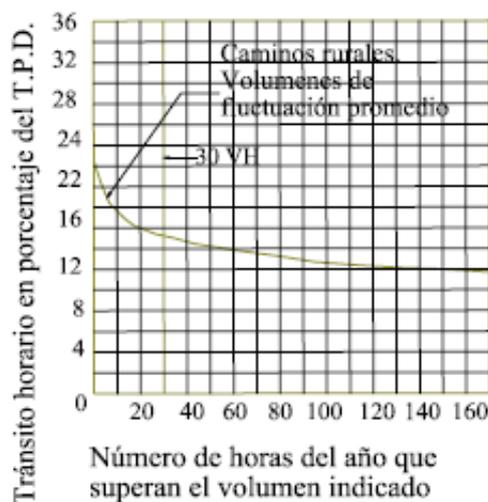
“Es el promedio total del volumen del flujo de tránsito de vehículos de una autopista o carretera en un año, dividido entre 365 días con el propósito de representar el flujo de tránsito en un día típico del año” (S.C.T, 2016, p. 37). Existen dos procedimientos básicos para el cálculo de TDPA:

- Promedio simple de todos los días: “se calcula como el promedio simple de un año determinado. Sí faltaran algunos días con datos, el denominador se reduce simplemente al número de días contabilizados” (S.C.T, 2016, p. 37).
- Método AASHTO: calcular primero los días promedio de la semana mensuales. Estos 84 valores se promedian para obtener el TDPA. Este método tiene en cuenta explícitamente los datos faltantes mediante la ponderación del mismo día cada semana a lo largo del mes, independientemente del número de días realmente presentes dentro de esa categoría. (S.C.T, 2016, p. 38)

3.6.1.2 Tránsito de Hora Pico

El comportamiento del tránsito a través del día indica que hay una variación entre las diferentes horas y también, varía a lo largo del año. Para poder calcular el tránsito horario de diseño, el Manual de Carreteras de Honduras utiliza una curva estadística basada en el conteo de tránsito. En la gráfica 6, se expresan los volúmenes horarios del año estudiado, pero en porcentajes del Tránsito Promedio Diario (TPD) (SOPTRAVI, 1996, p. 102).

Observando el comportamiento de los volúmenes horarios se concluye que el tránsito horario que sirve de base para el diseño debería ser el de la treintava hora más congestionada del año, conocida como 30VH. En caminos rurales los volúmenes que contienen una fluctuación promedio, se dice que 30VH es del 15% del TPD, y para las fluctuaciones que van de bajas a altas, el porcentaje varía desde un 12% a un 18% del TPD (SOPTRAVI, 1996, p. 102).



Gráfica 6. Relación entre volumen de hora pico y TPD en caminos rurales

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 86)

3.6.2 COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO

Los vehículos pesados como los camiones, autobuses y vehículos sencillos pueden llegar a crear una incidencia en la composición del flujo vehicular dependiendo del tipo de

servicio de la carretera y donde está exactamente localizada. Esto afectaría el diseño geométrico de la carretera y el espesor del pavimento.

El efecto total sobre la operación de tránsito de un camión es equivalente a varios vehículos de pasajeros. El número de vehículos de pasajeros equivalentes depende de la pendiente y en carreteras de dos carriles, de la distancia de visibilidad de adelantamiento disponible. Así, cuanto mayor sea la proporción de camiones en una corriente de tránsito, mayores serán las cargas de tránsito y la capacidad requerida (SIECA, 2011, p. 51).

Los vehículos pueden ser agrupados en 2 categorías:

1. Vehículos de pasajeros: son todos aquellos vehículos de pasajeros que incluyen los pickups, vehículos deportivos, sencillos, vans, etc. (SIECA, 2011, p. 51)
2. Camiones: buses, camiones únicos o combinados. En esta categoría se sitúan aquellos que tienen 4 toneladas métricas o más de peso y también los camiones que tienen llantas dobles en su eje trasero (SIECA, 2011, p. 51).

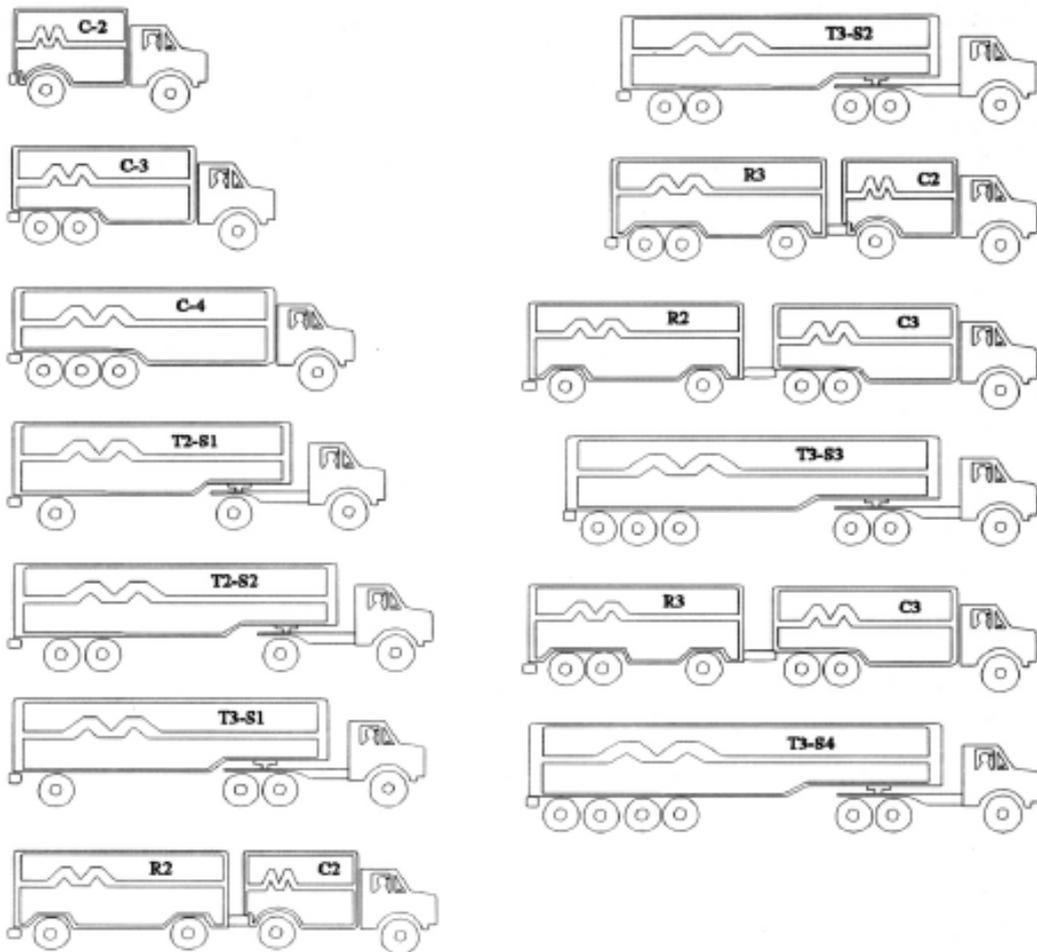


Ilustración 8. Vehículos de transporte para circular en Honduras

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 49)

3.6.1 CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES

Las cargas que actúan sobre el pavimento son las que producen tensiones y deformaciones en el mismo, y debido a estas tensiones y deformaciones, las fallas del pavimento serán distintas. Entonces, el volumen de tránsito se convierte en un número equivalente de ejes para una carga determinada. Según la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés AASHTO, de American Association of State Highway and Transportation Officials, la carga uniformizada es de 80 kN, y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga *LEF* (Load Equivalent Factor) (Coronado Iturbide, 2002, p. 45).

En fin, el Factor Equivalente de Carga (LEF), es el valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje de 80 kN y la producida por un eje estándar en el mismo eje.

$$LEF = \frac{\text{No. de ESAL'S de 80 kN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No. De ejes de 80 kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Ecuación 3. Factor Equivalente de Carga

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 45)

Como cada tipo de pavimento reacciona de manera diferente a cada carga, los LEF varían en función del tipo de pavimento al igual que el número estructural o por sus siglas en inglés Structural Number (SN) en pavimentos flexibles y según el espesor de losa en pavimentos rígidos, también cambia el valor de índice de serviciabilidad para el diseño. En otras palabras, para poder calcular los ESAL es necesario *asumir* por lo menos para pavimentos rígidos, el espesor de la losa que se necesitará para las cargas que se van a imponer, además, se deberá asumir el índice de serviciabilidad final.

Para poder determinar y calcular los ejes equivalentes, se pide utilizar factores de camión para cada clase particular de vehículo, en especial para los camiones pesados. Se aplican los pesos límites de cada vehículo y factores de crecimiento de tránsito que se establecen en las siguientes tablas

Tabla 10. Límite de peso por eje

Tipo de vehículo	Tipo de eje del tractor				Tipo de eje del semirremolque			Total de toneladas
	Eje simple direccional	Eje de tracción			Eje de arrastre			
		Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	
C2	5.00	10.00						15.00
C3	5.00		16.50					21.50
C4	5.00			20.00				25.00
T2 – S1	5.00	9.00			9.00			23.00
T2 – S2	5.00	9.00				16.00		30.00
T2 – S3	5.00	9.00					20.00	34.00
T3 – S1	5.00		16.00		9.00			30.00
T3 – S2	5.00		16.00			16.00		37.00
T3 – S3	5.00		16.00				20.00	41.00
Otros	-	-	-	-	-	-	-	Variable

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 64)

3.7 DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

3.7.1 CLASIFICACIÓN POR TIPO DE TERRENO

Según las pendientes de un terreno, se deben clasificar por el tipo de terreno como lo muestra la tabla siguiente:

1. Terreno Plano: "es esa condición donde las distancias de visibilidad de diseño vial, en cuanto están gobernadas por las restricciones horizontales y verticales, son generalmente largas, sin ocasionar mayores dificultades ni grandes gastos de construcción o grandes gastos de construcción" (SIECA, 2011, p. 116).

2. Terreno Ondulado: "es la condición donde las pendientes naturales son ascendentes y descendentes y en consecuencia las pendientes de la calle o carretera se elevan y bajan, y donde ocasionalmente las pendientes fuertes provocan algunas restricciones a los alineamientos horizontal y vertical" (SIECA, 2011, p. 116).
3. Terreno Montañoso: "es aquel que presenta dificultades y altos costos de construcción por la frecuencia de cortes y rellenos, los cuales se requieren para lograr alineamientos horizontales y verticales aceptables" (SIECA, 2011, p. 116).

Tabla 11. Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

Tipo de terreno	Rangos de pendientes naturales (%)
Plano	0-10%
Ondulado	10-25%
Montañoso	25-60%

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 50)

3.7.2 VELOCIDAD

Para que un sistema de transporte resulte atractivo, el conductor va evaluando el tiempo, conveniencia y ahorro de dinero. Para el conductor, la velocidad es uno de los elementos críticos a considerar en la selección de la ruta a transitar o la escogencia de un determinado modo de transporte, ponderándose su importancia en términos de tiempos de recorrido, de costos de viaje, de la combinación de los dos factores anteriores y de la conveniencia de los usuarios (SIECA, 2011, p. 53).

3.7.2.1 *Velocidad de operación*

"Es un tipo de velocidad en donde los conductores son observados operando su vehículo bajo condiciones favorables" (SIECA, 2011, p. 54).

3.7.2.2 *Velocidad de ruedo*

Se le conoce como *velocidad de ruedo* al vehículo que viaja en un tramo en específico de una carretera. Es la longitud de dicho tramo dividida entre el tiempo en que el vehículo recorre el tramo (SIECA, 2011, p. 54).

3.7.2.3 *Velocidad de diseño*

Conocida también como *velocidad directriz*, es la velocidad que se selecciona para determinar las diferentes características geométricas de la carretera. Las características como el diseño de la curvatura, peralte, y distancia de visibilidad, están relacionadas con la velocidad de diseño, y a la vez, varían dentro de ella. En cambio, características como los anchos de carriles, hombros, separaciones, etc. no están directamente relacionados a la velocidad de diseño, pero sí podrían afectar la velocidad de los vehículos. Dicho de otra manera, si se realiza algún tipo de cambio en la velocidad de diseño, los demás elementos de diseño deberán cambiar hasta obtener un diseño óptimo (SIECA, 2011, p. 55).

Para poder seleccionar una velocidad de diseño adecuada, se debe tomar en consideración los siguientes puntos:

1. Distribuciones de las velocidades
2. Tendencias de las velocidades
3. Tipo de área: rural y urbana
4. Condiciones del terreno: Plano, Ondulado, Montañoso
5. Volúmenes de tránsito
6. Consistencias en el diseño de carreteras similares o complementarias
7. Condiciones ambientales

(SIECA, 2011, p. 55).

A continuación, se indican las velocidades directrices a utilizar según el tipo de carretera y características topográficas

Tabla 12. Velocidades directrices (km/h)

Topografía	Carretera especial	Carretera principal	Carretera secundaria	Camino vecinal	Camino de penetración
Llana	100	80	60	50	40
Ondulada	80	60	50	40	30
Montañosa	60	50	40	30	20

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 54)

3.7.3 DISTANCIA DE VISIBILIDAD

3.7.3.1 *Distancia de detención*

“Es una distancia que es recorrida por un vehículo entre el instante que el conductor aplica los frenos al percibir un obstáculo imprevisto sobre el camino, hasta su total detención delante del objeto” (SOPTRAVI, 1996, p. 17).

La distancia de detención viene siendo la sumatoria de 2 distancias:

1. La distancia de percepción y reacción: es la distancia que es recorrida por un vehículo desde el momento en que el conductor percibe el objeto y aplica el freno.
2. La distancia de frenado: es la distancia que se necesita para poder detener el vehículo una vez que se haya aplicado el freno (SOPTRAVI, 1996, p. 17).

3.7.3.2 *Distancia de visibilidad de decisión*

Es una distancia que recorre el vehículo mientras que el conductor detecta un obstáculo inesperado, y efectúa el cambio de maniobra necesario para elegir con seguridad la velocidad y dirección correcta (SOPTRAVI, 1996, p. 18).

3.7.3.3 *Distancia de rebaso*

Es la longitud del camino que permite a un vehículo rebasar al que se encuentra circulando en su mismo carril y dirección, con toda seguridad, sin poner en peligro la circulación de un tercer vehículo que ocupa el carril opuesto en dirección contraria y se hace visible al inicio de la maniobra. (SOPTRAVI, 1996, p. 20)

3.7.1 COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL

Para poder obtener un diseño adecuado y equilibrado de las curvas horizontales se deben de calcular los radios para la velocidad directriz. El coeficiente de fricción lateral sirve para que el conductor no tenga ningún tipo de molestia y se sienta seguro (SOPTRAVI, 1996, p. 24).

El coeficiente de fricción lateral se calcula de la siguiente manera:

$$f = \frac{V^2}{127R} - \frac{P}{100}$$

Ecuación 4. Coeficiente de fricción lateral

Donde:

V = *velocidad directriz*

R = *radio de curvatura*

P = *peralte*

3.7.2 RELACIÓN PERALTE Y RASANTE

“Es la inclinación que se le da a la corona de una carretera en los tramos en curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento” (SIECA, 2011, p. 243).

Cuando existen curvas horizontales que contienen radios pequeños con una rasante que está en plano inclinado, se deben tomar ciertas medidas de precaución para evitar cualquier

tipo de peligro al conductor, de este modo, se debe determinar la pendiente de la resultante "U" entre el peralte y la rasante cuando:

1. La velocidad directriz es de 50 km/hr o menor y el radio límite es de 200 m. La pendiente "U" no debe ser mayor del 11% (SOPTRAVI, 1996, p. 25).
2. La velocidad directriz es mayor de 60 km/h y el radio límite de 300 m. La pendiente "U" no debe ser mayor del 10% (SOPTRAVI, 1996, p. 25)

La siguiente tabla especifica los valores de las pendientes a utilizar dependiendo el tipo de terreno.

Tabla 13. Peralte según la característica de la zona

Características de la zona	Peralte (%)
Rural montañosa	10
Rural Llana	8
Próximas a zonas urbanas	6
Urbanas	4

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 27)

3.7.1 RADIOS MÍNIMOS DE CURVATURA

De acuerdo con los coeficientes de fricción lateral adoptados se han determinado los radios mínimos de las curvas circulares, para cada valor del peralte, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R = \frac{V^2}{127 \left(\frac{P}{100} + f \right)}$$

Ecuación 5. Radio mínimo de curvatura

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 24)

Tabla 14. Radios mínimos absolutos.

Radios mínimos								
Velocidad (km/hr)	30	40	50	60	70	80	90	100
Fricción lateral	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	13	0.13
Peralte								
2.00%	35	66	109	166.66	226.84	314.8	425	524.67
3.00%	34	63	104	157.4	24.24	296.28	398.4	491.88
4.00%	32	60	98	149.12	202.96	279.82	375	462.94
5.00%	31	57	94	141.66	192.82	265.09	354.2	437.22
6.00%	30	55	89	134.91	183.63	251.84	335.5	414.21
7.00%	28	52	86	128.78	175.29	239.85	318.7	393.55
8.00%	27	50	82	123.18	167.67	228.95	303.6	374.76
9.00%	26	48	79	118.05	160.68	218.99	289.8	357.73
10.00%	25	47	76	113.33	154.25	209.87	277.2	342.17

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 27)

3.7.2 PENDIENTES MÁXIMAS Y MÍNIMAS

1. Para una velocidad directriz de 100km/hr que corresponde a una carretera especial en terreno llano, la máxima pendiente debería ser más o menos 5%.
2. Para velocidades de diseño de 80 km/h, que corresponde a una carretera especial en terreno ondulado y a una carretera principal en terreno llano, la pendiente máxima de la rasante debería estar entre el 5% - 7%.
3. Para una velocidad directriz de 50 km/hr que corresponde a una carretera principal en terreno montañoso, una carretera secundaria en terreno ondulado y un camino vecinal en zona llana, la pendiente máxima debería fluctuar entre el 7% y 12%.

4. Para velocidades directrices menores a 50 km/hr, particularmente para caminos vecinales, de penetración en terreno montañoso, la gradiente máxima deberá ser definida de acuerdo con las exigencias y necesidades del proyecto y al juicio del proyectista. (SOPTRAVI, 1996, p. 54)

En cuanto a las pendientes mínimas, existe la posibilidad de que las pendientes sean de 0% siempre y cuando la carretera no tenga ningún bordillo o algún otro elemento. La pendiente mínima debería limitarse al 0.5% y en casos extremos al 0.3% siempre que el pavimento sea de alta calidad con una base-subbase muy firme y una adecuada pendiente transversal (SOPTRAVI, 1996, p. 55). En el anexo 70 se muestra la tabla utilizada para determinar los valores de pendiente según la clasificación de la carretera y topografía del terreno.

3.7.1 CURVAS VERTICALES

Las curvas verticales deben ser diseñadas para que el conductor tenga una buena visibilidad, confortabilidad y un sistema de drenaje bien elaborado (SOPTRAVI, 1996, p. 55).



Ilustración 9. Tipo 1 y 2 de curvas verticales simétricas

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 56)

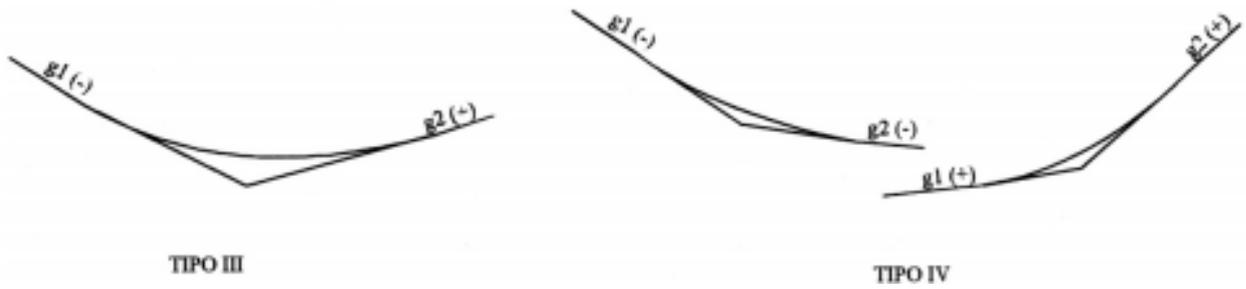


Ilustración 10. Tipo 3 y 4 de curvas verticales simétricas

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 56)

3.7.1.1 Curvas verticales convexas

La longitud mínima de las curvas verticales convexas se determina a través de la distancia de visibilidad o detención, con el propósito de otorgarle seguridad al conductor mientras maneja su vehículo (SOPTRAVI, 1996, p. 60).

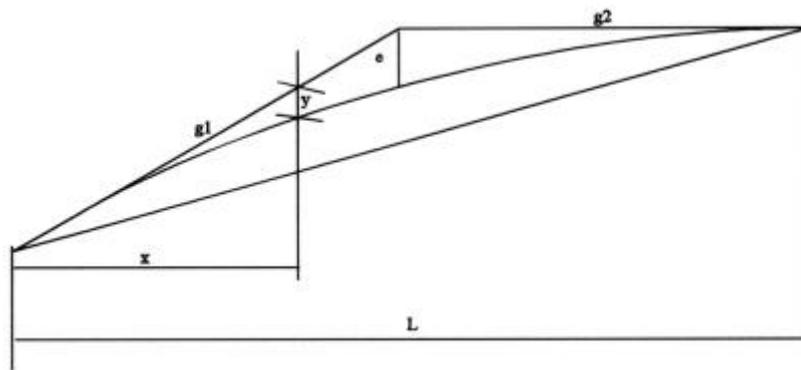


Ilustración 11. Curva convexa simétrica

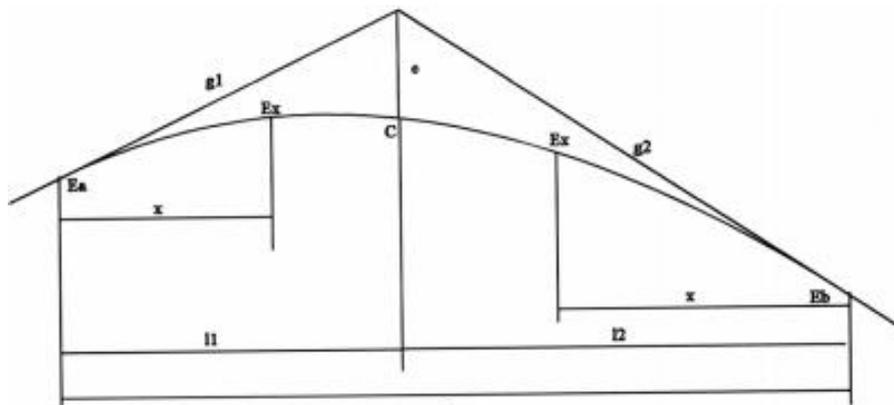


Ilustración 12. Curva convexa asimétrica

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 57)

A continuación, se muestran los valores del factor k para curvas convexas.

Tabla 15. Valores del factor K para curvas convexas

Velocidad directriz km/h	Factor K calculado	Factor K redondeado
30	49.777	50
40	85.862	86
50	125.819	126
60	175.105	175
70	245.586	246
80	309.388	309
90	386.919	387
100	474.524	475

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 60)

3.7.1.2 Curvas verticales cóncavas

Existen cuatro criterios para definir la longitud de las curvas verticales cóncavas.

1. Distancia de visibilidad generada por los faros de un automóvil
2. Control de drenaje
3. Confortabilidad en el recorrido de la curva

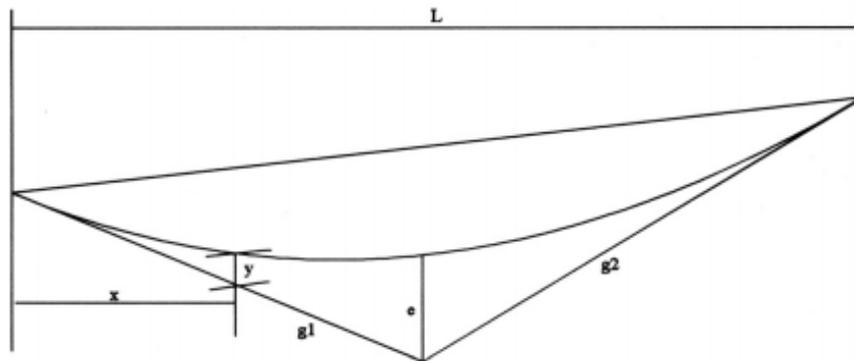


Ilustración 13. Curva cóncava simétrica

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 57)

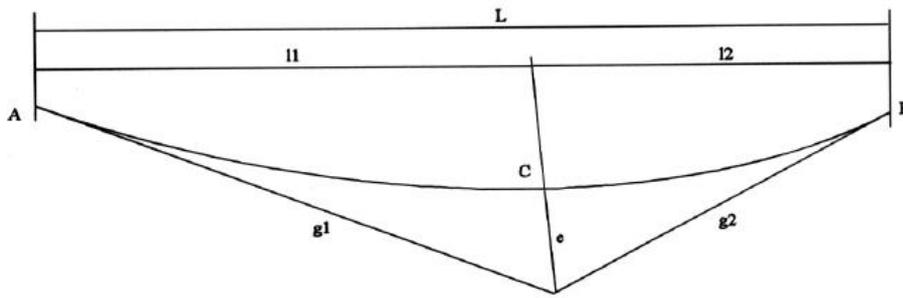


Ilustración 14. Curva cóncava asimétrica

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 58)

Tabla 16. Valores del factor K para curvas cóncavas

Velocidad directriz (km/hr)	Factor K calculado	Factor K redondeado	
		Mínimo absoluto	Mínimo recomendable
30	3.944	4	4
40	7.170	7	7
50	10.286	10	12
60	14.554	15	17
70	19.774	20	24
80	24.797	25	32
90	24.797	30	40
100	36.931	37	50

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 64)

3.8 SECCIONES TRANSVERSALES

3.8.1 CALZADA

La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de los vehículos y está constituida por dos o más carriles, entendiéndose por carril la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos. Las calzadas pueden ser pavimentadas o no.

(SIECA, 2011, p. 32)

3.8.2 CORONA

“Es el conjunto formado por la calzada y las bermas. El ancho de corona es la distancia horizontal medida normalmente al eje entre los bordes interiores de las cunetas” (SIECA, 2011, p. 32).

3.8.3 PENDIENTE TRANSVERSAL

“Es la pendiente que se da a la corona y a la subrasante con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua” (SIECA, 2011, p. 33).

3.8.4 BOMBEO

“En tangencias horizontales las calzadas deben tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal denominada bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura” (SIECA, 2011, p. 33).

Tabla 17. Tipo de superficie según el bombeo

Tipo de Superficie	Bombeo (%)
Superficie de concreto hidráulico o asfáltico	2
Tratamientos superficiales	2 - 3
Superficie de tierra o grava	2 - 4

Fuente: (SIECA, 2011)

3.8.5 HOMBROS

“El ancho de los hombros se determina en función de la categoría o clasificación de la carretera y de la topografía de la zona que atraviesa” (SOPTRAVI, 1996, p. 67).

3.8.6 TALUDES

Los taludes son los planos laterales que limitan la explanación. Su inclinación se mide por la tangente del ángulo que forman tales planos con la vertical en cada sección de

la vía. La inclinación de los taludes de corte es variable a lo largo de la vía según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados. (SIECA, 2011)

3.9 HIDROLOGÍA

“La hidrología se define como el estudio del ciclo hidrológico, o sea, es la circulación ininterrumpida del agua entre la Tierra y la atmósfera” (Maidment et al., 1994, p. 1).

Cubre las fases del agua y Tierra y se le conoce como la *madre de todas las ciencias hídricas* debido a que es una ciencia aplicada a todas las estructuras hidráulicas, abastecimiento de agua, aguas residuales, navegación y más (Maidment et al., 1994, p. 1).

3.9.1 CONCEPTOS HIDROLÓGICOS

3.9.1.1 Precipitación

“Se define como la caída y llegada al suelo de las gotas de agua que se encontraban en las nubes” (Salinas Núñez et al., 2001, p. 12).

3.9.1.2 Tipos de precipitación

Tabla 18. Diferentes tipos de precipitación

Lluvia	Diámetro de gotas: >0.5mm, gotas dispersas
Llovizna	Diámetro de gotas: <0.5mm, gotas muy cerca unas de otras.
Nieve	Precipitación sólida compuesta por cristales de hielo.
Granizo	Precipitación compuesta por bolas de nieve, con un tamaño entre 5-10mm
Pedrisco	Granizos grandes, hasta 5cm.

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001, p. 12)

3.9.1.3 Cuenca Hidrográfica

Es una unidad territorial en donde el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común. Desde este punto el agua fluye al mismo río, lago o mar. Aquí, viven

seres humanos, animales y plantas. Su área es de 60.000 - 300.000 hectáreas (Ordoñez Gálvez, 2011, p. 12).

3.9.1.4 *Subcuenca*

Es una unidad de drenaje de menor superficie que una cuenca y que forma parte de esta, constituyendo un tributario de esta, o sea una cuenca que sale o que drena a una cuenca más grande. Su área es de 10.000 - 60.000 hectáreas y de las microcuencas es menor que 10.000 hectáreas. (Ordoñez Gálvez, 2011, p. 13)

3.9.1.5 *Escorrentía Superficial*

La escorrentía superficial es el caudal de agua que se genera entre el momento en que la lluvia cae sobre la tierra y el instante en el que este pasa por un determinado punto del cauce. El escurrimiento en una cuenca se cree que es una consecuencia del ciclo hidrológico, que está formado por dos grupos:

1. Grupo climático: lluvias, nevadas, y evapotranspiración.
2. Grupo fisiográfico: tamaño, forma, pendiente de las áreas del drenaje, permeabilidad, capacidad de almacenamiento propiedades hidráulicas.

Para el diseño de drenaje en carreteras, las llamadas *cuencas pequeñas*, también conocidas como *microcuencas*, son cuencas sensitivas a las precipitaciones de gran intensidad y corta duración el factor más importante que determina su máximo escurrimiento es denominado como *flujo superficial*. Por otra parte, las cuencas de mayor tamaño tienen un almacenamiento más pronunciado, y, el factor que determina su máximo escurrimiento se le conoce como *flujo en el canal* (Salinas Núñez et al., 2001, p. 13).

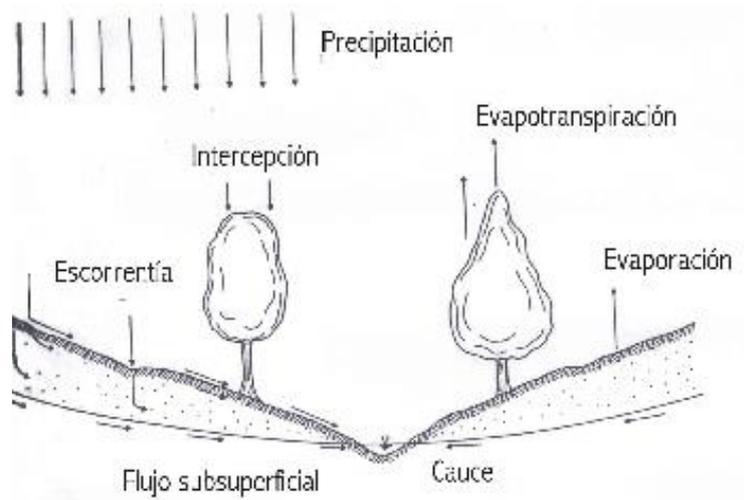


Ilustración 15. Escorrentía Superficial

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001, p. 14)

3.9.2 MEDICIONES HIDROLÓGICAS

3.9.2.1 Clasificación hidrológica de los suelos de Honduras

La clasificación hidrológica de los suelos se analiza dependiendo de los aspectos relacionados a la geología, tomando en consideración el grado de alteración de la roca madre (Salinas Núñez et al., 2001a, p. 38).

La tabla 19 demuestra la clasificación hidrológica de los suelos de Honduras y la ilustración 16 demuestra el mapa de la Capacidad hidrológica de los suelos de Honduras.

Tabla 19. Clasificación hidrológica de los suelos de Honduras tipo A

Serie de suelos	Nombre de la serie de suelo	Tipo (A)
AP	Arenas de Playa	A
AG	Suelos Aluviales bien drenados de textura gruesa	A
AS	Suelos Aluviales sin diferenciación	A
Chi	Chimbo	A
Da	Danlí	A
Ja	Jacaleapa	A
AF	Suelos Aluviales bien drenados de textura fina	A

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001, p. 39)

Tabla 20. Clasificación hidrológica de los suelos de Honduras tipo B

Serie de suelos	Nombre de la serie de suelo	Tipo (B)
Al	Alauca	B
Aw	Ahuasbila	B
Chn	Chinampa	B
Co	Cocona	B
Es	Esparigat	B
• Bw	• Bilwi	• B

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001, p. 39)

Tabla 21. Clasificación hidrológica de los suelos de Honduras tipo C

Serie de suelos	Nombre de la serie de suelo	Tipo (C)
Cha	Chandala	C
Cr	Coray	C
Cy	Coyolar	C
Mi	Milile	C
Pe	Pespire	C
• Si	• Silmacia	• C
Su	Sulaco	C
To	Toyós	C
• Ah	• Ahúas	• C

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001, p. 39)

Tabla 22. Clasificación hidrológica de los suelos de Honduras tipo D

Serie de suelos	Nombre de la serie de suelo	Tipo (D)
Sa	Salalica	D
AM	Suelos Aluviales mal drenados	D
Chz	Chimizales	D
Gu	Guaimaca	D
Na	Naranjito	D
Oj	Ojojona	D
Or	Orica	D
Pm	Pantanos y ciénegas	D
• SS	Sisín	• D
Ur	Urupas	D
Yo	Yojoa	D
Yu	Yauyupe	D
SV	Suelos de Valle	***

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001, p. 39)

- Estos suelos se ubican en el Depto. De Gracias a Dios donde la intervención humana es bastante baja, motivo por el cual no se incluyeron dentro de las pruebas de campo, sin embargo, u clasificación se hizo considerando su textura y profundidad.

*** Los Suelos de Valle no tienen clasificación hidrológica debido a que no poseen diferenciación por subseries.

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001a, p. 39)

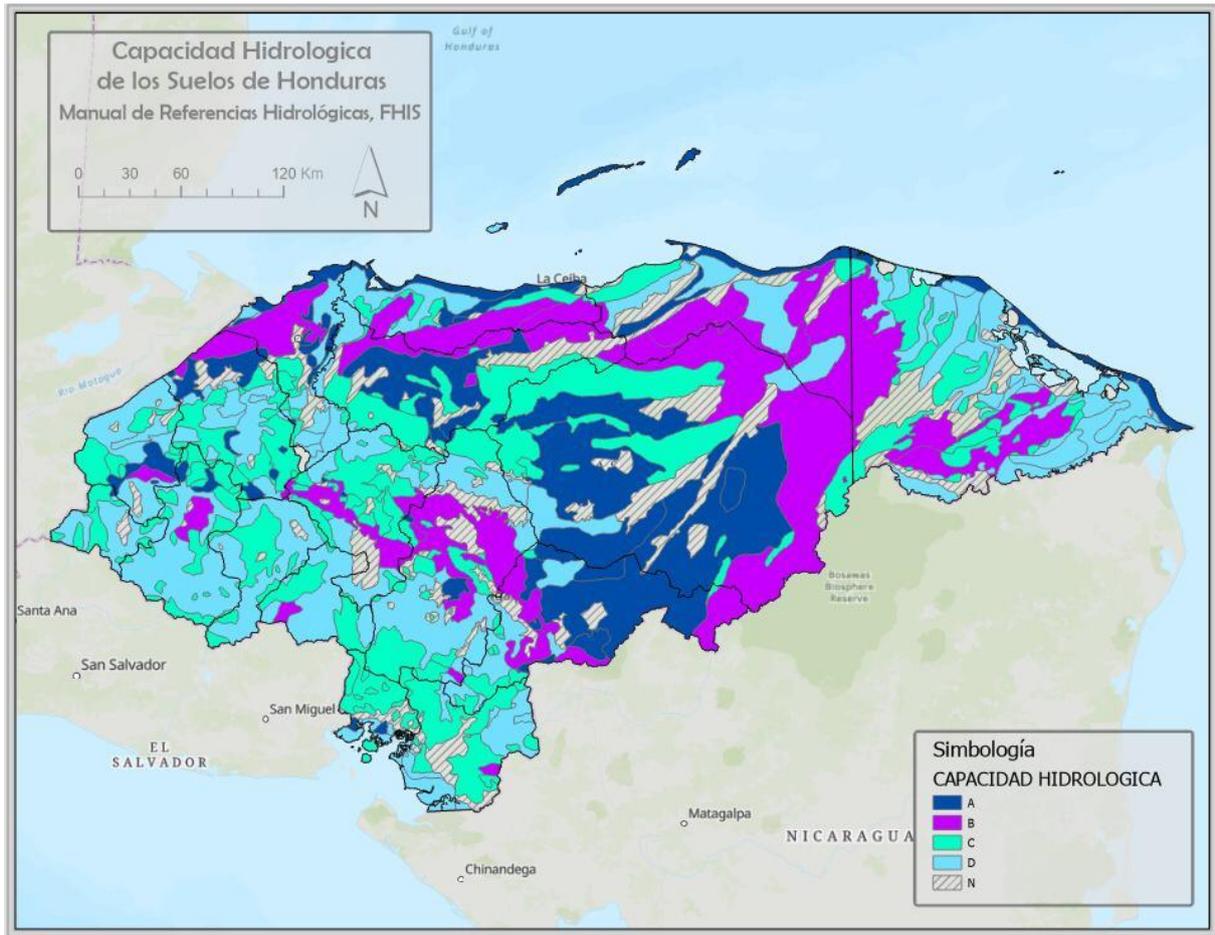


Ilustración 16. Capacidad hidrológica de los suelos de Honduras

Fuente: Elaboración propia en base a la información geoespacial recopilada del archivo del Ing. Ramón Paz Barahona

3.9.2.2 *Uso del suelo y cobertura vegetal*

La cobertura del suelo es un factor fundamental para la determinación del caudal pico mediante el coeficiente de escorrentía C utilizando la ecuación del Método Racional (Salinas Núñez et al., 2001a, p. 46).

$$Q = C * I * A$$

Ecuación 6. Cálculo de caudal Método Racional

Donde:

$$Q = \text{caudal de escorrentía} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$I = \text{intensidad de la lluvia } \left(\frac{mm}{h}\right)$

$A = \text{Superficie de la cuenca } (m^2)$

$C = \text{Coeficiente de escorrentría de acuerdo con las tablas}$

Para determinar la cobertura vegetal y uso del suelo es necesario localizar la zona de estudio en la ilustración 17, la cual demuestra la distribución del tipo de cobertura vegetal y uso en Honduras.

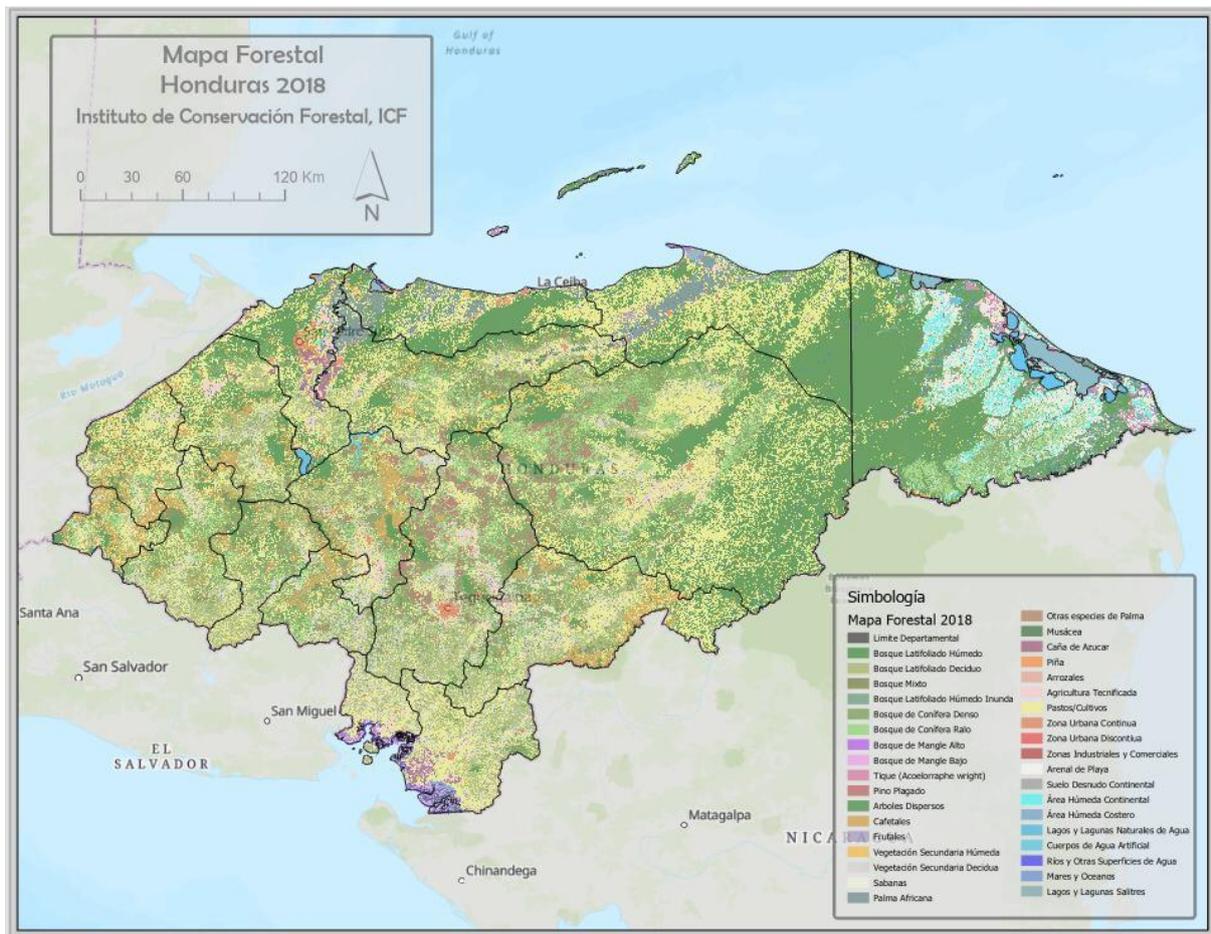


Ilustración 17. Mapa forestal de Honduras

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal (ICF) obtenida de entrevista a expertos.

Tabla 23. Coeficiente de escorrentía C

Cobertura Vegetal y Uso del Suelo	Tipo de Suelo	Pendiente de Terreno			
		Pronunciada >50%	Alta >20%	Media >5%	Suave <1%
Sin vegetación o suelos desnudos	A	0.50	0.45	0.40	0.35
	B	0.60	0.55	0.50	0.45
	C	0.70	0.65	0.60	0.55
	D	0.80	0.75	0.70	0.65
Cultivos anuales Maíz, Frijol, Arroz, Melón Hortalizas	A	0.40	0.35	0.30	0.25
	B	0.50	0.45	0.40	0.35
	C	0.60	0.55	0.50	0.45
	D	0.70	0.65	0.60	0.55
Vegetación Ligera y Pastos Plantíos nuevos de café Caña, banano, plátano Cítricos	A	0.35	0.30	0.25	0.20
	B	0.45	0.40	0.35	0.30
	C	0.55	0.50	0.45	0.40
	D	0.65	0.60	0.55	0.50
Hierba, Grama	A	0.30	0.25	0.20	0.15
	B	0.40	0.35	0.30	0.25
	C	0.50	0.45	0.40	0.35
	D	0.60	0.55	0.50	0.45
Bosques coníferos y deciduos con cobertura entre 50-75%	A	0.30	0.25	0.20	0.15
	B	0.40	0.35	0.30	0.25
	C	0.50	0.45	0.40	0.35
	D	0.60	0.55	0.50	0.45
Vegetación Densa Bosques preñifolio Latifoliados o coníferas con cobertura >75%	A	0.25	0.20	0.15	0.10
	B	0.35	0.30	0.25	0.20
	C	0.45	0.40	0.35	0.30
	D	0.55	0.50	0.45	0.40

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001a, p. 46)

La tabla 23 se utiliza para determinar el coeficiente de escorrentía de acuerdo con el uso, tipo de suelo y pendiente.

3.9.3 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

3.9.3.1 *Tiempo de concentración*

“El tiempo de concentración se define como el tiempo necesario para que una gota de agua llegue hasta la estructura de drenaje en estudio desde el punto más alejado de la cuenca y puede ser determinado mediante varias expresiones empíricas” (Salinas Núñez et al., 2001a, p. 63).

La fórmula de Kirpich se expresa de la siguiente manera:

$$T_c = 0.01947 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Ecuación 7. Tiempo de concentración

Donde:

$T_c =$ tiempo de concentración (min)

$L =$ longitud del cauce (m)

$S =$ pendiente del cauce $\left(\frac{m}{m}\right)$

3.9.3.2 *Intensidad*

La intensidad de la lluvia se define como la cantidad de agua en mm que cae sobre la cuenca en el transcurso del tiempo. Estos valores de intensidad se obtienen de los pluviógrafos y los valores son tomados en un intervalo de cinco minutos. La intensidad de un punto de interés se calcula con la ecuación 8 o ingresando a las curvas de intensidad, duración y frecuencia (Salinas Núñez et al., 2001a, p. 69).

$$i = \frac{a}{(b + d)^n}$$

Ecuación 8. Cálculo de intensidad

Donde:

$i =$ intensidad de la lluvia ($\frac{mm}{h}$)

$d =$ duración de la tormenta

a, b y $n =$ constantes de la relación ajustada

3.9.3.3 Método Racional

Este método supone que si sobre un área determinada cayese una precipitación de intensidad uniforme en el tiempo y en el espacio, llegará un momento en que la cantidad de agua que cae equivale a la que sale del área, siempre y cuando ésta área posea un cierto grado de impermeabilidad (Salinas Núñez et al., 2001a, p. 74).

3.10 DRENAJE

3.10.1 DRENAJE LONGITUDINAL

“Es el conjunto de obras que recogen las aguas que escurren en forma laminar por taludes y calzada y las conducen hasta las obras de descarga transversa, esto es, alcantarillas y puentes” (SOPTRAVI, 1996, p. 102).

El drenaje longitudinal se refiere a:

1. Cunetas laterales
2. Bordillos en zonas de terraplén
3. Zanjas de desagüe
4. Contracunetas
5. Bordos
6. Tuberías
7. Obras de captación
8. Obras de control

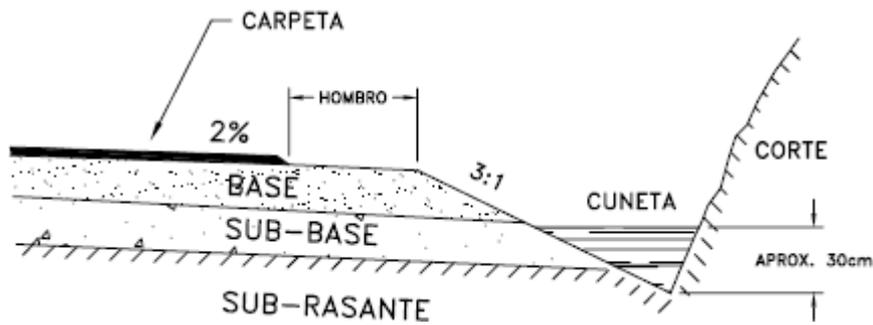


Ilustración 18. Sección transversal de una cuneta

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 104)

3.10.1.1 Hidráulica de canales

Para poder calcular la parte hidráulica de canales se utiliza la formula de Manning mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{1}{n} \left(\frac{A}{p} \right)^{2/3} \sqrt{i}$$

Ecuación 9. Velocidad de escurrimiento

Donde:

$V =$ velocidad de escurrimiento $\left(\frac{m}{seg} \right)$

$n =$ coeficiente de rugosidad

$A =$ sección de escurrimiento (m^2)

$p =$ perímetro mojado (m)

$i =$ pendiente longitudinal (m/m)

Para calcular el caudal, se multiplica la velocidad por el área. Una de las maneras más fáciles de realizar ambos cálculos con las fórmulas mencionadas anteriormente para secciones con formas comunes como rectangular, trapecial y triangular se pueden utilizar los programas QPRO y Microsoft Excel.

La ecuación general para resolver en cualquiera de sus términos se expresa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{1}{n} \frac{(Bh + 1/2(m_1 + m_2)h^2)^{5/3}}{(B + h(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}))^{2/3}}$$

Ecuación 10. Método Newton-Raphson

Este método tiene por consiguiente dos restricciones

1. La expresión será válida para secciones rectangulares solo si m_1 y m_2 son iguales a 0
2. Para secciones triangulares, la expresión es válida solo si $B=0$

(SOPTRAVI, 1996, p. 105).

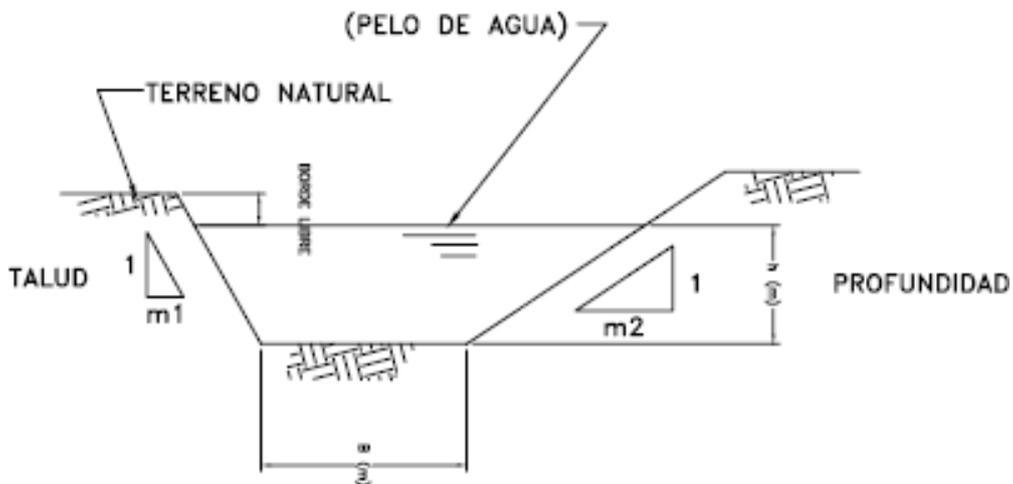


Ilustración 19. Sección típica de una cuneta

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 106)

La evaluación del coeficiente de rugosidad para diseño de cunetas es fundamental en las tareas de la hidráulica. A continuación se muestra una tabla de valores de coeficientes "n" para zanjas anchas (SOPTRAVI, 1996, p. 107).

Tabla 24. Valor del coeficiente "n"

Tipo de recubrimiento	Valor del coeficiente n
Tierra compactada	0.020
Césped con más de 15 cm de profundidad de agua	0.040
Césped con menos de 15 cm de profundidad de agua	0.060
Revestimiento rugoso de piedra	0.040
Cunetas pavimentadas de hormigón	0.016

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 107)

Para el dimensionamiento de un canal, se debe verificar la velocidad de escurrimiento. Debe ser un resultado menor que el valor admisible para el material de fondo.

Tabla 25. Velocidades máximas para diseño de canal

Tipo de material	Agua limpia Velocidad (m/seg)	Agua con sedimento Velocidad (m/seg)
Arena fina	0.46	0.76
Greda limosa	0.53	0.76
Greda limosa	0.61	0.91
Limo	0.61	1.07
Greda firme ordinaria	0.76	1.07
Arcilla consistente	1.14	1.52
Greda aluvial coloidal	1.14	1.52
Esquistos y tierra compacta	1.83	1.83
Grava fina	0.76	1.52
Grava gruesa	1.22	1.83
Guijarros y ripio	1.52	1.68

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 107)

En la tabla 25 se muestran las velocidades máximas para el diseño de un canal estable.

3.10.1.2 Retardadores

Son pequeños diques sumergidos colocados transversalmente a la cuneta, contruidos con postes y ramas, piedra en seco, mampostería o concreto. Se recomienda una altura entre 0.40 a 0.50 metros. Si "H" es la altura del umbral del vertedero del retardador e "i" la pendiente de fondo de la cuneta a la distancia entre retardadores, será calculada de la siguiente manera:

$$L_R = \frac{H}{i}$$

Ecuación 11. Longitud del retardador

Donde:

H = altura del umbral del vertededor del retardador

i = pendiente de fondo de la cuneta

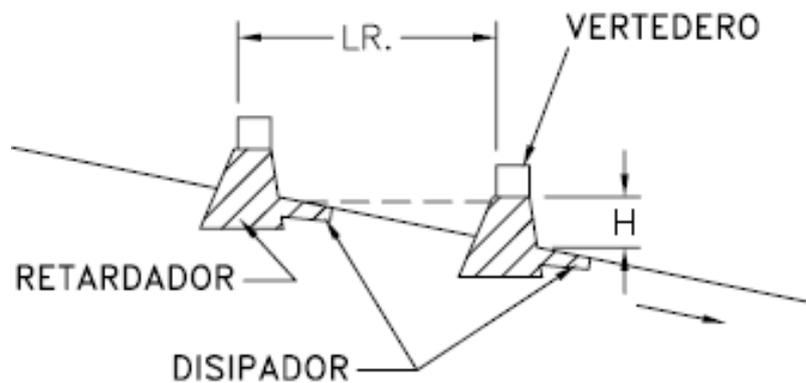


Ilustración 20. Retardadores

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 109)

3.10.2 DRENAJE TRANSVERSAL: ALCANTARILLAS

Una alcantarilla es un conducto hidráulicamente corto que sirve para proveer las facilidades necesarias para el paso de las aguas de un lado al otro de la vía manteniendo, en lo posible, las condiciones naturales del drenaje. Estas aguas, provenientes principalmente de lluvias, pueden escurrir por ríos, quebradas o correderos de invierno y aún provenir de la captación de las precipitaciones por cunetas y escurrir paralelamente por la superficie aledaña a la calzada. (SOPTRAVI, 1996, p. 149)

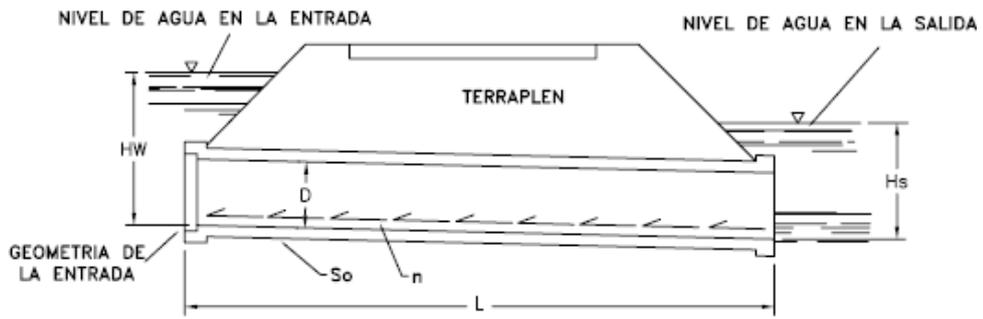


Ilustración 21. Descripción de una alcantarilla

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 150)

“Una alcantarilla debe localizarse, en el trayecto o alineamiento de un curso de agua y en su proyección vertical lo más conformada con el lecho del río o quebrada, para evitar excavaciones estructurales mayores o trabajos de mejoramiento del cauce” (SOPTRAVI, 1996, p. 152).

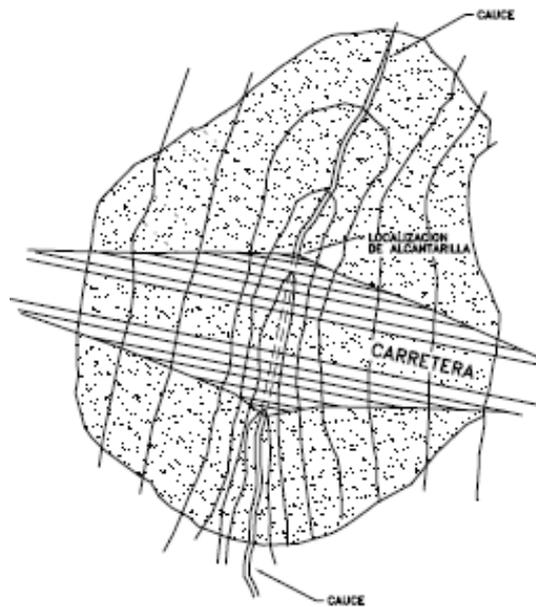


Ilustración 22. Localización de alcantarilla en su drenaje natural

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 153)

Las tuberías de concreto fabricadas en el país de acuerdo con las especificaciones ASTM son las siguientes:

Tabla 26. Especificaciones de alcantarillas de concreto (sin refuerzo)

Especificación ASTM-C-14 (Sin refuerzo)						
Diámetro		Peso del tubo		Espesor de pared		Largo
(plg)	(mm)	(Lbs)	(Kg)	(plg)	(mm)	(m)
6	150	140	64	1 ¼"	32	1.25
8	200	200	91	1 ½"	38	1.25
10	250	260	118	1 ¾"	44	1.25
12	300	540	245	2"	50	2.00
15	380	780	355	2 ¼"	57	2.00
18	460	1060	482	2 ½"	64	2.00
24	610	1520	691	3"	76	2.00

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 159)

Tabla 27. Especificaciones de alcantarillas de concreto (con refuerzo)

Especificación ASTM-C-14 (Con refuerzo)						
Diámetro		Peso del tubo		Espesor de pared		Largo
(plg)	(mm)	(Lbs)	(Kg)	(plg)	(mm)	(m)
15	380	790	359	2 ¼"	57	2.00
18	460	1,060	482	2 ½"	64	2.00
24	610	1,520	691	3"	76	2.00
30	762	2,590	1,177	3 ½"	89	2.00
36	915	3,220	1,464	4"	102	2.00
42	1,067	4,000	1,818	4 ½"	114	2.00
48	1,220	5,550	2,523	5"	127	2.00
60	1,525	8,570	3,895	6"	152	2.00
72	1,830	12,170	5,532	7"	178	2.00

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 159)

Para PVC, con especificación ASTM para drenaje D-3034, la fabricación local es en los diámetros siguientes:

Tabla 28. Especificaciones para alcantarillas de PVC

Especificación ASTM D-3034				
Diámetro		SDR	Longitud	Peso
(mm)	(plg)	-	(m)	(kg)
100	4	33.5	5.0	7.58
-	-	35	5.0	7.25
150	6	35	5.0	16.22
200	8	41	4.0	19.87
-	-	42	4.0	19.40
250	10	41	4.0	31.05
-	-	42	4.0	30.34
300	12	41	4.0	44.03
-	-	42	4.0	43.36

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 160)

3.10.3 MÉTODO EMPÍRICO DE TALBOT

Este método es utilizado generalmente en proyectos de obras “menores” de drenaje, es decir las alcantarillas con una longitud igual o menor que 6 metros. El método consiste en aplicar una formula publicada por A.N. Talbot (S.C.T, 1992, p. 89). La ecuación es la siguiente:

$$a = 0.183 * C * \sqrt[4]{A^3}$$

Ecuación 12. Método empírico de Talbot

Donde:

a = área hidráulica que deberá tener la alcantarilla (m²)

A = área de la cuenca por drenar (Ha)

C = coeficiente de escurrimiento que depende de la topografía de la cuenca

Tabla 29. Valores del coeficiente C de la fórmula de Talbot

Características topográficas de la cuenca	Valor de C
Montañosa y escarpada	1.00
Con mucho lomerío	0.80
Con lomerío	0.60
Muy ondulada	0.50
Poco ondulada	0.40
Casi plana	0.30
Plana	0.20

Fuente: (S.C.T, 1992, p. 90)

Según el autor de la ecuación, este método es aplicable a cuencas de hasta 200 km².

3.11 PAVIMENTO RÍGIDO

Una de las ventajas que tiene el pavimento rígido es la rigidez que tiene la losa de hormigón, ya que esta produce una distribución equivalente de las cargas de las ruedas de los vehículos, quiere decir que, produce tensiones menores en la subrasante.

Debido a la rigidez y alto módulo de elasticidad del hormigón, los pavimentos rígidos basan su capacidad portante en la losa de hormigón más que en la capacidad de la subrasante. Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos:

1. Hormigón simple con juntas.
2. Hormigón armado con juntas.
3. Hormigón armado con refuerzo continuo

(Cordo, 1998, p. 1).

3.11.1 ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

3.11.1.1 *Subrasante*

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño

(Coronado Iturbide, 2002, p. 94).

3.11.1.2 *Subbase*

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento

(Coronado Iturbide, 2002, p. 95).

3.11.1.3 *Losa de concreto hidráulico*

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento (Coronado Iturbide, 2002, p. 96).

3.12 MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

3.12.1 MÉTODO DE DISEÑO AASHTO-93

El método AASHTO-93 para calcular el espesor se desarrolla con uso de nomogramas o programas de cómputo. La ecuación 23 muestra la forma simplificada para el cálculo del espesor de pavimento rígido.

$$\text{Log}_{10}W_{82} = Z_R S_o + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + \left(4.22 - 0.32 P_t \right) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{M_r C_d (0.09 D^{0.075} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.075} - \frac{23.24}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}} \right)} \right)$$

Ecuación 13. Cálculo de espesor de pavimento método AASHTO 93

Donde:

W_{82} = número previsto de ejes equivalentes de 8.2 T a lo largo del periodo de diseño

Z_R = desviación estándar

S_o = error estándar combinado en la predicción del tránsito

D = espesor de pavimento de concreto (mm)

ΔPSI = diferencia entre los índices de servicio inicial y final

P_t = índice de serviciabilidad o servicio final

M_r = resistencia medida del concreto a flexo tracción a los 28 días (Mpa)

C_d = coeficiente de drenaje

J = coeficiente de transmisión de cargas en las juntas

E_c = módulo de elasticidad del concreto (Mpa)

k = módulo de reacción de la superficie (base, subbase o subrasante)(Mpa/m)

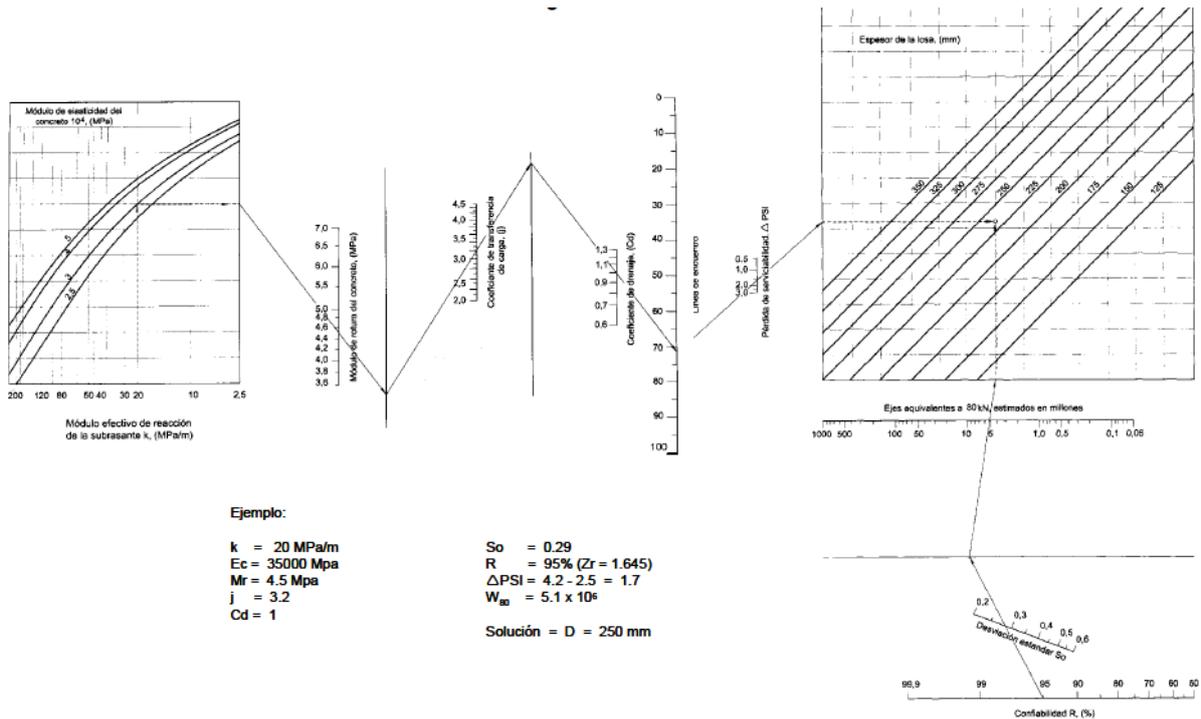


Gráfico 1. Nomograma AASHTO

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 52)

3.12.1.1 Ejes simples equivalentes

“Para el método AASHTO, se requiere transformar los ejes simples equivalentes de 82 kN (8 toneladas métricas) los ejes de los diferentes pesos que circularán por el pavimento” (Coronado Iturbide, 2002, p. 53).

3.12.1.2 Período de diseño

“Se considera que, para un período de diseño, se necesita que no sea menor a veinte años con el fin de que por lo menos se incluya una rehabilitación de pavimento durante este lapso” (Coronado Iturbide, 2002, p. 53).

3.12.1.3 Número de carriles en ambas direcciones y en cada dirección

Para efectos de diseño, el tránsito que se debe de tomar en cuenta es el que utiliza el carril objeto de diseño, por lo que generalmente se admite que en cada dirección circula

el 50% del tránsito total (del que viaja en las dos direcciones) y que dependiendo del lugar puede variar entre 30% y 70%. (Coronado Iturbide, 2002, p. 53)

Tabla 30. Porcentaje de camiones en el carril de diseño

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 ó más	40

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 53)

En cuanto al número de carriles en cada dirección, se puede llegar a suponer que circulan los siguientes porcentajes de tránsito según la siguiente tabla:

Tabla 31. Número de carriles en una dirección

No. De carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82 kN en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 54)

3.12.1.1 Desviación estándar (Zr)

Tabla 32. Desviación estándar en función a la confiabilidad (R%)

Confiabilidad %	Desviación normal estándar Zr	Confiabilidad %	Desviación normal estándar Zr
50	0.000	93	-1.476
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
91	-1.340	99.99	-3.750
92	-1.405	-	-

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 55)

3.12.1.2 Error estándar combinado S_o

Representa la desviación estándar conjunta, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado P_t . (Coronado Iturbide, 2002, p. 55)

A continuación, se mostrará la tabla de valores que se deben utilizar para un error estándar combinado:

Tabla 33. Valores de error estándar S_o a utilizar

Pavimentos rígidos	0.30-0.40
Construcción nueva	0.35
Sobre-capas	0.40

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 56)

3.12.1.3 Confiabilidad ($R\%$)

Se utilizan valores de confiabilidad dependiendo del tipo de carretera tales como:

Tabla 34. Niveles de confiabilidad R (%) en relación con el tipo de carretera

Tipo de Carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	50-80

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 56)

3.12.1.4 Factor de seguridad

Cabe mencionar que los factores Z_r y S_o son evidentemente un factor de seguridad, y según la fórmula AASHTO, se pide utilizar un factor de seguridad en función del tránsito que circula sobre el carril del diseño (Coronado Iturbide, 2002, p. 56).

Tabla 35. Confiabilidad y factores de seguridad recomendados

Tránsito esperado en el carril de diseño en millones de ejes equivalentes	Confiabilidad R	Z _r	S _o	Factor de Seguridad
<5	50	0.000	0.35	1.00
5-15	50-60	0.000-0.253	0.35	1.00-1.23
15-30	60-70	0.253-0.524	0.35	1.23-1.83
30-50	70-75	0.524-0.674	0.34	1.51-1.70
50-70	75-80	0.674-0.841	0.32	1.64-1.86
70-90	80-85	0.841-1.037	0.30	1.79-2.05

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 56)

3.12.1.5 Índice de serviciabilidad (ΔPSI)

El índice de serviciabilidad es conocido como el valor as bajo de deterioro que puede llegar a obtener el pavimento, sin embargo, el índice de serviciabilidad final (Pt) para carreteras que contienen un mayor tránsito, el valor deben de tener un valor de 2.5 y para carreteras con menos tránsito, tienen un valor de 2.0. Ya para el índice de serviciabilidad inicial (Po) se deben considerar los métodos de construcción para la calidad del pavimento. En los ensayos de pavimento según las normas AASHTO, el Po va de 4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para pavimentos flexibles. Al final, se resta la diferencia entre Po y Pt, y se obtiene ΔPSI

(Coronado Iturbide, 2002, p. 57).

3.12.1.6 Coeficiente de drenaje (Cd)

Este coeficiente este compuesto por dos variables:

1. Calidad del drenaje: tiempo que se tarda el agua infiltrada en evacuarse del pavimento.

2. Exposición a la saturación: porcentaje de tiempo (por año) en que el pavimento se expone a niveles de humedad. El porcentaje mencionado anteriormente depende de la precipitación media anual y condiciones de drenaje (Coronado Iturbide, 2002, p. 57).

Tabla 36. Calidad de drenaje

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

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 57)

Tabla 37. Valores de coeficiente de drenaje Cd

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1%-5%	5%-25%	Más del 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Mediano	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Malo	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy malo	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 58)

3.12.1.7 Coeficiente de transmisión de carga (J)

“Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de concreto de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (juntas o grietas)” (Coronado Iturbide, 2002, p. 58).

Tabla 38. Valores de coeficiente de transmisión de carga J

Tipo de pavimento	Hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
	si	no	si	no
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Reforzado continuo	2.9-3.2	-	2.3 - 2.9	-

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 59)

3.12.1.8 Módulo de elasticidad del concreto E_c

“El módulo de elasticidad del concreto se puede determinar mediante la norma ASTM C-469” (Coronado Iturbide, 2002, p. 59).

En algunos casos, se puede realizar una correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad como lo indica la siguiente tabla:

Tabla 39. Correlación entre la resistencia a la compresión y el Módulo de elasticidad E_c .

Tipo de agregado y origen	Módulo de Elasticidad E_c (Mpa)	Módulo de Elasticidad E_c (kg/cm ²)
Grueso – Ígneo	$E_c = 5,500 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 17,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4,70000 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 15,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso - Sedimentario	$E_c = 3,600 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 11,500 \times (f_c)^{1/2}$
Sin Información	$E_c = 3,900 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 12,500 \times (f_c)^{1/2}$

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 60)

3.12.1.9 Factor de pérdida de soporte L_s

“Es un factor que se le aplica a la losa de concreto cuando se le da una pérdida de soporte por efectos de erosión en la subbase o también por los asentamientos diferenciales que se producen en la subrasante” (Coronado Iturbide, 2002, p. 60).

Tabla 40. Valores del factor de pérdida de soporte L_s por el tipo de base o subbase

Tipos de subbase o base	Factor de pérdida de soporte
Subbases granulares tratadas con cemento (Mr: de 7,000 a 14,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Subbases tratadas con cemento (Mr: de 3,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Bases asfálticas (Mr: de 2,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Subbases estabilizadas con asfalto (Mr: de 150 a 1,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Estabilización con cal (Mr de 150 a 1,000 Mpa)	1.00 a 3.00
Materiales granulares sin tratar (Mr: de 100 a 300 Mpa)	1.00 a 3.00
Suelos finos y subrasantes naturales (Mr: de 30 a 300 Mpa)	2.00 a 3.00

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 61)

3.12.1.10 Módulo de reacción k

“Es el valor de la capacidad soporte del suelo, la cual depende del Módulo de Resiliencia de la subrasante y subbase, así como el Módulo de Elasticidad de la subbase” (Coronado Iturbide, 2002, p. 61).

3.12.2 MÉTODO PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA)

Aplica a los diferentes tipos de pavimentos rígidos como:

1. Pavimentos de concreto simple: espaciamiento entre juntas no debe exceder los 4.50m
2. Pavimentos de concreto simple con dovelas: las losas no deben ser mayores a 6m.
3. Pavimentos de concreto reforzado con dovelas: las losas no deben ser mayores a 12m.
4. Pavimentos de refuerzo continuo sin juntas de contracción: las losas no deben ser mayores a 12m.

(Coronado Iturbide, 2002, p. 67)

Sin embargo, para tal método se le adicionan dos criterios básicos que son los siguientes:

1. Fatiga: mantiene los esfuerzos que se van produciendo dentro de los límites de seguridad, debido a que la transmisión de cargas hacia la losa de concreto hidráulico produce esfuerzos que al final se convierten en agrietamientos (Coronado Iturbide, 2002, p. 68).
2. Erosión: limita los efectos de deflexión que son producidos en los bordes de las losas, y puede llegar a controlar la erosión que se produce en la subbase o subrasante (Coronado Iturbide, 2002, p. 68).

3.12.2.1 Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de Rotura, M_r)

"Este valor se utiliza en el diseño, bajo el criterio de la fatiga que sufren los materiales por el paso de las cargas impuestas por los vehículos pesados, que tienden a producir agrietamiento en el pavimento"(Coronado Iturbide, 2002, p. 208).

3.12.2.2 Capacidad de soporte de la Subrasante o Subbase (k)

Conocido también como el Módulo de Reacción (k) es la capa de apoyo del pavimento. El valor k se puede calcular mediante una correlación junto con el CBR.

Tabla 41. Correlación aproximada entre clasificación de suelos y ensayos

Clasificación Unificada										GP										GW									
										GM																			
										GC																			
										SW																			
										SM																			
										SP																			
										SC																			
OH					ML																								
CH					CL																								
					OL																								
					MH																								
Clasificación AASHTO										A-1-b										A-1-a									
										A-2-6 . A-2-7										A-2-4 . A-2-5									
										A-3																			
										A-4																			
										A-5																			
										A-6																			
										A-7-5 . A-7-6																			
										Valor de Resistencia, R (HVEEM)																			
										Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m)																			
										Módulo de reacción de la subrasante k (kg/cm ²)																			
										Valor Soporte (psi)																			
										CBR																			
2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	1										

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 209)

3.12.2.3 Período de diseño

Para la construcción de un pavimento rígido, se toma un periodo de diseño adecuado de 20 años, no obstante, el cálculo del periodo de diseño dependerá del tipo de carretera, nivel de tránsito, análisis económico y el servicio que prestará (Coronado Iturbide, 2002, p. 210).

3.12.2.4 Factor de seguridad de carga

Este método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (F_{sc}), para lo cual se recomienda lo siguiente:

- Para vías que tiene múltiples carriles, en los cuales se espera un flujo de tráfico interrumpido con un elevado volumen de tránsito pesado, $F_{sc} = 1.2$

- Para carreteras y vías urbanas en las que el tránsito esperado es de un volumen moderado de vehículos pesados $F_{sc} = 1.1$
- Para calles residenciales y otras que soporten bajo volumen de tránsito de camiones, $F_{sc} = 1.0$

(Coronado Iturbide, 2002, p. 213)

3.13 SEÑALIZACIÓN

El sistema vial nace para satisfacer la necesidad de comunicar regiones y ciudades. Todo ciudadano debe tener conocimiento de cómo funciona la red para poder desplazarse sin contratiempos con rapidez y seguridad de un punto a otro (Poon Hung, 2014, p. 1)

Las señales y dispositivos de seguridad deben mantener consistencia en términos de diseño e instalación, de tal forma que permitan la pronta identificación del mensaje que se pretende comunicar. La información que se transmite a los usuarios debe ser clara y pertinente, utilizando primordialmente símbolos y pictogramas, además de leyendas cuando así se requiera. (Poon Hung, 2014, p. 1)

3.13.1 CÓDIGO DE COLORES

El código de colores mostrado en la tabla 42. establece de manera general el uso de estos y su aplicación para los distintos elementos que componen al sistema de señalización vial. Es importante uniformizar la utilización de los colores ya que permite identificar su aplicación independientemente del mensaje o indicación que se plasme en la señal. (Poon Hung, 2014, p. 9)

Tabla 42. Código de colores

Color	Uso
Amarillo	Prevención
Azul	Servicios e información turística
Blanco	Restricción, información general y de recomendación
Naranja	Zona de obras
Rojo	Alto y prohibición
Verde	Información de destino
Verde limón	Cruce de escolares

Fuente: (Poon Hung, 2014, p. 9)

3.13.2 SEÑALES VERTICALES

“Las señales verticales son dispositivos instalados a nivel del camino o sobre él, destinados a reglamentar, advertir o informar al tránsito, mediante palabras o símbolos determinados” (COPACA, 1991, p. 22).

3.13.2.1 Clasificación por su estructura de soporte

1. Señales bajas: son todas aquellas que tienen una altura libre de 2.5 m entre el nivel de hombro de la carretera y la parte inferior de la señal, Las señales bajas se clasifican en uno o dos postes (Poon Hung, 2014, p. 58).

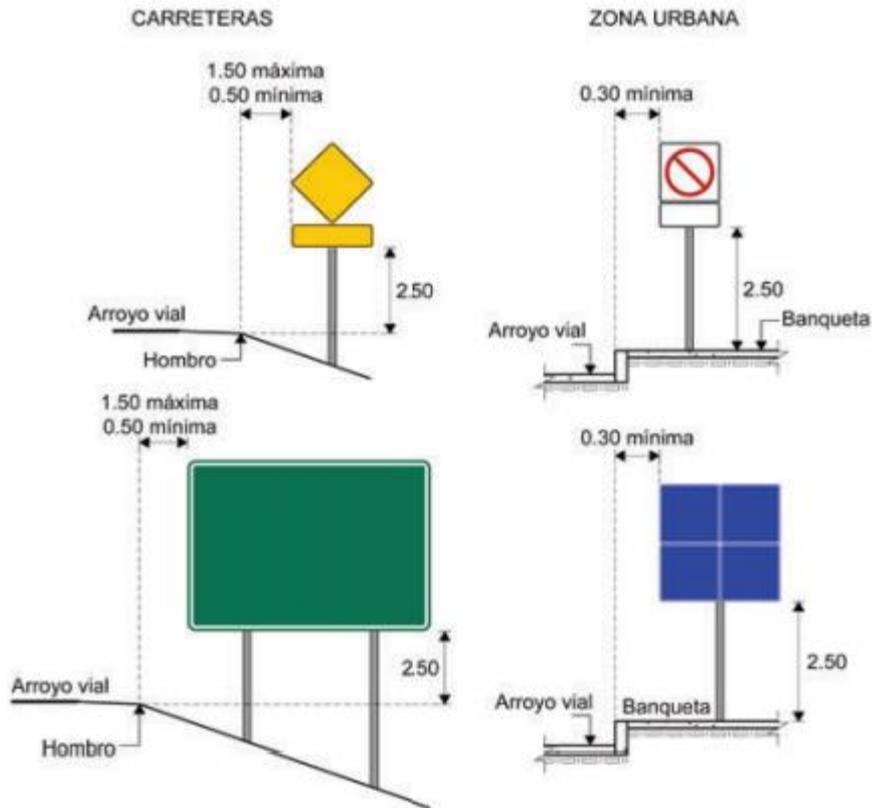


Ilustración 23. Ejemplo de señales bajas

Fuente: (Poon Hung, 2014, p. 59)

2. Señales elevadas: son las señales que deben colocarse a una altura libre igual o mayor que 5.50 m entre la parte inferior del tablero y el nivel del arroyo vial. Las señales elevadas pueden clasificarse en bandera, bandera doble y puente.

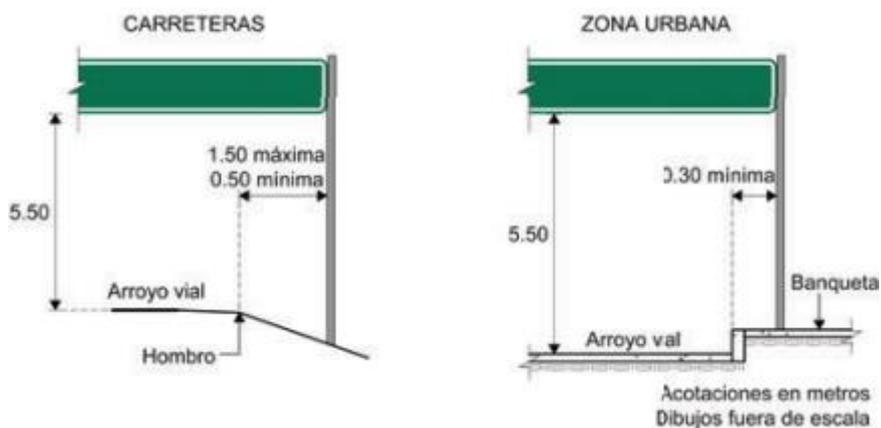


Ilustración 24. Ejemplo de señales elevadas

Las señales verticales se clasifican en:

1. Señales de reglamentación: "son las que indican reglamentos de tránsito"(COPACA, 1991, p. 22).
2. Señales de prevención: "indican condiciones adyacentes a una calle o carretera" (COPACA, 1991, p. 22).
3. Señales de información: "indican rutas, destinos, direcciones, distancias, etc." (COPACA, 1991, p. 22).

3.13.2.2 Formas de señales verticales

1. Octógono regular: uso de señal "ALTO".
2. Triángulo equilátero: se utiliza para la señal de "CEDA EL PASO".
3. Las formas circular y rectangular: señales de reglamentación excepto la señal de "PARE" y de "CEDA EL PASO", las unidades son en centímetros.

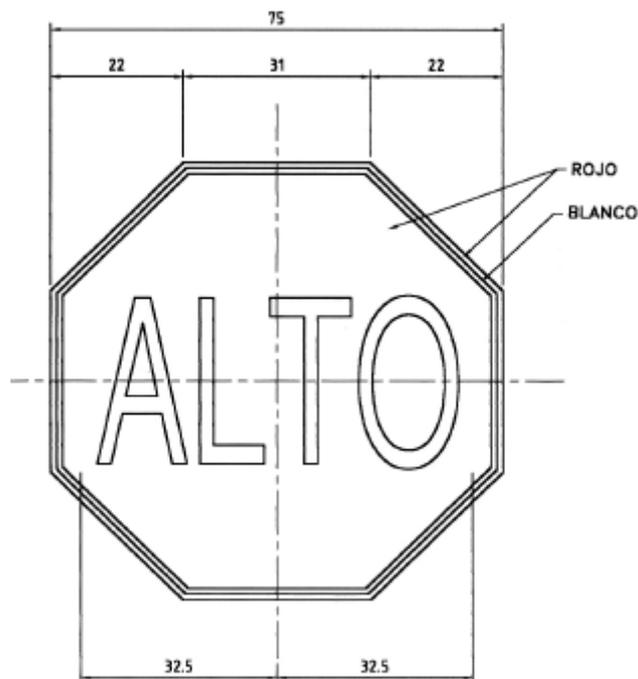


Ilustración 25. Señal de "ALTO"

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 362)

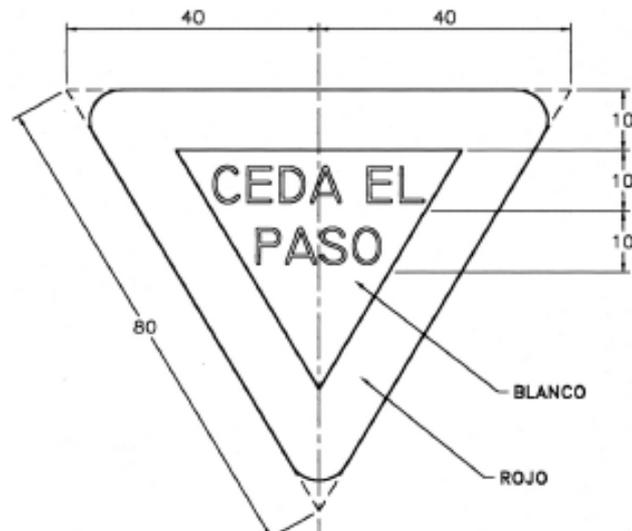


Ilustración 26. Señal de "CEDA EL PASO"

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 363)

3.13.3 SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

La señalización horizontal se refiere a las rayas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, brocales y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos. (COPACA, 1991, p. 109)

3.13.3.1 Formas de señales horizontales

"El tablero de las señales informativas para protección de obras será rectangular con las esquinas redondeadas, colocado con su mayor dimensión horizontal" (SOPTRAVI, 1996, p. 125).

3.13.3.2 Colores de señales horizontales

Las demarcaciones de pavimento serán de color blanco o amarillo. El color negro es permitido utilizarlo cuando en las grietas de una línea de pavimentado ya segmentada, no genera cierto contraste. El amarillo es el color que definirá la separación de corrientes de

tránsito. El blanco delimita los bordes de la calzada, pasos peatonales y espacios de los estacionamientos. (Coronado Iturbide, 2002, p. 125)

3.13.3.3 Ancho de líneas

Tabla 43. Ancho de líneas horizontales

Líneas centrales, de canal y de barrera	Ancho de 10-15cm, la más utilizada es la de 10cm, pero, la de 15cm genera más visibilidad.
Línea de canal	Puede variar de 10cm hasta 30cm dependiendo de lo deseado.
Líneas de borde	Ancho entre 5-10cm.
Líneas transversales	Su ancho debe ser mayor a las de las líneas longitudinales para mayor visibilidad.
Líneas de "PARE"	Ancho de hasta 60cm

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 126)

3.13.3.4 Ubicación longitudinal

Dichas señales preventivas deben colocarse antes de cualquier riesgo que se trate de señalar, ósea, a una distancia que depende de la siguiente tabla:

Tabla 44. Ubicación longitudinal de las señales preventivas para protección de obras.

Velocidad Km/hr	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Distancia (m)	30	40	55	75	95	115	135	155	175

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 124)

IV. METODOLOGÍA

4.1 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

4.1.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS

Como actividad preliminar, una vez reconocido el sitio del proyecto, se procedió a identificar dentro del tramo carretero las características del suelo de la zona, determinando la necesidad de obtener cinco diferentes muestras de suelos, de las estaciones 0+060, 1+110, 1+370, 1+670 y 2+280, como resultado de la inspección de las características del suelo de cada uno de los sitios seleccionados por presentar diferencias en cuanto al color y contextura, especialmente en los taludes de corte del tramo carretero considerando que representan las características del terreno natural.

Se tomó la decisión de extraer las muestras de los taludes por las siguientes razones:

1. El camino existente ya posee una superficie de rodadura protegida por material selecto, por lo que se vio imposible extraer suelo mediante una calicata de bajo de la superficie del camino. Cabe resaltar que no se vio necesario llevar a cabo ese procedimiento ya que el objetivo del muestreo está orientado para un proyecto académico
2. En la mayor parte del tramo carretero el cerco está entre 0.5 metros y 4 metros de distancia del borde del camino; esta área es frecuentemente utilizada como paso peatonal. Por esta razón, no es recomendable hacer calicatas al lado del camino para no perjudicar a los peatones. Al extraer muestras de suelos de taludes aledaños al camino, nos aseguramos no poner en riesgo ni a los peatones ni al camino en sí.

A continuación, se muestra la ilustración ** que contiene la imagen satelital de la zona utilizada para la ubicación de las estaciones del tramo carretero:



Ilustración 27. Estaciones de la extracción de muestras de suelo

Fuente: Elaboración propia Google Earth

Una vez identificadas las estaciones se procedió a obtener una muestra representativa de cada una de ellas, para lo que fue necesario eliminar la capa vegetal, de manera que el suelo a analizar presentara características homogéneas y estuviese libre de contaminantes.

Para llevar a cabo el procedimiento de la extracción de las muestras de suelo fue necesario contar con herramienta menor consistente en barras, piochas y palas.

Una vez extraído el suelo se procedió a colocarlo dentro de bolsas plásticas para mantener en la medida de lo posible el contenido de humedad y posteriormente se colocaron dentro de sacos para facilitar el acarreo hasta el laboratorio de GeoConsult.

4.1.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizaron ensayos de laboratorio para las cinco muestras de suelo con el propósito de determinar para cada una de las muestras el porcentaje de pase #10, #40, #200, límite líquido, índice de plasticidad e índice de grupo para poder clasificar el suelo a través del método AASHTO-93.

4.1.2.1 Granulometría

La técnica utilizada para el ensayo de granulometría consistió inicialmente en secar al aire cada una de las muestras durante veinticuatro horas, para llevar a cabo un cuarteo que permitiera obtener una muestra representativa de cada sitio, obtener el peso húmedo y colocarlo en el horno durante veinticuatro horas hasta lograr un peso constante equivalente a 0% de humedad, obteniendo el peso seco.

El suelo seco fue sometido a un proceso de lavado con el propósito de eliminar las partículas finas adheridas al suelo grueso, consistentes en suelo pase #200, lo que se verificó colocando nuevamente las muestras en el horno y obteniendo la diferencia de peso seco. Con la masa de suelo seco obtenida para cada una de las muestras se procedió a realizar manualmente la granulometría, para lo que se utilizaron los tamices para granulometría gruesa y fina según norma ASTM D422.

Los instrumentos utilizados para el ensayo de granulometría consistieron en pala, escoba y cuarteadora para el procedimiento de cuarteo; horno para el secado de las muestras de suelos; tamiz especial para la separación del suelo fino del grueso utilizando la técnica de lavado; tamices según numeración que se observa en la tabla 5 para el procedimiento de granulometría gruesa y fina; recipientes para separar las muestras según su diámetro y balanza para conocer la masa correspondiente al pase de cada tamiz.

Tabla 45. Instrumentos para realizar la granulometría de un suelo

Instrumentos utilizados para ensayo de Granulometría	
	<p>Tamices</p>
	<p>Horno</p>
	<p>Balanza de precisión</p>
	<p>Cuarteadora industrial</p>

4.1.2.2 Límites de Atterberg:

Se debe utilizar únicamente el suelo que pasa por el tamiz #40, se vierte el suelo en una cápsula de porcelana y se le agrega agua según sea necesario y se revuelve con una espátula hasta obtener una pasta homogénea. Se asegura que la copa de Casagrande esté calibrada y completamente limpia y seca antes de iniciar el procedimiento para garantizar consistencia en los resultados. En seguida, se coloca el suelo húmedo en la copa de bronce alisando la superficie formando una media luna. Luego de separar el suelo con la ayuda de un ranurador se gira la manivela a una velocidad de dos revoluciones por segundo hasta contar la cantidad de golpes necesarios hasta que el surco se cierre a trece milímetros. Finalmente, se toma una muestra de suelo en la zona donde se cerró el surco y se toma su peso húmedo y se mete al

horno por veinticuatro horas. Al paso de las veinticuatro horas se toma su peso seco y se calcula el porcentaje de contenido de humedad. En cuanto a la determinación del límite plástico se puede utilizar la misma porción de material que queda del ensayo de límite líquido, se toma una parte del suelo y se amasa con la mano sobre la placa de vidrio hasta obtener un cilindro de tres milímetros de diámetro. Se amasará el cilindro lo necesario hasta que este se desmorone. Al igual que el límite líquido, se toma su peso húmedo, se seca al horno por veinticuatro horas y luego se toma su peso seco para calcular el porcentaje de contenido de humedad.

Tabla 46. Instrumentos para realizar Límites de Atterberg

Instrumentos utilizados para el ensayo de Límites de Atterberg	
	Horno
	Balanza de precisión
	Frasco lavador
	Espátula

Instrumentos utilizados para el ensayo de Límites de Atterberg	
	Copa de Casagrande
	Ranurador

4.1.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico se llevó a cabo con la ayuda de la estación total para medir las distancias, elevaciones y coordenadas del área de estudio. Con la información obtenida de la estación total se extrae una nube de puntos con los cuales es posible crear la superficie de las curvas de nivel. Se logró registrar la ubicación de las tuberías del drenaje transversal existentes y también trece puntos de control que fueron útiles para el levantamiento Aero-fotogramétrico.



Ilustración 28. Levantamiento topográfico Est. 1+540

4.1.4 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DE LA ZONA

4.1.4.1 Levantamiento Aero-fotogramétrico

Se voló un dron DJI Mavic Pro a lo largo de la zona de estudio para obtener varias capturas fotográficas que luego con la ayuda del programa Pix4Dmapper se logró integrar en una sola ortofoto. Se crearon marcas con cinta aislante y bolsas plásticas rodeadas de cal hidratada en

donde fueron colocadas en trece puntos distintos para formar los puntos de control y así ubicar la ortofoto en el espacio. El objetivo de las marcas rodeadas de cal hidratada es para que el dron tenga la facilidad de ubicar los puntos de control y así garantizar una mayor precisión de elevaciones y coordenadas.

4.1.4.2 Levantamiento fotográfico con cámara 360°

La cámara 360° registra todo el entorno que está alrededor de ella misma, lo cual se tomaron varias capturas en los puntos de mayor interés del tramo carretero para que se pueda visualizar con mejor perspectiva el camino vecinal estudiado. Para la toma de captura, una persona se situó en un punto de interés, con el sosteniendo la cámara, mientras que la otra persona toma la captura.

4.1.5 ESTUDIO DEL TRÁNSITO VEHICULAR

El conteo vehicular se llevó a cabo simultáneamente con las tareas de campo (extracción de muestras de suelo, levantamiento topográfico y aero-fotogramétrico) en las cinco estaciones mencionadas en la sección 4.1.1. Se dividió el conteo vehicular a partir de El Paiz a Bellaco, y de Bellaco a la Escuela Marco Aurelio Soto debido a que el tránsito en ambos tramos variaba constantemente.

Tabla 47. Horario de estudio de tránsito vehicular

El Paiz - Bellaco		Bellaco – Escuela Marco Aurelio Soto	
Fecha	Horario	Fecha	Horario
30/01/2021	11:00 am – 14:00 pm	6/02/2021	14:00 pm – 16:30 pm
6/02/2021	8:00 am – 14:00 pm	7/02/2021	7:30 am – 10:00 am
23/02/2021	12:00 pm – 14:00 pm	23/02/2021	14:00 pm – 14:30 pm
24/02/2021	12:30 pm – 13:30 pm	24/02/2021	13:30 pm – 16:00 pm

Para el cálculo de tráfico promedio diario para cada tramo se utilizó la herramienta tecnológica Microsoft Excel considerando únicamente los camiones C2 y C3.

4.1.6 DISEÑO GEOMÉTRICO

El diseño geométrico se llevó a cabo utilizando la herramienta tecnológica Civil3D para trazar el camino existente de acuerdo con los datos obtenidos del levantamiento topográfico, donde

se llevó a cabo el diseño del alineamiento horizontal y vertical para adecuarlo a las características del tramo carretero, puesto que fue necesario definir la sección típica con las respectivas secciones transversales para calcular los volúmenes de corte y relleno a cada veinte metros, con excepción del PC, PI y PT de las curvas horizontales.

Para el diseño geométrico se utilizó el Manual de Carreteras de Honduras para determinar el tipo de terreno, la velocidad directriz, peralte, radio mínimo para curvas horizontales, factores K para las curvas cóncavas y convexas y pendientes del tramo carretero.

4.1.7 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis de cuencas se llevó a cabo mediante el uso de la herramienta tecnológica ArcGIS, un programa que contiene una amplia cantidad de técnicas para trabajar con la información obtenida de los Modelos de Elevación Digital (DEM) por sus siglas en inglés. Las técnicas y comandos utilizados en ArcGIS se resumen en relleno (fill), dirección de flujo (flow direction), acumulación de flujo (Flow accumulation) y cuenca (watershed). Al concluir los procedimientos mencionados anteriormente, se obtienen los polígonos que representan la forma geométrica de las cuencas de nuestro interés. Una vez definida la geometría de cada cuenca, se determina el área, longitud máxima y pendiente. Con estos valores, se calcula el tiempo de concentración para cada cuenca. Los siguientes pasos son determinar los valores de intensidad de nuestra acorde a los periodos de retorno y los coeficientes de escorrentía. Al obtener estos datos para cada una de las cuencas se determinan los caudales utilizando el Método Racional, tomando en cuenta que los valores de los caudales se utilizarán para el diseño de cunetas y alcantarillas.

4.1.8 DISEÑO DE DRENAJE

El diseño y revisión del drenaje se llevó a cabo utilizando la herramienta a Excel para realizar los cálculos necesarios. Los cálculos, métodos y ecuaciones utilizadas en la sección de drenaje provienen del Manual de Carreteras Tomo 6: Drenaje y puentes, y también del libro de Métodos hidrológicos para previsión de escurrimientos. Cada una de las alcantarillas existentes fue revisada y al conocer las dimensiones de las cunetas y alcantarillas es posible incorporarlas al diseño geométrico. Cabe mencionar la existencia de cabezales donde las cunetas evacuarían el agua lluvia y las alcantarillas captan el agua de estas estructuras.

4.2 MATERIALES

4.2.1 SUELO

Se utilizó el suelo extraído de las estaciones 0+060, 1+110, 1+370, 1+670, y 2+280 seleccionadas para la realización de pruebas de laboratorio.

4.2.2 AGUA

Se usó el agua para el lavado de suelo para el ensayo de granulometría con el objetivo de poder eliminar cualquier tipo de contaminante y realizar el ensayo tal como lo indica la norma ASTM C33.

4.2.3 CAL HIDRATADA

Utilizada para remarcar los puntos de control terrestre para realizar el levantamiento aerofotogramétrico.

4.2.4 MADERA

Se construyeron trompos de madera de pino para los puntos de control del levantamiento aerofotogramétrico.

4.2.5 CINTA ADHESIVA Y PLÁSTICO DE COLORES

Se formaron marcas visibles que permitieran la ubicación dentro de la ortofoto obtenida del levantamiento aerofotogramétrico.

4.3 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

4.3.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

4.3.1.1 Granulometría

Inicialmente se secó al aire cada muestra por veinticuatro horas para lograr un cuarteo que permitiera obtener una muestra representativa de cada sitio. Una vez que el suelo ha sido cuarteado se coloca en el horno durante veinticuatro horas para tomar el peso seco. Al paso de las veinticuatro horas, el suelo es sacado del horno y se deja reposar lo suficiente hasta que

enfríe para someterlo a un proceso de lavado con el objetivo de poder eliminar todas las partículas finas adheridas a las partículas gruesas.

El proceso de lavado debe durar lo suficiente hasta que el agua tenga como resultado un color claro. Las muestras una vez más, se someten al horno por otras veinticuatro horas, se toma su peso seco final y se deja enfriar el suelo por veinte minutos.

Para el proceso de tamizado se vierte el suelo a través de los tamices: 3", 2 ½ ", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" para granulometría gruesa y, #4, #10, #40, #100, y #200 para granulometría fina colocados de mayor a menor ubicando al final el fondo y se agita manualmente los tamices aproximadamente de diez a doce minutos. Se recupera el material retenido en cada tamiz asegurándose manualmente de que las partículas hayan sido retenidas en su respectivo tamiz y se pesa cada muestra. Una vez finalizado el ensayo, se procede a calcular el porcentaje de suelo retenido, retenido acumulado y porcentaje de pase con las siguientes ecuaciones:

$$R_n = \frac{W_n}{W_t} * 100$$

Ecuación 14. Porcentaje de suelo retenido

(UNITEC, 2019, p. 11)

Donde:

W_n = masa retenida

W_t = masa total

$$R_n = \frac{20.36}{1,150.86} * 100$$

$$R_n = 1.77\% \approx 2\%$$

Se calcula el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz

$$\%_{RA} = \% \text{ retenido} + \text{retenido}_{\text{acumulado}}$$

$$\%_{RA} = 2.83 + 1.77 = 4.46\% \approx 4\%$$

Luego, se calcula el porcentaje de pase

$$\%p_a = 100\% - \%_{RA}$$

Ecuación 15. Porcentaje de pase

(UNITEC, 2019, p. 11)

Donde:

$\%p_a$ = porcentaje de pase

$\%_{RA}$ = porcentaje retenido acumulado

$$\%p_a = 100\% - 2.83 = 97.17\% \approx 97\%$$

4.3.2 LÍMITES DE ATTERBERG

4.3.2.1 Límite líquido

Se utiliza meramente la parte del suelo que pasa por la malla #40 (ASTM D-4318) y se agrega el suelo en una cápsula de porcelana y se procede a agregar agua destilada según sea lo necesario para obtener una muestra homogénea en términos de humedad y se revuelve el suelo junto con el agua destilada con la ayuda de una espátula.

Se verifica que la copa de Casagrande esté calibrada, se ajusta la altura de la caída de la copa de bronce y la copa de bronce debe estar completamente limpia y seca. Luego, se coloca una porción de la muestra de suelo en la copa de bronce con la espátula y se forma una especie de media luna al comprimirla y extenderla alisando la superficie lo mejor posible.

Después de alisar la superficie se forma una zanja a lo largo de la copa de bronce que pasa por el eje de simetría con la ayuda del ranurador y se procede a girar la manivela dejando caer la copa a una velocidad de dos revoluciones por segundo hasta contar los golpes necesarios hasta que la zanja logre cerrarse a trece milímetros. Con la espátula, se retira la porción de suelo que logró cerrarse y se toma su peso húmedo y se somete al horno por veinticuatro horas. Luego de las veinticuatro horas, se toma su peso seco y se calcula el porcentaje de contenido de humedad utilizando la siguiente fórmula:

$$Wu = \frac{P_{L+SH} - P_{L+SS}}{P_{L+SS} - P_L} * 100$$

Ecuación 16. Contenido de humedad

(UNITEC, 2019, p. 36)

Donde:

P_{L+SH} = peso de lata + suelo húmedo

P_{L+SS} = peso de lata + suelo seco

P_L = peso de lata

$$Wu = \frac{22.45 - 16.9}{16.9 - 4.11} * 100$$

$$Wu = 43.39\% \approx 43\%$$

4.3.2.2 Límite plástico

Se trabaja con el mismo material que se utilizó para el límite líquido, no obstante, si el suelo tiende a ser muy plástico, es necesario secar el suelo por cierto tiempo, ya sea con una secadora o también se puede utilizar el horno, pero para este caso se utilizó una secadora. Se toma una pequeña porción de muestra de suelo y se hace rodar con la palma de la mano sobre la placa de vidrio hasta alcanzar a tener un cilindro de tres milímetros, una vez que se desmorone el cilindro, se debe tomar su peso húmedo y se somete de igual forma al horno por veinticuatro horas. Después de las veinticuatro horas, se toma su peso seco y se calcula el porcentaje de contenido de humedad con la ecuación 17.

$$Wu = \frac{19.98 - 18.23}{18.23 - 12.37} * 100$$

Ecuación 17. Contenido de humedad para límite plástico

$$Wu = 29.86\%$$

4.3.3 ÍNDICE DE GRUPO

Para terminar de evaluar la calidad de un suelo se incorpora el índice de grupo. Este se calcula mediante una formula a través del método AASHTO y el número se escribe entre paréntesis después de la denominación del grupo al que pertenece el suelo.

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

Ecuación 18. Índice de grupo

Donde:

F = porcentaje de pase del tamiz #200

LL = límite líquido

PI = índice de plasticidad

A continuación se muestran algunas restricciones para la determinación del índice de grupo:

1. Si el índice de grupo da un valor negativo, se toma como 0.
2. Se redondea al número entero próximo
3. No existe límite superior para el índice de grupo
4. Para los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 es 0.
5. Para los grupos A-2-6, y A-2-7 se utiliza la siguiente ecuación

$$IG = 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Ecuación 19. Índice de grupo parcial para los grupos A-2-6 y A-2-7

Cabe destacar que solamente la Est. 1+370 con clasificación A-7-6 pudo calcularse el índice de grupo lo cual dio como resultado lo siguiente:

$$IG = (76.65 - 35)[0.2 + 0.005(48 - 40)]0.01(76.65 - 15)(23 - 10)$$

$$IG = 18$$

$$\therefore A - 7 - 6 (18)$$

4.3.4 VARIABLES DE DISEÑO

Para el diseño geométrico fue necesario utilizar la herramienta tecnológica Civil3D y seguir los parámetros del Manual de Carreteras de Honduras Tomo 3. Cada elemento de diseño debe ser considerado para el diseño geométrico de la carretera o camino en Civil3D. Algunos datos y mapas fueron diseñados y extraídos del programa ArcGIS.

Los siguientes elementos dictan todas las consideraciones a tomar para el diseño dependiendo de las características de la zona según los parámetros del Manual de Carreteras.

4.3.4.1 *Curvas de nivel*

Para dar inicio al diseño geométrico es necesario integrar al programa la información recopilada del levantamiento topográfico, es decir la nube de puntos con sus respectivas coordenadas. Para comenzar el diseño, se debe crear una superficie con las curvas de nivel ya que con la ayuda de estas curvas se pueden determinar las elevaciones del terreno.

4.3.4.2 *Tipo de terreno*

Se utilizó ArcGIS para definir los rangos de pendientes de la zona, en donde se vio necesario obtener una imagen satelital y el Modelo de Elevación Digital (DEM por sus siglas en inglés) utilizando el sitio web NASA Earthdata, información que se ingresó en ArcGIS para conseguir las pendientes del terreno natural.

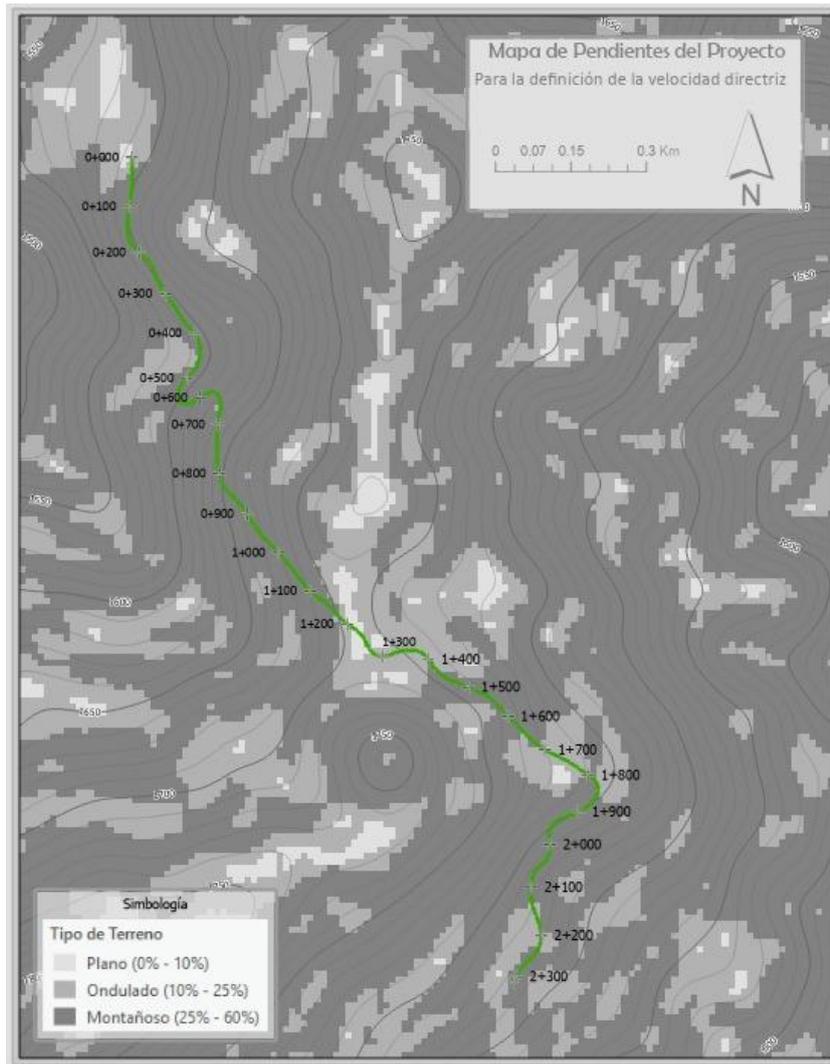


Ilustración 29. Mapa de terreno de la zona según sus pendientes naturales

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la imagen... se utilizó una escala de colores grises para la interpretación de los rangos de las pendientes en donde el color blanco corresponde al rango de 0% a 10%, gris claro al rango de 10% a 25% y gris oscuro para el rango de 25% a 60%, lo que resulta de la lectura de las curvas de nivel que realiza el programa.

4.3.4.3 Velocidad de diseño

La velocidad de diseño (km/h) depende del tipo de terreno y de carretera o camino a diseñar. Como se ha mencionado previamente, el tipo de terreno para fines del proyecto se ha clasificado como un terreno montañoso.

Tabla 48. Pendientes resultantes de ArcGIS



Utilizando la tabla 49 se interceptó el tipo de terreno (montañoso) con el tipo de camino (vecinal) resultando una velocidad de diseño igual a 30 km/h, tal como se muestra a continuación:

Tabla 49. Velocidades directrices (km/h)

Topografía	Carretera Especial	Carretera Principal	Carretera Secundaria	Camino Vecinal	Camino de Penetración
Llana	100	80	60	50	40
Ondulada	80	60	50	40	30
Montañoso	60	50	40	30	20

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 54)

4.3.4.4 Peralte

Al igual que la velocidad directriz, el peralte depende del tipo de terreno y también de la zona que la caracteriza, por lo que a partir de la tabla 50, se ha considerado que la característica principal de la zona estudiada es rural montañosa con un peralte igual al 10%, no obstante, se recomienda un peralte menor a este para un camino vecinal por razones de seguridad, llegando a una conclusión que el peralte a utilizar para el diseño de curvas horizontales será igual a 8%.

Tabla 50. Porcentajes de peralte según las características de la zona

Características de la zona	Peralte (%)
Rural montañosa	10
Rural Llana	8
Próximas a zonas urbanas	6
Urbanas	4

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 70)

4.3.4.5 *Radio mínimo de curvatura*

Para determinar el valor del radio mínimo de curvatura se debe de conocer el porcentaje del peralte y la velocidad directriz. Los datos con los que se ingresó a la tabla para calcular el radio mínimo fueron los siguientes:

- Velocidad directriz= 30 km/h
- Peralte= 8%

Una vez identificados los valores previos, se interceptan y se obtiene el valor de radio mínimo de curvatura, siendo un total de 27 metros.

Tabla 51. Radios mínimos según peralte y velocidad

		Radio mínimo (m)							
Velocidad (km/hr)	30	40	50	60	70	80	90	100	
Fricción lateral	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	13	0.13	
Peralte									
2.00%	35	66	109	166.66	226.84	314.8	425	524.67	
3.00%	34	63	104	157.4	24.24	296.28	398.4	491.88	
4.00%	32	60	98	149.12	202.96	279.82	375	462.94	
5.00%	31	57	94	141.66	192.82	265.09	354.2	437.22	
6.00%	30	55	89	134.91	183.63	251.84	335.5	414.21	
7.00%	28	52	86	128.78	175.29	239.85	318.7	393.55	
8.00%	27	50	82	123.18	167.67	228.95	303.6	374.76	
9.00%	26	48	79	118.05	160.68	218.99	289.8	357.73	
10.00%	25	47	76	113.33	154.25	209.87	277.2	342.17	

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 27)

Se realizó un cálculo adicional para obtener un grado de curvatura que para dicho cálculo, se divide 1,145.92 entre el radio y se redondea el grado de curvatura. Utilizando la misma fórmula, se despeja para el radio mínimo de curvatura y se redondea a un número entero mayor.

$$G = \frac{1,145.92}{R} = \frac{1,145.92}{27} = 42.4^\circ$$

Ecuación 20. Grado de curvatura

Fuente: (Reyes, s. f., p. 5)

Se despeja para radio mínimo y se tiene que:

$$R = \frac{1,145.92}{42.4} = 27.02m \approx 27m$$

Se recomienda realizar este ajuste porque que al momento de la construcción de la carretera el topógrafo trabaja con grados de curvatura y no con radios, por ende, se recomienda trabajar con grados de curvatura en números enteros.

4.3.4.6 Pendiente máxima longitudinal

Para determinar el valor de la pendiente máxima longitudinal se debe conocer la clasificación de la carretera o camino y la topografía para así interpolar esa fila con la columna asignada a la pendiente máxima.

Tabla 52. Pendiente máxima longitudinal según tipo de carretera

Clasificación de la carretera	Características			Topografía	Velocidad directriz km/h	Penalte máximo %	Pendientes máximas y longitudes correspondientes en recta			Distancia mínima de visibilidad (m)		Anchos de coronamiento (m)				Radio mínimo absoluto (m)	Taludes de relleno según altura (m)			
	Volumen de tránsito Vehículos diarios	Control de acceso	Número de carriles				Valores deseables		Pendiente máxima	Para detención en bajada	Para detención en subida	Carril	Hombro	Mediana	Total		0 a 1.50	1.50 a 3.00	3.00 a 5.00	Mayor de 5.00
							Pendiente	Longitud												
							%	m												
Secundarias	5000 a 1000	Parcial o sin control	2	LL	60	8	3	540	5	89	71	3.25	1.75	-	10.00	157	4:1	4:1	2:1	3:2
				ON	50	10	4	330	6	67	55	3.25	1.75	-	10.00	98	4:1	3:1	2:1	3:2
				MO	40	10	5	240	7	47	42	3.25	1.75	-	10.00	57	3:1	3:2		
Vecinales	1000 a 150	Sin control	2	LL	50	8	4	330	6	67	55	2.75	0.75	-	7.00	98	3:1	2:1	3:2	
				ON	40	10	5	240	7	47	42	2.75	0.75	-	7.00	57	3:1	2:1	3:2	
				MO	30	10	6	180	8	31	29	2.75	0.75	-	7.00	30	3:2			
Penetración	Menos de 150	Sin control	2	LL	40	8	5	240	7	47	42	2.00	0.75	-	5.50	57	2:1		3:2	
				ON	30	10	6	180	10	31	29	2.00	0.75	-	5.50	30	2:1		3:2	
				MO	20	10	7	160	12	18	17	2.00	0.75	-	5.50	11	1:1			

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 93)

4.3.4.7 Curvas verticales convexas

El valor recomendado para el factor K es dependiente de la velocidad directriz, la cual en este caso equivale a 30 km/h. Al ingresar a la tabla 53 con esa velocidad se determina que el Factor K redondeado equivale a 50.

Tabla 53. Factor K de curvas convexas

Velocidad directriz (km/h)	Factor K calculado	Factor K redondeado
30	49.777	50
40	85.862	86
50	125.819	126
60	175.105	175
70	245.586	246
80	309.388	309
90	386.919	387
100	474.524	475

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 60)

4.3.4.8 *Curvas verticales cóncavas*

Así como se determinó el factor K para curvas convexas, se utiliza el mismo procedimiento para curvas cóncavas. Al ingresar a la tabla 54 con una velocidad de 30 km/h se determina el factor K redondeado para las curvas cóncavas que equivale a 4.

Tabla 54. Factor K para curvas cóncavas

Velocidad directriz (km/hr)	Factor K calculado	Factor K redondeado	
		Mínimo absoluto	Mínimo recomendable
30	3.944	4	4
40	7.170	7	7
50	10.286	10	12
60	14.554	15	17
70	19.774	20	24
80	24.797	25	32
90	24.797	30	40
100	36.931	37	50

Fuente: (SOPTRAVI, 1996, p. 64)

4.3.5 DISEÑO GEOMÉTRICO

4.3.5.1 *Alineamiento horizontal*

Se define primeramente el camino existente y los cercos en base a los puntos obtenidos del levantamiento topográfico. Todos los puntos que representan bordes de calle deben ser trazados con polilíneas para luego obtener un diseño que representa al camino existente. Con los puntos que representan el cerco se debe de llevar a cabo el mismo procedimiento, así será posible determinar cuáles son nuestros límites o bordes que no se deben de traspasar al momento de diseñar el camino junto con sus correcciones.

El siguiente paso es crear el alineamiento horizontal en el cual se debe trazar un camino para la línea central, que debe ser similar a la línea central existente. A diferencia del camino existente trazado previamente, este alineamiento horizontal posee curvas horizontales que deben ser definidas en base al radio de diseño. Las curvas del alineamiento horizontal deben ser igual o mayores que el radio mínimo calculado en la sección de radio mínimo de curvatura, el cual en dicho caso tiene un valor de 27.29m. Al cumplir con todas las restricciones del alineamiento horizontal se aplica el comando offset para ambos lados con un ancho en específico para poder determinar si los cercos se cruzan o no y verificar el paso del camino. El valor del ancho depende de la clasificación de la carretera o camino que en este caso se clasifica como un camino vecinal donde el ancho de carril es igual a 2.75m.

4.3.5.2 *Alineamiento Vertical*

Para el diseño del alineamiento vertical, se debe crear el perfil del terreno natural ubicado de bajo del alineamiento horizontal. Para el diseño del alineamiento vertical, se tomaron en cuenta las restricciones de pendientes y curvas verticales, al mismo tiempo, se sugiere no apartar el alineamiento del terreno natural ya que entre más separación exista, existirá un mayor volumen de cortes y de rellenos. Los valores de restricción que se utilizaron son los siguientes:

- Pendiente máxima= 8%
- Factor K para curvas convexas= 50
- Factor K para curvas cóncavas= 4

Al cumplir con todas las restricciones se concluye que el alineamiento vertical está listo.

4.3.6 FACTORES DE DISEÑO

4.3.6.1 *Conteo de tráfico vehicular*

Para el conteo de tráfico vehicular, se tomaron datos los días que se realizaron las actividades de campo. Este conteo fue separado en dos conteos independientes, puesto que se logró analizar y se determinó que el primer tramo tiene un mayor tráfico que el segundo. La hipótesis resultó ser correcta ya que el segundo tramo en efecto tiene un menor tránsito debido a que es un desvío que parte del primer tramo.

En cada tramo se llevaron a cabo cinco conteos vehiculares y se registró la fecha y la duración de cada uno de los conteos. En las siguientes tablas se demuestran los datos crudos obtenidos de los conteos para cada uno de los tramos:

Tabla 55. Conteo de tránsito vehicular "El Paiz - Bellaco"

Tipo de tráfico	Tramo 1				Total
	Enero 30 11:00 - 14:00	Febrero 6 8:00 - 14:00	Febrero 23 12:00 - 14:00	Febrero 24 12:30 - 13:30	
Moto taxis	11	15	8	9	43
Motocicletas	37	21	13	21	92
Vehículos sencillos	25	38	16	18	97
C2	2	6	4	3	15
C3	0	0	1	0	1
Horas	3	6	2	1	12

Tabla 56. Conteo de tránsito vehicular "Bellaco – Escuela Marco Aurelio Soto"

Tipo de tráfico	Tramo 2				Total
	Febrero 6 14:00 - 16:30	Febrero 7 7:30 - 10:00	Febrero 23 14:00 - 14:30	Febrero 24 13:30 - 16:00	
Moto taxis	7	0	0	1	8
Motocicletas	10	30	9	4	53
Vehículos sencillos	14	7	2	7	30
C2	0	1	1	0	2
C3	0	0	0	0	0
Horas	2.5	2.5	0.5	2.5	8

Debido a que ya se conoce el total de tráfico según su tipo y el total de horas por cada conteo, se procede a calcular cuantos vehículos de cada tipo transitan por los tramos en una hora al dividir el total de cada tipo de vehículo por el total de las horas que se llevó a cabo el conteo en ese tramo en específico. Al conocer estos valores se calcula cuantos vehículos transitan en veinticuatro horas.

Tabla 57. Promedio de tránsito vehicular por hora y doce horas

Tipo de tráfico	Promedio (vehículos/hora)		Promedio (vehículos/12 hrs)	
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 1	Tramo 2
Moto taxis	3.6	1.0	43	12
Motocicletas	7.7	6.6	92	80
Vehículos sencillos	8.1	3.8	97	45
C2	1.3	0.3	15	3
C3	0.1	0.0	1	0

Al conocer el tráfico por hora en cada tramo y el rango de horas de los conteos, se determina entonces que el conteo fue diurno, iniciando a las 6:00 A.M y terminando a las 6:00 P.M. Para analizar el posible tráfico que transita en la noche y madrugada en horario de 6:00 P.M a 6:00

A.M fue necesario llegar a los tramos de estudio alrededor de las 7:00 P.M. De esta visita se logró observar que sí existe tránsito, pero menor del que se podía observar durante el día, concluyendo que el tráfico nocturno es aproximadamente el 30% del tráfico diurno. Este porcentaje se consideró en base a la visita nocturna llegando a un acuerdo que el tráfico vehicular nocturno es el 30% del tráfico diurno. Al conocer este factor de 0.3 se calcula la cantidad de vehículos por tipo que transitan por nuestros tramos durante la noche al multiplicar las horas nocturnas por este factor y se demuestra en la siguiente tabla:

Tabla 58. Promedio de tránsito vehicular diurno/nocturno

Tipo de tráfico	Promedio (vehículos/6AM - 6PM)		Promedio (vehículos/6PM - 6AM)	
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 1	Tramo 2
Moto taxis	43	12	12.9	3.6
Motocicletas	92	79.5	27.6	23.85
Vehículos sencillos	97	45	29.1	13.5
C2	15	3	4.5	0.9
C3	1	0	0.3	0

Posterior a este cálculo se conoce cuántos vehículos de cada tipo transitan por los dos tramos carreteros en veinticuatro horas. En seguida, se calcula el tráfico por treientos sesenta y cinco días para calcular el nivel de servicio del espesor del pavimento.

Tabla 59. Promedio de tránsito vehicular a las 24 hrs y a los 365 días

Tipo de tráfico	Promedio (vehículos/24 hrs.)		Promedio redondeado (vehículos/24 hrs.)		Promedio (vehículos/365 d.)	
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 1	Tramo 2
Moto taxis	55.9	15.6	56	16	20440	5840
Motocicletas	119.6	103.35	120	104	43800	37960
Vehículos sencillos	126.1	58.5	127	59	46355	21535
C2	19.5	3.9	20	4	7300	1460
C3	1.3	0	2	0	730	0

4.3.6.2 Tráfico Promedio Diario

Para calcular el tráfico promedio diario, se necesita saber la cantidad y porcentaje de vehículos sencillos y camiones que transitan por tramo, pero como el total de los ejes de los vehículos livianos pesan dos toneladas, se descarta el cálculo y solamente se calcula el porcentaje de camiones que transitan por ambos tramos. Se concluye que para el tramo 1 se obtiene un total de 20 vehículos C2 y 4 para el tramo 2, en cuanto a los vehículos C3, en el tramo 1 hay un total de 4 y en el tramo 2 no se registró ninguno. La siguiente tabla muestra el total de porcentaje de camiones que transitan en ambos tramos carreteros.

Tabla 60. Porcentaje de camiones tramo 1 y 2

Total		
Vehículos	Tramo 1	Tramo 2
sencillos	149	63
% de camiones	15%	6%

4.3.6.3 Pesos por eje

Debido a que en ambos tramos solo se registraron camiones tipo C2 y C3, entonces con la ayuda de la siguiente tabla se ha podido calcular el peso por eje de cada rueda. Cabe recalcar que los pesos por eje de vehículos livianos no se tomaron en cuenta para efectos del diseño.

Tipo de vehículo	Tipo de eje del tractor				Tipo de eje del semirremolque			Total de toneladas
	Eje simple direccional	Eje de tracción			Eje de arrastre			
		Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	
C2	5.00	10.00						15.00
C3	5.00		16.50					21.50
C4	5.00			20.00				25.00
T2 – S1	5.00	9.00			9.00			23.00
T2 – S2	5.00	9.00				16.00		30.00
T2 – S3	5.00	9.00					20.00	34.00
T3 – S1	5.00		16.00		9.00			30.00
T3 – S2	5.00		16.00			16.00		37.00
T3 – S3	5.00		16.00				20.00	41.00
Otros	-	-	-	-	-	-	-	Variable

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 64)

4.3.6.4 Cálculo de ESAL

Una vez conocido el peso por eje para cada tipo de vehículo se procede a calcular el factor de conversión f utilizando el método de la cuarta potencia para cada tipo de vehículo, en este caso se utilizaron solamente los camiones C2 y C3. A continuación se muestra la fórmula para calcular el factor de conversión f .

$$f_{\text{eje sencillo}} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^{4.5}$$

Ecuación 21. Factor de conversión f para eje sencillo

$$f_{\text{eje tándem}} = \left(\frac{P}{14.2}\right)^{4.5}$$

Ecuación 22. Factor de conversión f para eje tándem

Donde:

$P = \text{Peso por eje}$

$$f_{\text{eje sencillo}} = \left(\frac{5}{8.2}\right)^{4.5} = 2.55$$

$$f_{\text{eje sencillo}} = \left(\frac{16.5}{14.2}\right)^{4.5} = 2.07$$

Luego, se multiplica el factor de conversión por la cantidad de vehículos para calcular el ESAL de vida útil.

$$\sum f = \text{cantidad de vehículos} * \text{factor de conversión } f$$

Ecuación 23. ESAL diario

Ecuación 24. Resultados de factores de conversión f

Tipo de vehículo	Cantidad	Eje sencillo direccional	Eje sencillo (Ton)	Doble rueda	f	Σf
C2	22	5	10	-	2.55046243	56.1101734
C3	4	5	-	16.5	2.07302487	8.2920995
					Total	64.4022729

4.3.6.1 Factor de distribución por dirección

Es un factor total del flujo vehicular en donde la mayoría de las veces es igual al 50% ya que la mitad de los vehículos van en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Debido a que el tramo carretero solo cuenta con dos carriles en ambas direcciones, se escoge un factor de distribución por dirección de 50%. Para calcular este factor se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 61. Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 69)

4.3.6.2 Factor de distribución por carril

El tramo carretero cuenta solamente con un carril en una sola dirección, por lo tanto, el factor de distribución por carril es igual a uno.

Tabla 62. Factor de distribución por carril

Número de carriles en una Sola dirección	LC ¹¹
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 69)

4.3.6.3 ESAL en la vida útil

Se debe calcular un factor de crecimiento en la vida útil que para este caso sería un periodo de diseño de 20 años utilizando una tasa de crecimiento poblacional de 4.7%.

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

Ecuación 25. Tasa de crecimiento en la vida útil

Donde:

C = tasa de crecimiento en la vida útil

r = tasa de crecimiento

n = periodo de diseño

$$C = \frac{(1 + 4.7\%)^{20} - 1}{4.7\%} = 32.03$$

Finalmente, se calcula el ESAL en la vida útil multiplicando el ESAL de hoy, por el fd , fc , C , y por 365 días.

$$ESAL \text{ vida útil} = ESAL_{diario} * fd * fc * C * 365 \text{ días}$$

Ecuación 26. ESAL en la vida útil

$$ESAL \text{ vida útil} = ESAL_{diario} * fd * fc * C * 365 \text{ días}$$

$$ESAL \text{ vida útil} = 64.40 * 0.5 * 1 * 32.03 * 365 \text{ días}$$

$$ESAL \text{ vida útil} = 376,461.876$$

4.3.6.1 Cálculo de CBR

Debido a que no se pudo realizar el ensayo de cálculo de CBR para el presente proyecto, se calculó el CBR utilizando una relación entre el tipo de suelo para la cual se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 63. Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos

Clasificación Unificada		Clasificación AASHTO		Valor de Resistencia, R (HVEEM)		Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m)		Módulo de reacción de la subrasante k (kg/cm ²)		Valor Soporte (psi)		CBR	
GP	GW	A-1-a	A-1-b	70	100	100	130	15	20	60	25	30	40
GC	GM	A-2-4	A-2-5	60	70	80	90	10	11	40	20	15	10
SM	SW	A-2-6	A-2-7	50	60	70	80	9	10	30	15	10	8
SP		A-3		40	50	60	70	8	9	20	10	8	6
SC		A-4		30	40	50	60	7	8	10	8	6	5
OH	ML	A-5		20	30	40	50	6	7	10	6	5	4
CH	CL	A-6		10	20	30	40	5	6	10	5	4	3
OL		A-7-5	A-7-6	1	2	3	4	2	3	10	3	2	1
MH													

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 70)

Se determinan cinco CBR para los cinco diferentes tipos de suelos clasificados en la sección 5.3.

Tabla 64. CBR subrasante para cada tipo de suelo

CBR SUBRASANTE		
Punto	CBR	Percentil
1	3	100%
2	2	80%
3	4	60%
4	8.8	40%
5	25	20%

4.3.7 DISEÑO DE ESPESOR CON "PAVEMENT DESIGNER" PARA TRAMO 1

Para diseñar el espesor del pavimento rígido se utilizó un programa llamado *Pavement designer*. Primero, se escoge el tipo de proyecto que se diseñará, en este caso, se escoge una carretera de pavimento rígido.



Ilustración 30. Selección de tipo de proyecto en programa Pavement Designer

Fuente: Pavement Designer

4.3.7.1 Tipo de tráfico

Se escoge un tráfico tipo *colector* debido a que el porcentaje de camiones para el primer tramo equivale a 15%.

Tabla 65. Tipo de tráfico según el tipo de carretera

Categoría	Descripción	Tráfico		
		TDC	% camiones	TMD
Residencial	Calles residenciales, caminos rurales y secundarios (bajo a medio)	50-800	1%-3%	1-20
Colector	Calles colectoras, caminos rurales y secundarios (alto), arterias y caminos primarios (bajo)	700-5,000	3%-15%	40-1,000
Arterial menor	Calles arteriales y caminos primarios (medio), autovías e interestatales urbanas y rurales (bajo a medio)	3,000-15,000+	5%-25%	300-5,000
Arterial mayor	Calles arteriales, carreteras primarias, autopistas (alta), interestatal urbana y rural (media a alta)	4,000-50,000+	10%-30%	700-10,000+

Fuente: Pavement Designer

Los descriptores "alto, medio y bajo" se refieren a los pesos relativos de las cargas por eje para el tipo de calle o camino; es decir, "baja" para una carretera interestatal rural representaría cargas más pesadas que "baja" para una carretera secundaria.

4.3.7.2 Período de diseño

Se recomiendan periodos de diseño con la siguiente información:

Tabla 66. Período de diseño según el tipo de carretera

Tipo de carretera	Período de diseño
Autopista regional	20-40 años
Troncales suburbanas	15-30 años
Troncales rurales	
Colectoras suburbanas	10-20 años
Colectoras rurales	10-20 años

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 142)

4.3.7.3 Tasa de crecimiento del tráfico

Para poder calcular la tasa de crecimiento del tráfico se utilizó la población total de Santa Lucía de los años 2013 y 2018 para obtener el porcentaje total de ello utilizando una regla de tres.

1. Población total 2013: 11,906 personas

Tabla 67. Población total de Santa Lucia, FM 2013

Hombre	Mujer	Total
5,752	6,154	11,906

Fuente: (INE, 2018, p. 2)

2. Población total 2018: 14,701 personas

Tabla 68. Población total de Santa Lucia, FM 2018

Hombre	Mujer	Total
7,100	7,100	14,701

Fuente: (INE, 2018, p. 3)

4.3.7.4 Confiabilidad

Para un camino vecinal, se calcula que el nivel de confiabilidad recomendada es de un 75% a un 95%. Para fines del proyecto, se ha escogido un nivel de confiabilidad igual a 75%

Tabla 69. Confiabilidad recomendada según tipo de carretera

Clasificación	Nivel de confiabilidad recomendada	
	Urbano	Rural
Interestatales, autopistas y autopistas de peaje	85%-99%	80%-99%
Arterial principal	80%-99%	75%-95%
Colectores	80%-99%	75%-95%
Carreteras de carga	50%-80%	50%-80%

Fuente: Pavement Designer

4.3.7.5 Porcentaje de losas agrietadas

Este cálculo representa el porcentaje de losas agrietadas al final de la vida útil, sin embargo, se ha escogido un valor igual a 15% con la ayuda de la siguiente tabla:

Tabla 70. Porcentaje de losas agrietadas

Autopistas interestatales, autopistas, autopistas de peaje, autopistas de peaje	% de losas agrietadas al final de la vida útil	Nivel de servicio
Autopistas interestatales, autopistas, autopistas de peaje	5%	2.50
Carreteras estatales, arteriales, colectores, carreteras del condado	15%	2.00-2.5
Calles residenciales	25%	2

Fuente: Pavement Designer

Una vez se obtienen todos los datos que el programa pide, se procede a calcular la estructura del pavimento.

4.3.7.6 Esfuerzo a la compresión

Para fines de proyecto, se escoge un esfuerzo a la compresión de 4,000 psi. Inmediatamente, el programa calcula el esfuerzo a la flexión y se coloca que el pavimento no contará con microfibras pero que si contará con un soporte de borde.

4.3.7.7 Estructura del Pavimento Rígido

Con la ayuda del programa se escoge el número de capas subbase y espesor. Se asume un espesor de subbase de 100mm.

Tabla 71. Efectos de la subbase granular sobre los valores de k

Valor de K para subrasante		Valores de k para subbase							
		100mm		150mm		225mm		300mm	
Mpa/m	Lb/plg ²	Mpa/m	Lb/plg ²	Mpa/m	Lb/plg ²	Mpa/m	Lb/plg ²	Mpa/m	Lb/plg ²
20	73	23	85	26	96	35	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Se escoge una base granular, y se convierten los cien milímetros a pulgadas como lo pide el programa. Una vez se colocan todos los datos necesarios, el programa procede a calcular el espesor del pavimento.

4.3.8 DISEÑO DE ESPESOR CON "PAVEMENT DESIGNER" PARA TRAMO 2

Para diseñar el espesor de losa de concreto para el tramo 2 que conduce desde Bellaco hasta a Escuela Marco Aurelio Soto, se deben seguir los mismos pasos explicados en la sección 4.3.7 a excepción del cálculo de porcentaje de camiones, que en este caso, el porcentaje de camiones será igual a 6%.

4.3.9 DISEÑO DE ESPESOR POR MÉTODO PCA PARA TRAMO 1

Este método consiste en proponer un espesor de losa de concreto hidráulico hasta obtener un porcentaje de fatiga y erosión cercano al 100%, de lo contrario, si el porcentaje de ambos es menor al 100% se considera un diseño sobre diseñado, y si ambos porcentajes son mayores al 100%, se considera un diseño sub diseñado. Los criterios para considerar el diseño de espesor de losa de concreto hidráulico son los siguientes:

Tabla 72. Criterios para el diseño de losa de concreto hidráulico

Datos	
Módulo de rotura (Mr)	4 Mpa/m
Factor de Seguridad (FS)	1.1
Espesor de tanteo	22cm
Espesor de subbase	10cm
Sin dovelas	
Sin hombros	

Aplicando un CBR de diseño igual a 3%, se obtuvo un módulo de reacción de la subrasante igual a 28 Mpa/m.

Tabla 73. Correlación aproximada entre clasificación de suelos y ensayos

The diagram shows the following correlations:

- Clasificación Unificada:** OH, CH, OL, MH, ML, CL, SM, SP, SC, GP, GM, GC, SW, GW.
- Clasificación AASHTO:** A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6.
- Valor de Resistencia, R (HVEEM):** 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70.
- Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m):** 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 130, 150, 180, 200, 220.
- Módulo de reacción de la subrasante k (kg/cm³):** 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 18, 20, 22.
- Valor Soporte (psi):** 10, 20, 30, 40, 50, 60.
- CBR:** 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100.

Fuente: Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 209)

Como se había mencionado previamente, se escogió un valor de espesor de subbase igual a 100mm. Debido a este espesor, el valor k del conjunto subrasante/subbase aumenta, y es por ello, que se necesita realizar una interpolación.

Tabla 74. Efecto de la subbase sobre los valores "k"

Valor de k para subrasante	Valor de k para subbase								
	100 mm		150 mm		225 mm		300 mm		
Mpa/m Lb/pulg²	Mpa/m Lb/pulg²	Mpa/m Lb/pulg²	Mpa/m Lb/pulg²	Mpa/m Lb/pulg²	Mpa/m Lb/pulg²	Mpa/m Lb/pulg²	Mpa/m Lb/pulg²	Mpa/m Lb/pulg²	
20 73	23 85	26 96	35 117	38 140	40 147	45 165	49 180	57 210	66 245
60 220	64 235	66 245	76 280	90 330	87 320	90 330	100 370	117 430	117 430

Fuente: AASHTO, 1993

$$K_{conjunto} = \frac{20 - 40}{23 - 45} = \frac{20 - 28}{23 - x}$$

Ecuación 27. Interpolación de K conjunto

Se despeja para X y se obtiene que:

$$K_{conjunto} = 32 \text{ Mpa/m}$$

Con el dato de $K_{conjunto}$, se encuentran los valores de esfuerzo equivalente para un eje sencillo y un eje tándem, utilizando un espesor de losa de 220mm.

Tabla 75. Esfuerzo equivalente sin hombros de concreto análisis por fatiga (eje sencillo)

Espesor de losa (mm)	Eje sencillo					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	5.42	4.75	4.38	4.13	3.66	3.45
110	4.74	4.16	3.85	3.63	3.23	3.06
120	4.19	3.69	3.41	3.23	2.88	2.73
130	3.75	3.30	3.06	2.89	2.59	2.46
140	3.37	2.97	2.76	2.61	2.34	2.23
150	3.06	2.70	2.51	2.37	2.13	2.03
160	2.79	2.47	2.29	2.17	1.95	1.86
170	2.56	2.26	2.10	1.99	1.80	1.71
180	2.37	2.09	1.94	1.84	1.66	1.58
190	2.19	1.94	1.80	1.71	1.54	1.47
200	2.04	1.80	1.67	1.59	1.43	1.37
210	1.91	1.68	1.56	1.48	1.34	1.28
220	1.79	1.57	1.46	1.39	1.26	1.20
230	1.68	1.48	1.38	1.31	1.18	1.13
240	1.58	1.39	1.30	1.23	1.11	1.03
250	1.49	1.32	1.22	1.16	1.05	1.00
260	1.41	1.25	1.16	1.10	0.99	0.95
270	1.34	1.18	1.10	1.04	0.94	0.90
280	1.28	1.12	1.04	0.99	0.89	0.86
290	1.22	1.07	0.99	0.94	0.85	0.81
300	1.16	1.02	0.95	0.90	0.81	0.78
310	1.11	0.97	0.90	0.86	0.77	0.74
320	1.06	0.93	0.86	0.82	0.74	0.71
330	1.02	0.89	0.83	0.78	0.71	0.68
340	0.98	0.85	0.79	0.75	0.68	0.65
350	0.94	0.82	0.76	0.72	0.65	0.62

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 219)

Con los valores de esfuerzo equivalente, se realiza una interpolación de la siguiente manera para conocer el factor de fatiga:

$$F_{fatiga} = \frac{20 - 40}{1.79 - 1.57} = \frac{20 - 32}{1.79 - x}$$

Ecuación 28. Interpolación para factor de fatiga (eje sencillo)

Se despeja para x y se obtiene que el factor de fatiga para eje sencillo es:

$$F_{fatiga} = 1.65$$

Con la siguiente ecuación, se procede a calcular la relación de esfuerzos dividiendo el factor de fatiga entre el módulo de ruptura.

$$\text{Relación de esfuerzos} = \frac{\text{factor de fatiga}}{\text{módulo de ruptura}}$$

Ecuación 29. Relación de esfuerzos eje sencillo

$$\text{Relación de esfuerzos} = \frac{1.658}{4} = 0.415$$

Para el eje tándem se debe realizar el mismo procedimiento especificado anteriormente, pero utilizando la tabla de esfuerzos equivalentes para eje tándem.

Tabla 76. Esfuerzo equivalente sin hombros de concreto (eje tándem)

Espesor de losa (mm)	Eje Tándem					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.39	3.83	3.59	3.44	3.22	3.15
110	3.88	3.35	3.12	2.97	2.76	2.68
120	3.47	2.98	2.75	2.62	2.40	2.33
130	3.14	2.68	2.46	2.33	2.13	2.05
140	2.87	2.43	2.23	2.10	1.90	1.83
150	2.64	2.23	2.04	1.92	1.72	1.65
160	2.45	2.03	1.87	1.76	1.57	1.50
170	2.28	1.91	1.74	1.63	1.45	1.38
180	2.14	1.79	1.62	1.51	1.34	1.27
190	2.01	1.67	1.51	1.41	1.25	1.18
200	1.90	1.58	1.42	1.33	1.17	1.11
210	1.79	1.49	1.34	1.25	1.10	1.04
220	1.70	1.41	1.27	1.18	1.03	0.98
230	1.62	1.34	1.21	1.12	0.98	0.92
240	1.55	1.28	1.15	1.06	0.93	0.87
250	1.48	1.22	1.09	1.01	0.88	0.83
260	1.41	1.17	1.05	0.97	0.84	0.79
270	1.36	1.12	1.00	0.93	0.80	0.75
280	1.30	1.07	0.96	0.89	0.77	0.72
290	1.25	1.03	0.92	0.85	0.74	0.69
300	1.21	0.99	0.89	0.82	0.71	0.66
310	1.16	0.96	0.86	0.79	0.68	0.64
320	1.12	0.92	0.83	0.76	0.66	0.62
330	1.09	0.89	0.80	0.74	0.63	0.59
340	1.05	0.86	0.77	0.71	0.61	0.57
350	1.02	0.84	0.75	0.69	0.59	0.55

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 220)

$$F_{fatiga} = \frac{20 - 40}{1.70 - 1.41} = \frac{20 - 32}{1.70 - x}$$

Ecuación 30. Interpolación para factor de fatiga (eje tándem)

Se despeja para x y se obtiene que el factor de fatiga para eje tándem es:

$$F_{fatiga} = 1.526$$

$$\text{Relación de esfuerzos} = \frac{1.658}{4} = 0.415$$

Ecuación 31. Relación de esfuerzos para eje tándem (análisis por fatiga)

En seguida, se determinan los valores de factor de erosión para eje sencillo y tándem y siempre con un K conjunto de 32 Mpa/m y espesor de losa de 220mm.

Tabla 77. Factor de erosión para ejes sencillos. Pavimento sin dovelas y sin hombros de concreto

Espesor de losa (mm)	Eje sencillo					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.94	3.92	3.90	3.88	3.84	3.80
110	3.82	3.79	3.78	3.76	3.72	3.69
120	3.71	3.68	3.67	3.65	3.62	3.59
130	3.61	3.58	3.56	3.55	3.52	3.50
140	3.52	3.49	3.47	3.46	3.43	3.41
150	3.43	3.40	3.38	3.37	3.34	3.32
160	3.35	3.32	3.30	3.29	3.26	3.24
170	3.28	3.24	3.22	3.21	3.18	3.17
180	3.21	3.17	3.15	3.14	3.11	3.10
190	3.15	3.11	3.08	3.07	3.04	3.03
200	3.09	3.04	3.02	3.01	2.98	2.96
210	3.04	2.99	2.96	2.95	2.92	2.90
220	2.98	2.93	2.90	2.89	2.86	2.85
230	2.93	2.88	2.85	2.83	2.80	2.79
240	2.89	2.83	2.80	2.78	2.75	2.74
250	2.84	2.78	2.75	2.73	2.70	2.69
260	2.80	2.73	2.70	2.69	2.65	2.64
270	2.76	2.69	2.66	2.64	2.61	2.59
280	2.72	2.65	2.62	2.60	2.56	2.55
290	2.68	2.61	2.58	2.56	2.52	2.50
300	2.65	2.57	2.54	2.52	2.48	2.46
310	2.61	2.54	2.50	2.48	2.44	2.42
320	2.58	2.50	2.47	2.44	2.40	2.38
330	2.55	2.47	2.43	2.41	2.36	2.35
340	2.52	2.44	2.40	2.37	2.33	2.31
350	2.49	2.41	2.37	2.34	2.29	2.28

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 222)

Una vez que se determinan los factores de erosión de la tabla anterior, se interpola para calcular el factor de erosión exacto.

$$Factor\ de\ erosión = \frac{20 - 40}{2.98 - 2.93} = \frac{20 - 32}{2.98 - x}$$

Ecuaación 32. Factor de erosión eje sencillo

$$Factor\ de\ erosión = 2.95$$

Tabla 78. Factor de erosión para ejes tándem. Pavimento sin dovelas y sin hombros de concreto

Espesor de losa (mm)	Eje tándem					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.00	3.93	3.90	3.88	3.84	3.82
110	3.90	3.82	3.79	3.76	3.72	3.70
120	3.81	3.73	3.69	3.66	3.62	3.59
130	3.73	3.65	3.60	3.57	3.52	3.49
140	3.66	3.57	3.52	3.49	3.43	3.41
150	3.59	3.50	3.45	3.42	3.36	3.33
160	3.53	3.42	3.38	3.35	3.28	3.26
170	3.48	3.37	3.32	3.28	3.22	3.19
180	3.42	3.32	3.26	3.23	3.16	3.13
190	3.37	3.27	3.21	3.17	3.10	3.07
200	3.33	3.22	3.16	3.12	3.05	3.01
210	3.28	3.17	3.11	3.07	3.00	2.96
220	3.24	3.13	3.07	3.03	2.95	2.92
230	3.20	3.09	3.03	2.98	2.91	2.87
240	3.16	3.05	2.99	2.94	2.86	2.83
250	3.13	3.01	2.95	2.91	2.82	2.79
260	3.09	2.98	2.91	2.87	2.79	2.75
270	3.06	2.94	2.88	2.83	2.75	2.71
280	3.03	2.91	2.84	2.80	2.71	2.68
290	3.00	2.88	2.81	2.77	2.68	2.64
300	2.97	2.85	2.78	2.74	2.65	2.61
310	2.94	2.82	2.75	2.71	2.62	2.58
320	2.91	2.79	2.72	2.68	2.59	2.55
330	2.89	2.77	2.70	2.65	2.56	2.52
340	2.86	2.74	2.67	2.62	2.53	2.49
350	2.84	2.71	2.65	2.60	2.51	2.47

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 222)

$$\text{Factor de erosión} = \frac{20 - 40}{3.24 - 3.13} = \frac{20 - 32}{3.24 - x}$$

Ecuación 33. Factor de erosión eje tándem

$$\text{Factor de erosión} = 3.17$$

Las repeticiones admisibles son consideradas con los vehículos que contienen 40 kN o más, no obstante, para fines del diseño se consideraron solamente vehículos C2 y C3.

La carga por eje de un vehículo debe ser multiplicada por la gravedad que es igual a 9.81 m/s².

La carga por eje debe ser redondeada a números mayores enteros.

$$\text{Carga por eje} = \text{peso de eje(Ton)} * 9.81\text{m/s}^2$$

Ecuación 34. Carga por eje (kN)

$$\text{Carga por eje} = 5 \text{ ton} * 9.81 = 49.05 \text{ kN} \approx 50 \text{ kN}$$

Se multiplica la carga por eje por una carga factorizada que resulta ser la multiplicación de la carga por eje por el factor de seguridad, que, como se mencionó antes, el factor de seguridad es igual a 1.1 debido a que es un tránsito de peso medio.

$$carga\ factorizada = carga\ por\ eje * FS$$

Ecuación 35. Carga factorizada

$$carga\ factorizada = 50\ kN * 1.1 = 55\ kN$$

Se procede a calcular el factor de crecimiento

$$C = \frac{(1 + r)^{vida\ útil} - 1}{r}$$

Ecuación 36. Factor de crecimiento

Donde:

$$r = tasa\ de\ crecimiento = 4.7\%$$

$$vida\ útil = 20\ años$$

$$C = \frac{(1 + 0.047)^{20} - 1}{0.047} = 32.03$$

Para el factor de distribución de carril y de dirección se escogen los siguientes valores:

Tabla 79. Número de carriles en ambas direcciones (Fc)

Número de carriles en ambas direcciones	LD ¹⁰
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 29)

Tabla 80. Número de carriles en una sola dirección (Fc)

Número de carriles en una Sola dirección	LC¹¹
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 29)

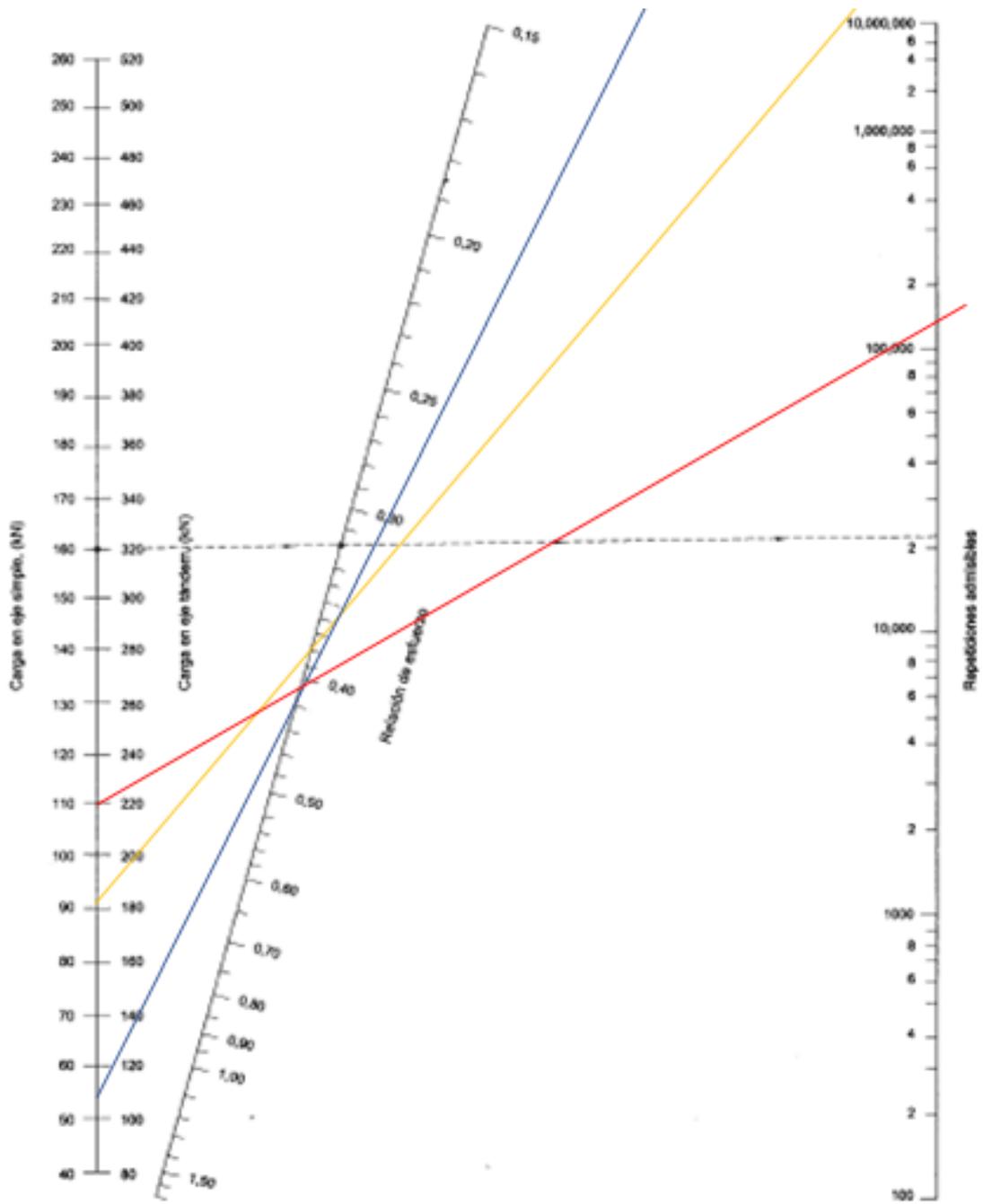
Finalmente, se calcula las repeticiones esperadas utilizando el TPD de los C2 y C3, factor de diseño, factor de distribución de carril, factor de dirección, y se multiplica todo por 365 días. Cabe resaltar que es importante considerar el número de veces que pasa un mismo eje sobre el pavimento.

$$\text{Repeticiones esperadas} = \# \text{ de vehículos por día} * 365 * C * fc * fd$$

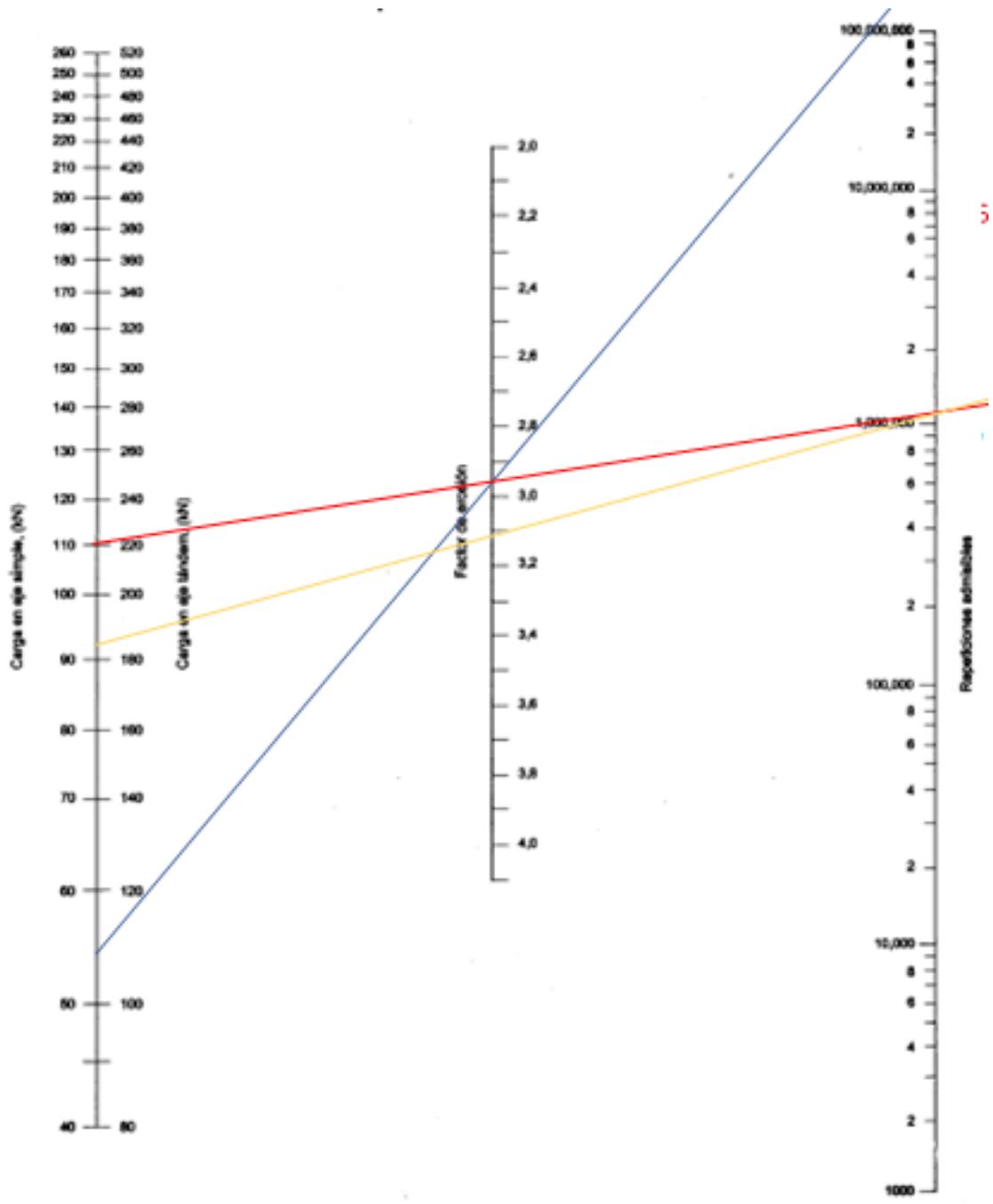
Ecuación 37. Repeticiones esperadas

$$\text{Repeticiones esperadas} = 22 * 365 * 32.02 * 0.5 * 0.1 = 116,910 + 11,690 = 128,600$$

Con todos los datos obtenidos, se determinan las repeticiones admisibles por fatiga y por erosión con la ayuda de los monogramas.



Gráfica 7. Análisis por fatiga tramo 1



Gráfica 8. Análisis por erosión tramo 1

A continuación se muestra una tabla resumen para determinar el porcentaje de fatiga y erosión.

Tabla 81. Tabla resumen para cálculo de % de fatiga y erosión

Espesor de tanteo	220	mm
Conjunto subbase-subrasante	32	Mpa/m
Módulo de rotura Mr	4	Mpa
Factor de seguridad	1.1	-

Juntas con dovelas	no
Berma de concreto	no
Periodo de diseño	20

Carga por eje (kN)	Carga por FSC (kN)	Análisis por fatiga		Análisis por erosión		
		Repeticiones esperadas	Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
1	2	3	4	5	6	7

8 Esfuerzo Equivalente	1.658
9 Relación de esfuerzos	0.4145

10 Factor de erosión	2.95
----------------------	------

Ejes sencillos

50	55	128600.45	infinito	0	infinito	0
100	110	116946	120000	97.455	1100000	10.631455

11 Esfuerzo Equivalente	1.526
12 Relación de esfuerzos	0.3815

10 Factor de erosión	3.17
----------------------	------

Eje tándem						
165	182	11690.95	infinito	0	1100000	1.0628136

Se calcula el espaciamiento y profundidad de corte de juntas con la siguiente tabla:

Tabla 82. Espaciamento entre juntas

Espesor de losa (cm)	1	2	3	4
	Espaciamento entre juntas (cm)	Profundidad de corte de juntas (cm)	Profundidad del material de sellado (cm)	Ancho del corte para la junta (cm)
15	360	5.00	1.00	0.50
16	384	5.33	1.07	0.53
17	408	5.67	1.13	0.57
18	432	6.00	1.20	0.60
19	456	6.33	1.27	0.63
20	480	6.67	1.33	0.67
21	504	7.00	1.40	0.70
22	528	7.33	1.47	0.73
23	552	7.67	1.53	0.77
24	576	8.00	1.60	0.80
25	600	8.33	1.67	0.83
26	624	8.67	1.73	0.87
27	648	9.00	1.80	0.90
28	672	9.33	1.87	0.93
29	696	9.67	1.93	0.97
30	720	10.00	2.00	1.00
31	744	10.33	2.07	1.03
32	768	10.67	2.13	1.07
33	792	11.00	2.20	1.10
34	816	11.33	2.27	1.13
35	840	11.67	2.33	1.17

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 99)

4.3.10 DISEÑO DE ESPESOR POR MÉTODO PCA PARA TRAMO 2

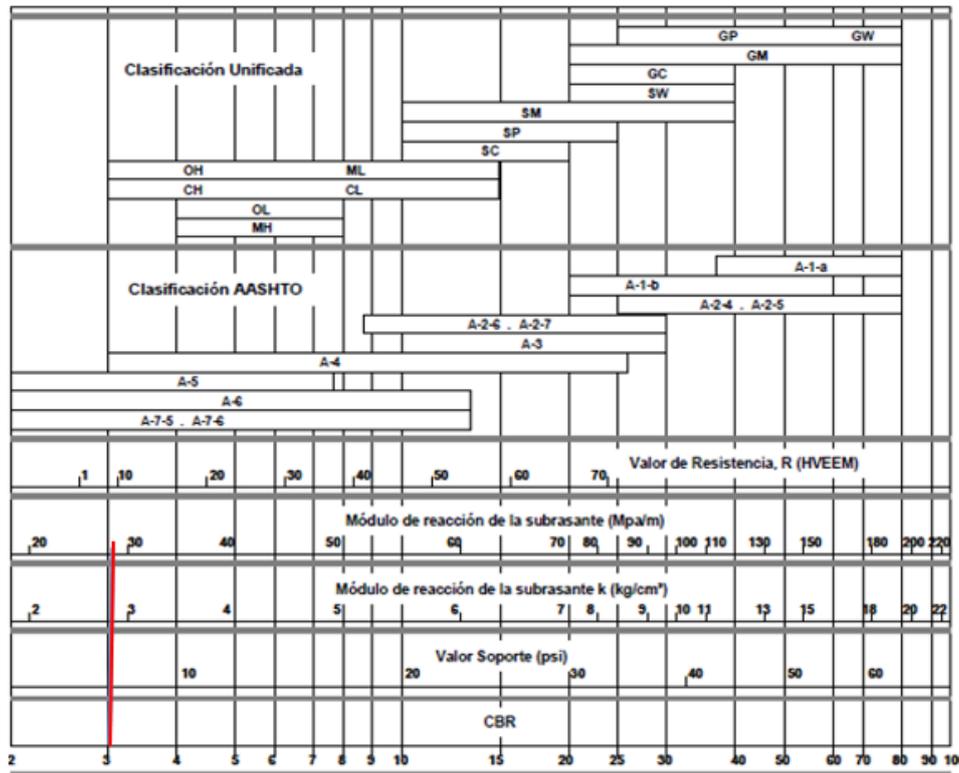
Los criterios para considerar el diseño de espesor de losa de concreto hidráulico son los siguientes:

Tabla 83. Criterios para el diseño de losa de concreto hidráulico tramo 2

Datos	
Módulo de rotura (Mr)	4 Mpa/m
Factor de Seguridad (FS)	1.1
Espesor de tanteo	21cm
Espesor de subbase	10cm
Sin dovelas	
Sin hombros	

Aplicando un CBR de diseño igual a 3%, se obtuvo un módulo de reacción de la subrasante igual a 28 Mpa/m.

Tabla 84. Correlación aproximada entre clasificación de suelos y ensayos



Fuente: Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 209)

Como se había mencionado previamente, se escogió un valor de espesor de subbase igual a 100mm. Debido a este espesor, el valor k del conjunto subrasante/subbase aumenta, y es por ello, que se necesita realizar una interpolación.

Tabla 85. Efecto de la subbase sobre los valores "k"

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	Lb/pulg ²	Mpa/m	Lb/pulg ²	Mpa/m	Lb/pulg ²	Mpa/m	Lb/pulg ²	Mpa/m	Lb/pulg ²
20	73	23	85	26	96	35	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: AASHTO, 1993

$$K_{conjunto} = 32 \text{ Mpa/m}$$

Con el dato de $K_{conjunto}$, se encuentran los valores de esfuerzo equivalente para un eje sencillo y un eje tándem, utilizando un espesor de losa de 210mm.

Tabla 86. Esfuerzo equivalente sin hombros, análisis por fatiga (tramo 2)

Espesor de losa (mm)	Eje sencillo					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	5.42	4.75	4.38	4.13	3.66	3.45
110	4.74	4.16	3.85	3.63	3.23	3.06
120	4.19	3.69	3.41	3.23	2.88	2.73
130	3.75	3.30	3.06	2.89	2.59	2.46
140	3.37	2.97	2.76	2.61	2.34	2.23
150	3.06	2.70	2.51	2.37	2.13	2.03
160	2.79	2.47	2.29	2.17	1.95	1.86
170	2.56	2.26	2.10	1.99	1.80	1.71
180	2.37	2.09	1.94	1.84	1.66	1.58
190	2.19	1.94	1.80	1.71	1.54	1.47
200	2.04	1.80	1.67	1.59	1.43	1.37
210	1.91	1.68	1.56	1.48	1.34	1.28
220	1.79	1.57	1.46	1.39	1.26	1.20
230	1.68	1.48	1.38	1.31	1.18	1.13
240	1.58	1.39	1.30	1.23	1.11	1.03
250	1.49	1.32	1.22	1.16	1.05	1.00
260	1.41	1.25	1.16	1.10	0.99	0.95
270	1.34	1.18	1.10	1.04	0.94	0.90
280	1.28	1.12	1.04	0.99	0.89	0.86
290	1.22	1.07	0.99	0.94	0.85	0.81
300	1.16	1.02	0.95	0.90	0.81	0.78
310	1.11	0.97	0.90	0.86	0.77	0.74
320	1.06	0.93	0.86	0.82	0.74	0.71
330	1.02	0.89	0.83	0.78	0.71	0.68
340	0.98	0.85	0.79	0.75	0.68	0.65
350	0.94	0.82	0.76	0.72	0.65	0.62

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 219)

Con los valores de esfuerzo equivalente, se realiza una interpolación de la siguiente manera para conocer el factor de fatiga:

$$F_{fatiga} = \frac{20 - 40}{1.91 - 1.68} = \frac{20 - 32}{1.91 - x}$$

Ecuación 38. Interpolación para factor de fatiga (tramo 2)

Se despeja para x y se obtiene que el factor de fatiga para eje sencillo es:

$$F_{fatiga} = 1.772$$

Con la siguiente ecuación, se procede a calcular la relación de esfuerzos dividiendo el factor de fatiga entre el módulo de ruptura.

$$\text{Relación de esfuerzos} = \frac{1.772}{4} = 0.443$$

Ecuación 39. Relación de esfuerzos (tramo 2)

En seguida, se determinan los valores de factor de erosión para eje sencillo, siempre con un K conjunto de 32 Mpa/m y espesor de losa de 210mm.

Tabla 87. Factor de erosión sin dovelas y sin hombros de concreto (tramo 2)

Espesor de losa (mm)	Eje sencillo					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.94	3.92	3.90	3.88	3.84	3.80
110	3.82	3.79	3.78	3.76	3.72	3.69
120	3.71	3.68	3.67	3.65	3.62	3.59
130	3.61	3.58	3.56	3.55	3.52	3.50
140	3.52	3.49	3.47	3.46	3.43	3.41
150	3.43	3.40	3.38	3.37	3.34	3.32
160	3.35	3.32	3.30	3.29	3.26	3.24
170	3.28	3.24	3.22	3.21	3.18	3.17
180	3.21	3.17	3.15	3.14	3.11	3.10
190	3.15	3.11	3.08	3.07	3.04	3.03
200	3.09	3.04	3.02	3.01	2.98	2.96
210	3.04	2.99	2.96	2.95	2.92	2.90
220	2.98	2.93	2.90	2.89	2.86	2.85
230	2.93	2.88	2.85	2.83	2.80	2.79
240	2.89	2.83	2.80	2.78	2.75	2.74
250	2.84	2.78	2.75	2.73	2.70	2.69
260	2.80	2.73	2.70	2.69	2.65	2.64
270	2.76	2.69	2.66	2.64	2.61	2.59
280	2.72	2.65	2.62	2.60	2.56	2.55
290	2.68	2.61	2.58	2.56	2.52	2.50
300	2.65	2.57	2.54	2.52	2.48	2.46
310	2.61	2.54	2.50	2.48	2.44	2.42
320	2.58	2.50	2.47	2.44	2.40	2.38
330	2.55	2.47	2.43	2.41	2.36	2.35
340	2.52	2.44	2.40	2.37	2.33	2.31
350	2.49	2.41	2.37	2.34	2.29	2.28

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 222)

Una vez que se determinan los factores de erosión de la tabla anterior, se interpola para descifrar el factor de erosión exacto.

$$\text{Factor de erosión} = \frac{20 - 40}{3.04 - 2.99} = \frac{20 - 32}{3.04 - x}$$

Ecuación 40. Factor de erosión (tramo 2)

$$\text{Factor de erosión} = 3.01$$

Se consideraron únicamente vehículos tipo C2 ya que no se registró ningún dato de vehículo tipo C3 en el segundo tramo del camino. La carga por eje de un vehículo debe ser multiplicada por la gravedad que es igual a 9.81 m/s². La carga por eje debe ser redondeada a números mayores enteros.

$$\text{Carga por eje} = 5 \text{ ton} * 9.81 = 49.05 \text{ kN} \approx 50 \text{ kN}$$

Se multiplica la carga por eje por una carga factorizada que resulta ser la multiplicación de la carga por eje por el factor de seguridad, que, como se mencionó antes, el factor de seguridad es igual a 1.1 debido a que es un tránsito de peso medio.

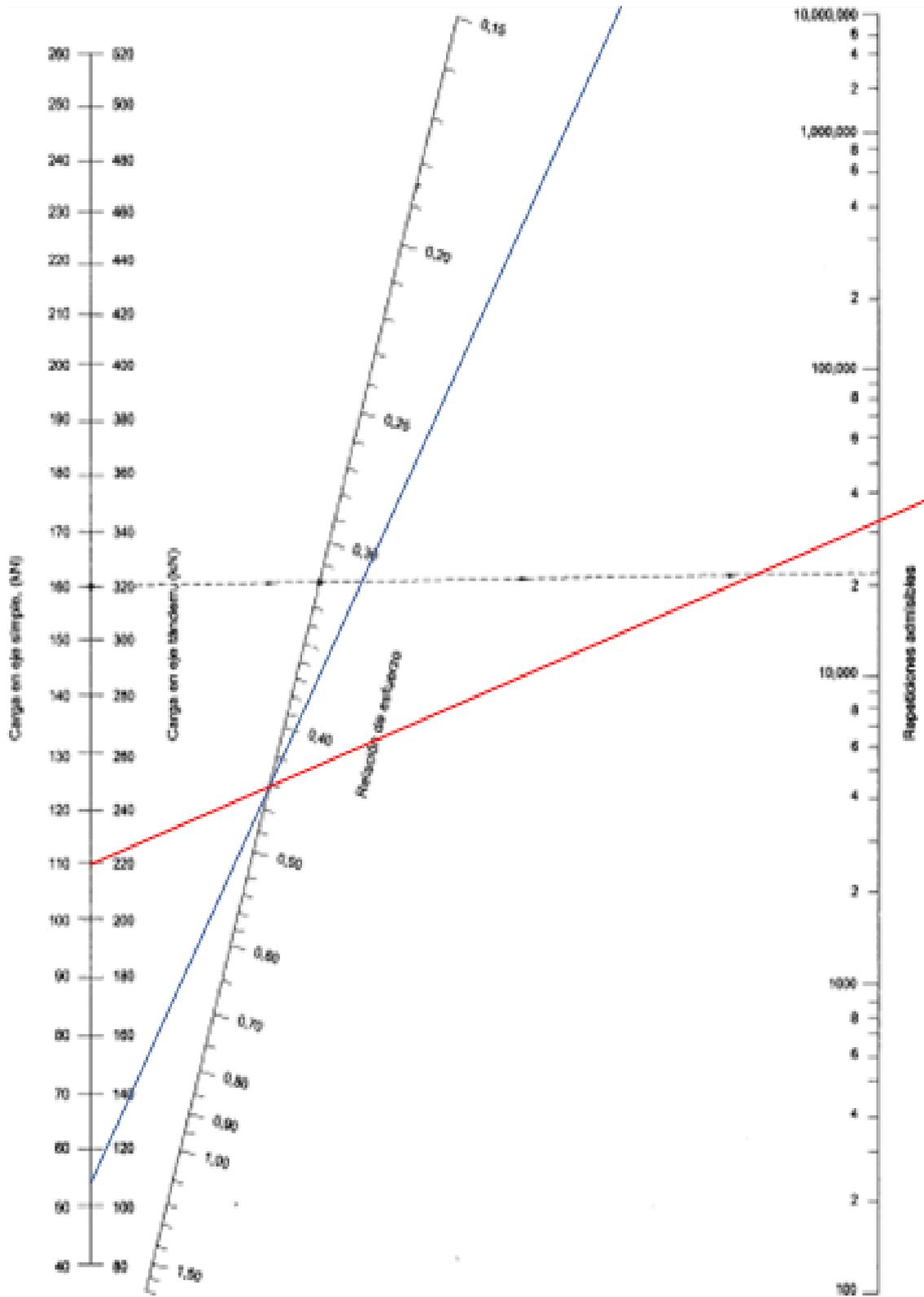
$$\text{Carga factorizada} = 55 \text{ kN}$$

Para el factor de distribución de carril y de dirección se escogen los mismos valores que se escogieron para el tramo 1. Utilizando un 50% de número de carriles en ambas direcciones y un 100% de número de carriles en una sola dirección.

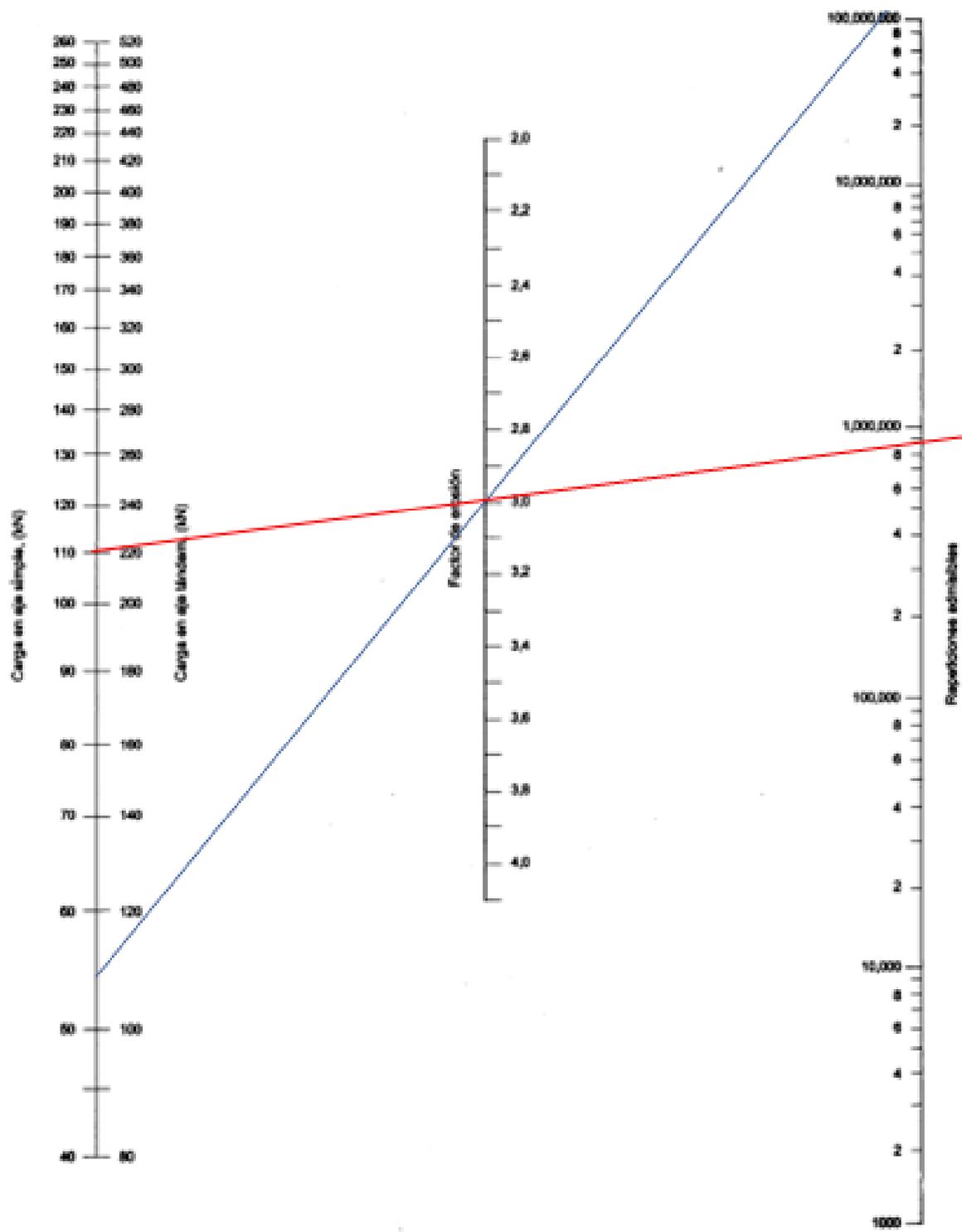
Finalmente, se calculan las repeticiones esperadas utilizando el TPD de los C2, factor de diseño, factor de distribución de carril, factor de dirección, y se multiplica todo por 365 días.

$$\text{Repeticiones esperadas} = 4 * 365 * 32.02 * 0.5 * 0.1 = 23,381.9$$

Con todos los datos obtenidos, se determinan las repeticiones admisibles con la ayuda de los monogramas por fatiga, gráfica 9 y por erosión, gráfica 10.



Gráfica 9. Análisis por fatiga tramo 2



Gráfica 10. Análisis por erosión tramo 2

Tabla 88. Cálculo de % de fatiga y erosión (tramo 2)

Espesor de tanteo	210	mm
Conjunto subbase-subrasante	32	Mpa/m
Módulo de rotura Mr	4	Mpa
Factor de seguridad	1.1	

Juntas con dovelas	no
Berma de concreto	no
Periodo de diseño	20

Carga por eje (kN)	Carga por FSC (kN)	Análisis por fatiga		Análisis por erosión		
		Repeticiones esperadas	Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
1	2	3	4	5	6	7

8 Esfuerzo Equivalente	1.772
9 Relación de esfuerzos	0.443

10 Factor de erosión	3.01
----------------------	------

Ejes sencillos

50	55	23381.9	infinito	0	0	0
100	110	23381.9	31000	75.425484	890000	2.6271798

Total		75.425484		2.6271798
-------	--	-----------	--	-----------

Se calcula el espaciamiento y profundidad de corte de juntas con la siguiente tabla:

Tabla 89. Espaciamiento entre juntas (tramo 2)

Espesor de losa (cm)	1	2	3	4
	Espaciamiento entre juntas (cm)	Profundidad de corte de juntas (cm)	Profundidad del material de sellado (cm)	Ancho del corte para la junta (cm)
15	360	5.00	1.00	0.50
16	384	5.33	1.07	0.53
17	408	5.67	1.13	0.57
18	432	6.00	1.20	0.60
19	456	6.33	1.27	0.63
20	480	6.67	1.33	0.67
21	504	7.00	1.40	0.70
22	528	7.33	1.47	0.73
23	552	7.67	1.53	0.77
24	576	8.00	1.60	0.80
25	600	8.33	1.67	0.83
26	624	8.67	1.73	0.87
27	648	9.00	1.80	0.90
28	672	9.33	1.87	0.93
29	696	9.67	1.93	0.97
30	720	10.00	2.00	1.00
31	744	10.33	2.07	1.03
32	768	10.67	2.13	1.07
33	792	11.00	2.20	1.10
34	816	11.33	2.27	1.13
35	840	11.67	2.33	1.17

Fuente: (Coronado Iturbide, 2002, p. 99)

4.3.11 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS

Para delimitar las cuencas, subcuencas y microcuencas se utilizó el mismo modelo de elevación digital mencionado en la sección orientada al tipo de terreno. Con ArcGIS es posible delimitar las cuencas, subcuencas y microcuencas de la zona siguiendo cuatro pasos. Al delimitar el polígono de la cuenca se determina el área, longitud máxima y pendiente de la cuenca.

Para el primer paso se trabaja con el modelo de elevaciones (DEM), el cual contiene valores de elevación en cada uno de sus píxeles. Debido a que cada píxel contiene un área de 12.5 x 12.5 metros y existe un pequeño error de precisión de datos, los cuales pueden ser mejorados con la técnica "Fill." La herramienta de Relleno (Fill) correlaciona matemáticamente las elevaciones de todos los píxeles del área de interés de nuestro Modelo de Elevación Digital (DEM). Esta interpolación de elevaciones nos da como resultado un nuevo ráster con menos imperfecciones y valores de elevación más precisos que el DEM original.

El segundo paso se trabaja con el ráster de relleno (Fill) y se denomina Flow direction. La dirección de flujo (Flow direction) es el procedimiento en el cual el programa es capaz de

definir la dirección en la cual se movería el flujo en cada uno de los píxeles en base al valor de elevación que cada una de estas celdas posee.

El tercer paso es definir en qué áreas o píxeles se acumula el flujo, con la herramienta *Flow accumulation*. La acumulación de flujo (*Flow accumulation*) nos demuestra en que sitios se acumula el flujo y en cuáles no. Por ejemplo, en las crestas, el flujo acumulado equivaldría a 0, pero existen áreas donde el flujo se acumula hasta llegar a un punto de mayor acumulación, es decir canales de arroyo. Al llevar a cabo este procedimiento se pueden ubicar las escorrentías, definir las crestas, los parteaguas y los canales de arroyo.

Finalmente, para delimitar las subcuencas y microcuencas se utiliza la herramienta *Watershed*. La cuenca (*Watershed*) se define en base a toda la información obtenida de los pasos anteriores. El programa crea un polígono que representa a la subcuenca o microcuenca de interés en base a los puntos de escurrimiento que son ubicados en base al criterio del diseñador. Estos puntos de escurrimiento (*pour points*) son colocados principalmente en las intersecciones de canales de arroyo con el tramo carretero, para así determinar el polígono de la subcuenca o microcuenca que aporta a ese punto en específico, donde sería necesario ubicar una alcantarilla.

Al tener las sub y microcuencas delimitadas se mejora la forma de las cuencas de forma analógica en base a las curvas de nivel, tomando en cuenta las concavidades y cambios de elevaciones. Las cuencas fueron divididas en dos tipos: las cuencas con flujo concentrado y las áreas de flujo local. Las áreas de flujo local son las que escurren el agua hacia el camino a lo largo de las cunetas y las cuencas de flujo constante se concentran en un punto de interés, es decir una alcantarilla. La ilustración 32 demuestra la ubicación de las sub y microcuencas, en donde las áreas de color rojo representan a las áreas de flujo local y las azules a las de flujo concentrado. La tabla 88 define el estacionamiento de cada una de las subcuencas, microcuencas y áreas de flujo local.

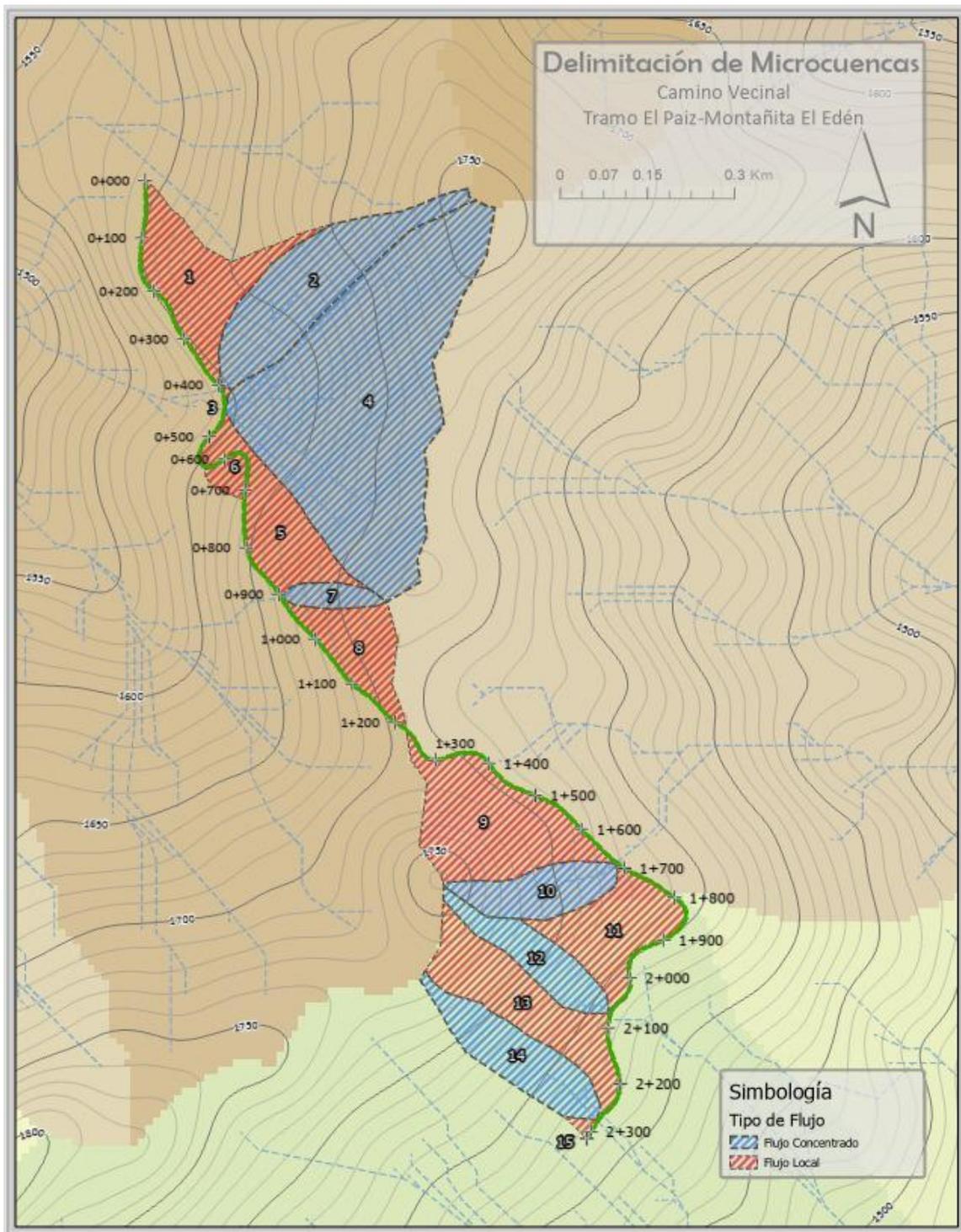


Ilustración 31. Delimitación de las microcuencas

Fuente: Elaboración propia programa ArcGIS

Tabla 90. Estacionamiento de las áreas de flujo

Área de flujo	Estación	Área de flujo	Estación
1	0+000 - 0+403.15	9	1+226.81 - 1+682.95
2	0+403.15	10	1+682.95
3	0+403.15 - 0+448.26	11	1+682.95 - 2+075.15
4	0+448.26	12	2+075.15
5	0+448.26 - 0+907.83	13	2+075.15 - 2+277.38
6	0+563.15 - 0+715.50	14	2+277.38
7	0+907.83	15	2+277.38 - 2+313.74
8	0+907.83 - 1+220.39		

4.3.12 CÁLCULO DE CAUDAL

Para diseñar las alcantarillas y las cunetas es necesario conocer el caudal de cada subcuenca, microcuenca y área de flujo local utilizando la ecuación 6, en donde se debe de determinar los coeficientes de escorrentía, intensidades para los periodos de retorno de 10 y 20 años y el área de cada una de las microcuencas. Para determinar ciertos valores se necesitan algunos mapas extraídos de los Anexos del Manual de Referencias Higrológicas del FHIS, sin embargo, la versión en PDF de los anexos del manual no contiene los mapas, por lo cual se utilizó ArcGIS para recrear estos mapas en base a la información geoespacial otorgada por el hidrólogo Ramón Paz Barahona, quién fue uno de los principales autores del manual. La información utilizada para recrear los mapas incluye valores de a, b y n para los cálculos de intensidad, curvas de nivel, ubicación de aldeas, caseríos y clasificación de suelos según su capacidad hidrológica.

4.3.12.1 Área

Al delimitar las subcuencas, microcuencas y áreas de flujo local es posible conocer el área de cada una de ellas con la asistencia de ArcGIS. Los valores se demuestran en la tabla 91.

Tabla 91. Área de flujo

Área de flujo	Área (m ²)	Área de flujo	Área (m ²)
1	32698.78	8	19258.24
2	44868.83	9	45550.33
3	195.25	10	19195.28
4	152144.71	11	27077.60
5	26426.29	12	18387.48
6	3528.33	13	35237.21
7	6132.29	14	26023.26
		15	910.81

4.3.12.2 Coeficiente de escorrentía

Para determinar el coeficiente de escorrentía de una subcuenca, microcuenca o área de flujo local se deben de considerar varios criterios, comenzando por el tipo de suelo según su capacidad hidrológica. Este valor fue determinado con la ayuda del mapa de capacidad hidrológica. En la ilustración 32 se demuestra la ubicación del presente proyecto dentro del mapa de capacidad hidrológica de los suelos de Honduras. Se determinó un tipo de suelo B según su capacidad hidrológica.

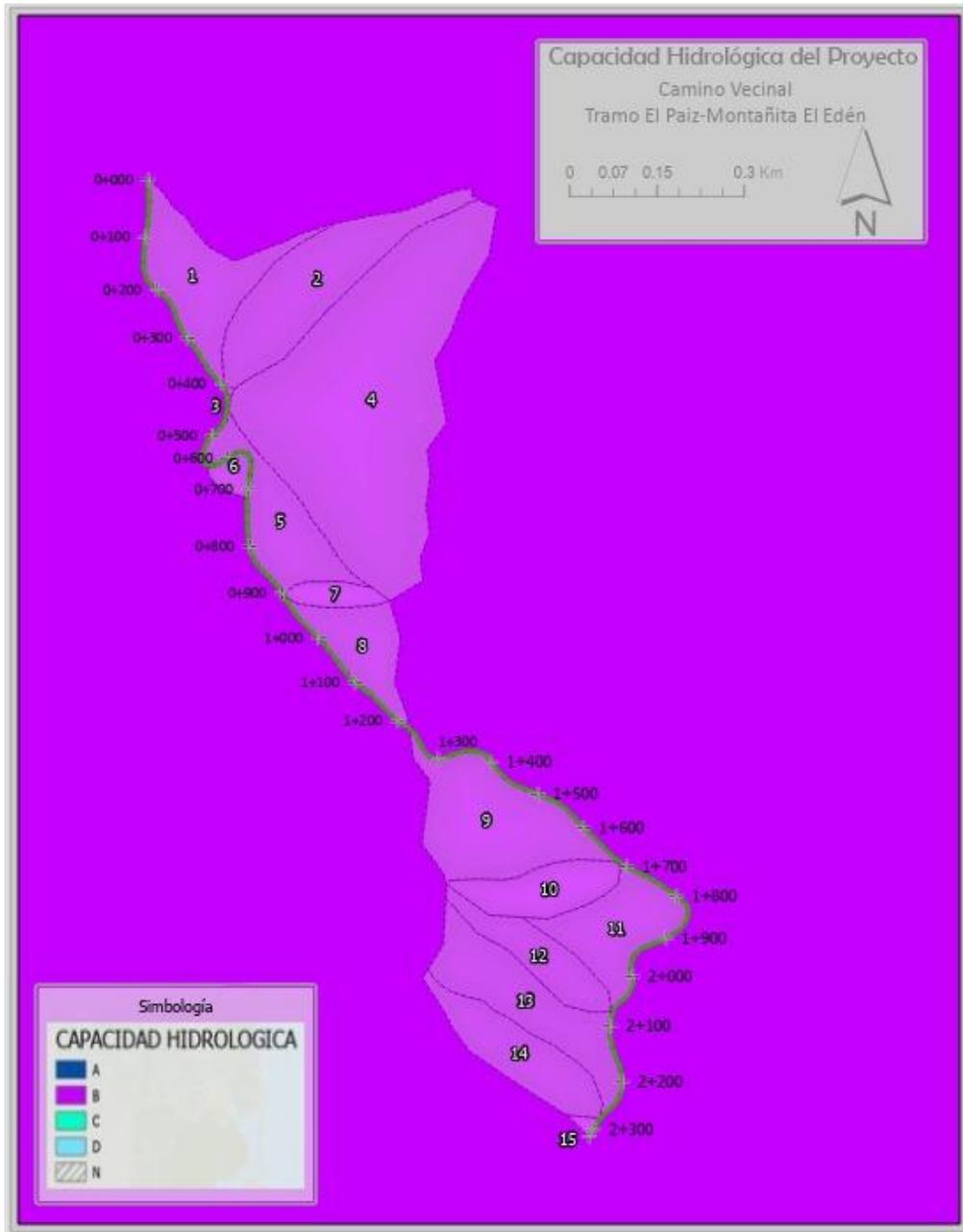


Ilustración 32. Capacidad hidrológica tipo B

Fuente: ArcGIS

El siguiente paso es conocer los rangos de pendientes dentro de cada una de las áreas de flujo. Estos rangos fueron determinados mediante la inspección del mapa de elevaciones.

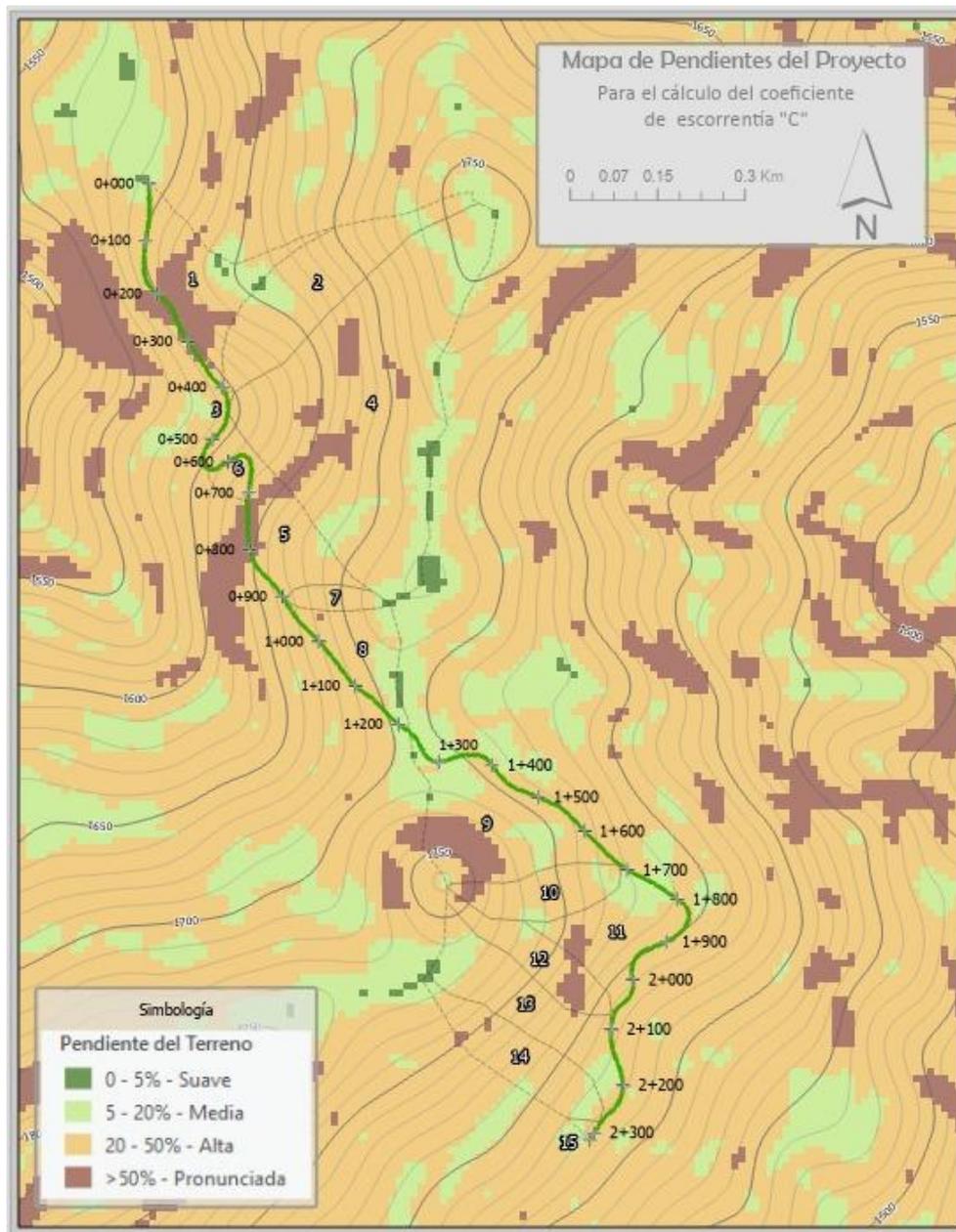


Ilustración 33. Mapa de pendientes

Fuente: ArcGIS

Luego, se debe conocer la cobertura vegetal y uso del suelo en cada una de las subcuencas, microcuencas y áreas de flujo local. La clasificación de vegetación de las microcuencas fue obtenida tomando como referencia el mapa forestal.

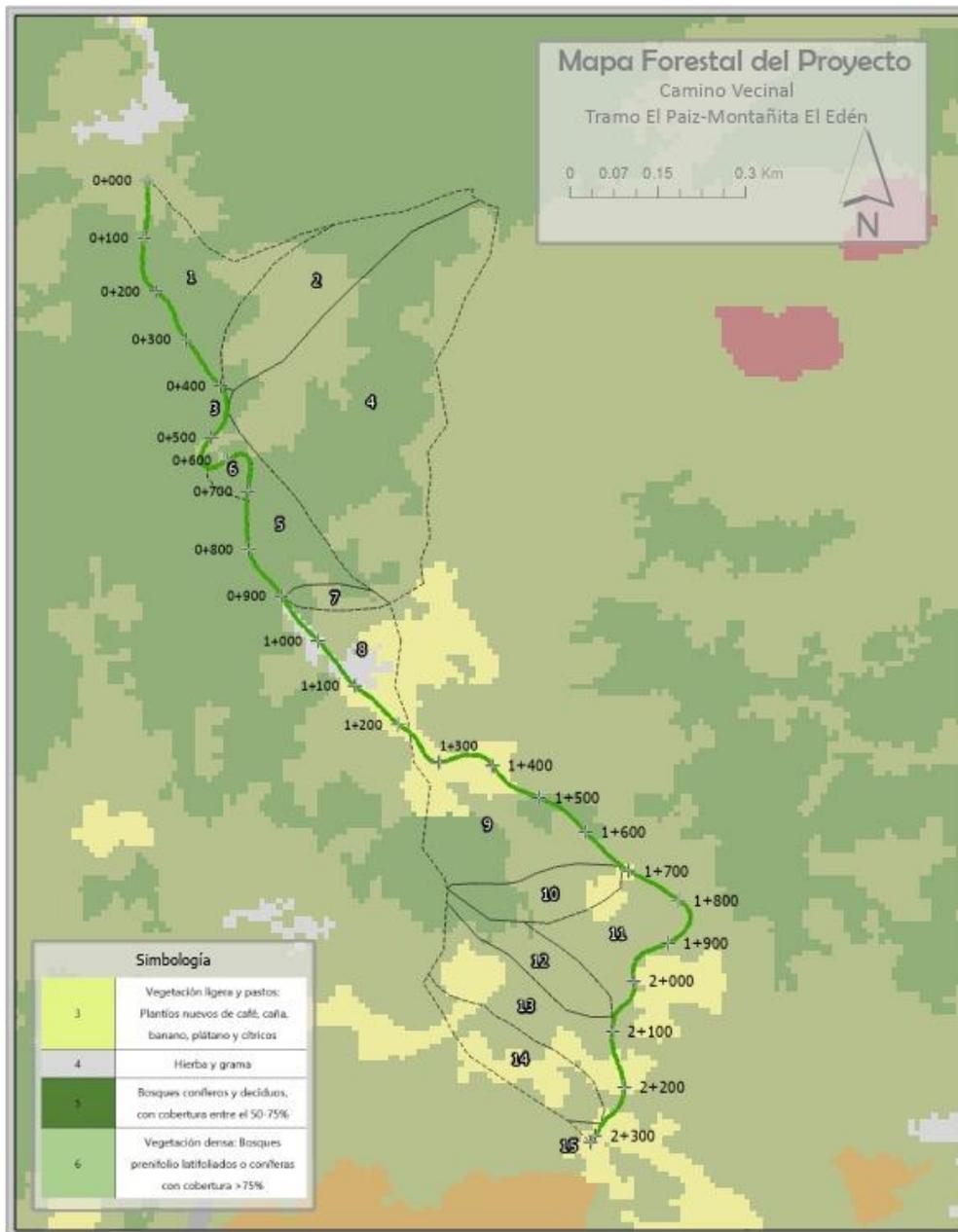


Ilustración 34. Mapa forestal del proyecto

Fuente: ArcGIS

Para conocer el coeficiente de escorrentía, dentro de la tabla 92 se deben de interceptar los valores de cobertura vegetal (tomando en cuenta que ya se ha determinado un tipo de suelo B para toda la zona) con las del tipo de pendiente de cada una de las microcuencas.

Tabla 92. Cálculo de coeficiente de escorrentía

No. Cobertura vegetal	Cobertura vegetal Tipo de suelo B	Pendiente del terreno			
		Pronunciada	Alta	Media	Suave
1	Sin vegetación o suelos desnudos	0.60	0.55	0.50	0.45
2	Cultivos anuales: maíz, frijol, arroz, melón, hortalizas	0.50	0.45	0.40	0.35
3	Vegetación ligera y pastos: Plantíos nuevos de café, caña, banano, plátano y cítricos	0.45	0.40	0.35	0.30
4	Hierba y grama	0.40	0.35	0.30	0.25
5	Bosques coníferos y deciduos, con cobertura entre el 50-75%	0.40	0.35	0.30	0.25
6	Vegetación densa: Bosques prenifolio latifoliados o coníferas con cobertura >75%	0.35	0.30	0.25	0.20

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001a, p. 46)

Para determinar el valor de C para cada una de las microcuencas se debe tomar en cuenta el área de cada uno de los tipos de cobertura vegetal y el valor de C de cada tipo, llevando a cabo una interpolación. Para este cálculo se debe multiplicar el porcentaje del área del tipo de vegetación por su coeficiente y luego sumarle la misma operación para los distintos tipos de vegetación dentro de cada subcuenca. En la tabla 93 se demuestra el procedimiento y resultados para los valores de C en cada subcuenca.

Tabla 93. Valores C calculados

Cuenca	Áreas según No. Cobertura vegetal (m ²)				Área total	C
	3	4	5	6		
1	-	-	23,952.60	8,746.18	32,698.78	0.34
2	-	-	19,301.68	25,567.15	44,868.83	0.32
3			195.25	-	195.25	0.35
4	99.90	-	87,310.88	64,733.93	152,144.71	0.33
5	-	-	23,073.70	3,352.59	26,426.29	0.34
6	-	-	3,528.33	-	3,528.33	0.35
7	-	-	2,643.23	3,489.06	6,132.29	0.32
8	7,184.42	3,991.35	698.49	7,383.99	19,258.24	0.35
9	10,065.81	-	17,894.77	17,589.75	45,550.33	0.34
10	2,362.49	-	6,103.11	10,729.65	19,195.25	0.33
11	2,289.65	-	99.55	24,688.40	27,077.60	0.31
12	-	-	3,202.31	15,185.17	18,387.48	0.31
13	13,475.99	-	998.22	20,763.00	35,237.21	0.34
14	11,631.61	-	-	14,391.65	26,023.26	0.34
15	455.41	-	-	455.41	910.81	0.35

4.3.12.3 Intensidad

Para determinar las intensidades de cada área de flujo, como primer paso se debe conocer el tiempo de concentración de cada una de las microcuencas, el cual se calcula con la fórmula de Kirpich.

El área de las áreas de flujo es calculada a través de ArcGIS, tomando en cuenta las microcuencas, subcuencas y áreas de flujo local previamente delimitadas. La longitud máxima de la escorrentía de una microcuenca se debe de medir a partir del punto de interés hasta llegar al punto más alto de la cuenca, es decir, el parteaguas o cresta. Se debe calcular la pendiente de la escorrentía de estudio para así calcular el tiempo de concentración de esa

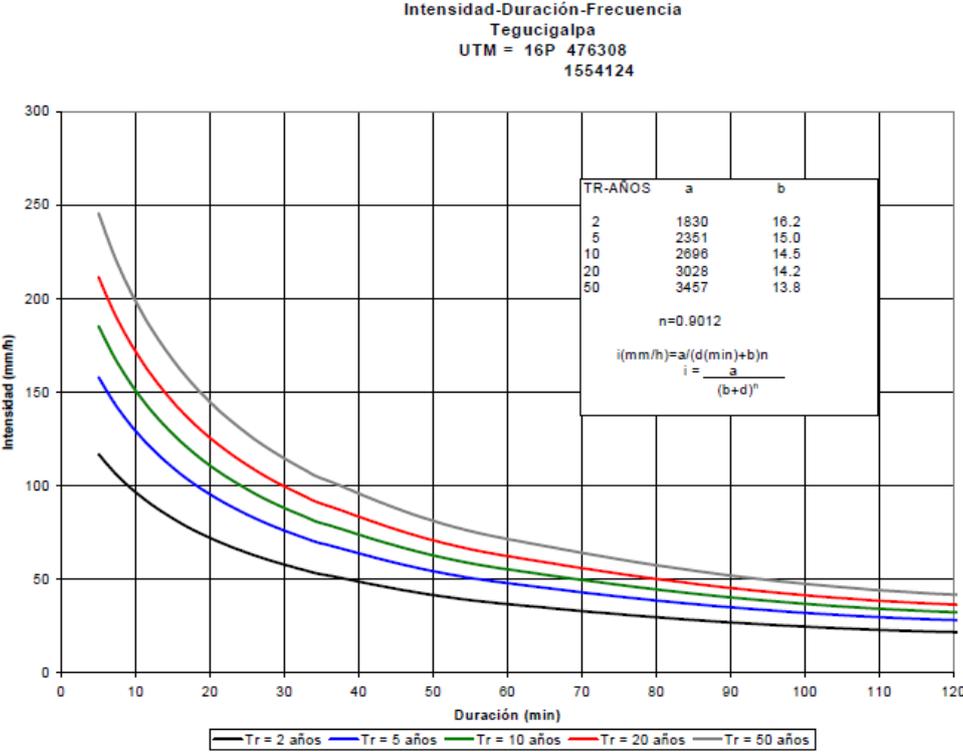
microcuenca en específico. Para las áreas con un flujo local no fue necesario realizar dicho cálculo ya que no poseen una escorrentía concentrada, por lo cual se tomó un Tc mínimo de cinco minutos para todas estas cuencas, tomando en cuenta el pequeño tamaño de las cuencas y sus pendientes. La tabla 94 demuestra los cálculos realizados en Excel, pero se debe considerar que todos los valores de Tc fueron redondeados a un mínimo de 5 minutos. El mínimo del tiempo de concentración es de cinco minutos ya que los pluviógrafos obtienen valores de intensidad a un intervalo de cinco minutos, debido a esto, si se utilizaran valores de Tc menores a cinco minutos, se estaría extrapolando fuera de las curvas IDF, obteniendo valores que podrían no ser precisos.

Las casillas color azul pertenecen a las cuencas de flujo concentrado y las de color rosado a las áreas de flujo local.

Tabla 94. Cálculo de tiempo de concentración para cada subcuenca

Área de flujo	L max (m)	S (m/m)	Tc (min)	Tc Red. (min)
1	-	-	-	5
2	550.96	0.30	3.97	5
3	-	-	-	5
4	592.82	0.29	4.25	5
5	-	-	-	5
6	-	-	-	5
7	180.51	0.32	1.65	5
8	-	-	-	5
9	-	-	-	5
10	304.74	0.33	2.43	5
11	-	-	-	5
12	363.12	0.37	2.68	5
13	-	-	-	5
14	393.89	0.30	3.08	5
15	-	-	-	5

Para calcular la intensidad de una cuenca, por lo general, se debe de ingresar a la curva IDF del sitio de estudio, el problema (en este caso) es que no se lograron conseguir las curvas IDF de Santa Lucía, por lo que se utilizó la curva IDF de la estación más cercana, la estación de Tegucigalpa, demostrada en la gráfica 7.



Gráfica 11. Curvas IDF Tegucigalpa

Fuente: (Salinas Núñez et al., 2001)

Al extraer los valores de a, b y n de la curva IDF de Tegucigalpa, se calcula la intensidad para cada una de las microcuenas, para calcular las intensidades de los periodos de retorno de 10 y 20 años. La tabla 95 demuestra los cálculos y resultados para las intensidades. Debido al tamaño y cercanía de las subcuenas, todas tienen el mismo valor de intensidad.

Tabla 95. Resultados de intensidades

Cuenca	i_{10} (mm/h)	i_{20} (mm/h)	Cuenca	i_{10} (mm/h)	i_{20} (mm/h)
1	185.41	210.48	8	185.41	210.48
2	185.41	210.48	9	185.41	210.48
3	185.41	210.48	10	185.41	210.48
4	185.41	210.48	11	185.41	210.48
5	185.41	210.48	12	185.41	210.48
6	185.41	210.48	13	242.16	276.23
7	185.41	210.48	14	242.16	276.23
-	-	-	15	242.16	276.23

Ya determinados los valores de C, I y A para cada de las áreas de flujo es posible utilizar el método racional para conocer los caudales.

Tabla 96. Cálculo de caudales

Área de Flujo	Area (m ²)	i_{10} (mm/h)	i_{20} (mm/h)	C	Q_{10} (m ³ /s)	Q_{20} (m ³ /s)
1	32698.78	185.41	210.48	0.34	0.57	0.64
2	44868.83	185.41	210.48	0.32	0.74	0.84
3	195.25	185.41	210.48	0.35	0.00	0.00
4	152144.71	185.41	210.48	0.33	2.58	2.92
5	26426.29	185.41	210.48	0.34	0.47	0.53
6	3528.33	185.41	210.48	0.35	0.06	0.07
7	6132.29	185.41	210.48	0.32	0.10	0.12
8	19258.24	185.41	210.48	0.35	0.35	0.39
9	45550.33	185.41	210.48	0.34	0.80	0.91
10	19195.28	185.41	210.48	0.33	0.32	0.37
11	27077.60	185.41	210.48	0.31	0.43	0.49
12	18387.48	185.41	210.48	0.31	0.29	0.33
13	35237.21	185.41	210.48	0.34	0.62	0.70
14	26023.26	185.41	210.48	0.34	0.46	0.52
15	910.81	185.41	210.48	0.35	0.02	0.02

4.3.13 REVISIÓN Y DISEÑO DE DRENAJE

El diseño del drenaje longitudinal y transversal se llevó a cabo utilizando los resultados obtenidos en la sección 4.3.12. Cabe mencionar que se utilizaron los caudales con intensidades para un periodo de retorno de 10 años para las cunetas y caudales con intensidades de 20 años para las alcantarillas. Se diseñaron las dimensiones de las cunetas y se revisó el cumplimiento del drenaje existente del camino. Las alcantarillas captan el agua de los cabezales existentes, los cuales son paralelos a las cunetas, debido a esto, no existe necesidad de alerones o rejillas que trasladen el agua lluvia de la cuneta a la alcantarilla.

4.3.13.1 *Cunetas*

Para llevar a cabo el dimensionamiento de las alcantarillas se tomó en cuenta una sección tipo de cunetas del Manual de Carreteras de Honduras como redimensionamiento. El primer paso fue conocer el estacionamiento de las cunetas en base a las alcantarillas existentes y a las áreas de flujo local. Al separar los tramos de cuneta fue posible contabilizarlos y otorgarle un número a cada uno. Se calculó la pendiente de cada tramo de cuneta en base a su distancia longitudinal y a la diferencia de elevaciones. La tabla 97 demuestra la información de cada tramo de cuneta. Algunas áreas de flujo local (por ejemplo el área de flujo 11) fueron divididas ya que aportaban caudal a más de una sola cuneta. Para determinar la dirección de flujo de cada cuneta fue necesario observar el perfil del camino diseñado en Civil 3D para conocer en cual alcantarilla se evacua el agua de cada cuneta.

Tabla 97. Ubicación y dimensionamiento de las cunetas

Cuneta	Area de flujo	Estacionamiento	Longitud (m)	Elev. 1 (msnm)	Elev. 2 (msnm)	Pendiente i (m/m)
	1	0+000 - 0+403.15	403.15	-	-	-
1	1.1	0+000 - 0+134.269	134.269	1586.197	1594.282	0.0602
2	1.2	0+134.269 - 0+403.15	268.881	1594.282	1585.626	0.0322
3	3	0+403.15 - 0+448.26	45.11	1585.626	1586.338	0.0158
	5	0+448.26 - 0+907.83	459.57	-	-	-
4	5.1	0+448.26 - 0+840.00	391.74	1586.338	1651.548	0.1665
5	5.2	0+840.00 - 0+907.83	67.83	1651.548	1664.493	0.1908
6	6	0+563.15 - 0+715.50	152.35	1606.38	1628.597	0.1458
7	8	0+907.83 - 1+220.39	312.56	1664.493	1705.0333	0.1297
	9	1+302.533 - 1+682.95	380.42	-	-	-
8	9.1	1+302.533 - 1465.37	162.84	1706.42	1691.184	0.0936
9	9.2	1465.37 - 1+682.95	217.58	1691.184	1666.736	0.1124
	11	1+682.95 - 2+075.15	392.2	-	-	-
10	11.1	1+682.95 - 1+857.15	174.2	1666.736	1647.844	0.1085
11	11.2	1+857.15 - 1+990.19	133.04	1647.855	1634.522	0.1001
12	11.3	1990.19 - 2+075.15	84.96	1634.522	1629.129	0.0635
13	13	2+075.15 - 2+277.38	202.23	1629.129	1611.733	0.086
14	15	2+277.38 - 2+313.74	36.36	1611.733	1608.11	0.0996

El siguiente paso por seguir es diseñar las dimensiones de las cunetas con la asistencia de la herramienta Solver de Excel. La ecuación por solucionar debe de igualar a 0 para obtener dimensiones funcionales. Los valores utilizados para el cálculo se demuestran en la tabla 98. El valor de n corresponde a un recubrimiento de tierra compactada, por lo tanto es de 0.020, el valor de B es 0 ya que las cunetas son de forma triangular y la altura del tirante es de 0.2 m. Las pendientes de la cuneta cercanas al camino son de 3:1 en todo el tramo y para el primer tramo se obtuvo un valor de 1:1 para la pendiente del terreno natural y de 3:1 para el segundo tramo, debido a que por la inspección de la zona se llegó a concluir que el terreno del segundo tramo es menos accidentado que el primero.

Tabla 98. Método Newton-Raphson

Cuneta	Pend. i (m/m)	Q 10 (m ³ /s)	n	B (m.)	H (m.)	m1	m2	Ecuación
1	0.06	0.19	0.02	0	0.2	3	1	0
2	0.03	0.38	0.02	0	0.2	3	1	0
3	0.02	0.00	0.02	0	0.2	3	1	0
4	0.17	0.40	0.02	0	0.2	3	1	0
5	0.19	0.07	0.02	0	0.2	3	1	0
6	0.15	0.06	0.02	0	0.2	3	1	0
7	0.13	0.35	0.02	0	0.2	3	1	0
8	0.09	0.34	0.02	0	0.2	3	3	0
9	0.11	0.46	0.02	0	0.2	3	3	0
10	0.11	0.19	0.02	0	0.2	3	3	0
11	0.10	0.15	0.02	0	0.2	3	3	0
12	0.06	0.09	0.02	0	0.2	3	3	0
13	0.09	0.62	0.02	0	0.2	3	3	0
14	0.10	0.02	0.02	0	0.2	3	3	0

El siguiente dato por calcular es el valor de la velocidad en cada una de las cunetas, utilizando la expresión de Manning, ecuación 9, la cual toma en cuenta el área de la sección de escurrimiento, el perímetro mojado, la pendiente de la cuneta y su factor de rugosidad n. Si la velocidad de escurrimiento excede el valor de 1.52 m/s, será necesario construir obras que reduzcan estas velocidades. La siguiente tabla demuestra los calculo llevados a cabo y el cumplimiento de las velocidades de escurrimiento.

Tabla 99. Cálculo de velocidad de escurrimiento

Cuneta	i (m/m)	n	A (m ²)	P (m)	V (m/s)
1	0.0602	0.02	0.059	0.76	2.23
2	0.0322	0.02	0.059	0.76	1.63
3	0.0158	0.02	0.059	0.76	1.14
4	0.1665	0.02	0.059	0.76	3.71
5	0.1908	0.02	0.059	0.76	3.97
6	0.1458	0.02	0.059	0.76	3.47
7	0.1297	0.02	0.059	0.76	3.28
8	0.0936	0.02	0.085	0.94	3.08
9	0.1124	0.02	0.085	0.94	3.38
10	0.1085	0.02	0.085	0.94	3.32
11	0.1001	0.02	0.085	0.94	3.19
12	0.0635	0.02	0.085	0.94	2.54
13	0.0860	0.02	0.085	0.94	2.95
14	0.0996	0.02	0.085	0.94	3.18

Al determinar que la mayoría de las cunetas no cumplen con la velocidad mínima se calculó la cantidad de retardadores necesarios en cada tramo de cuneta. Los cálculos para determinar la distancia entre cada retardador y la cantidad de ellos se demuestran en la tabla 100. La altura de cada retardador es de 0.5 m, siendo el valor máximo según el Manual de Carreteras de Honduras.

Tabla 100. Cálculo de longitud entre retardador

Cuneta	LR teórica (m)	Retardadores T	Retardadores Red.	LR Real (m)
1	8.303586889	16.17	17	7.9
2	15.53148105	17.312	18	14.9
4	3.003680417	130.42	131	3.0
5	2.619930475	25.89	26	2.6
6	3.42868074	44.434	45	3.4
7	3.854929539	81.0806	82	3.8
8	5.343922289	30.472	31	5.3
9	4.449852749	48.896	49	4.4
10	4.610417108	37.784	38	4.6
11	4.993244258	26.644	27	4.9
12	7.876877434	10.786	11	7.7
13	5.812543113	34.792	35	5.8
14	5.017940933	7.246	8	4.5

4.3.13.2 Alcantarillas

Para determinar si cada una de las alcantarillas existentes logran transportar los caudales de la zona calculados previamente, fue necesario conocer los diámetros de cada alcantarilla y luego comparar su área con el área obtenida de la ecuación empírica de Talbot. La tabla 101 se muestra el dimensionamiento y ubicación de las alcantarillas existentes y el caudal que deben de trasladar. Cabe mencionar que la alcantarilla 2 realmente contaba con dos tuberías, siendo una de diámetro de 44" y la otra de 36".

Tabla 101. Caudal de diseño, ubicación y dimensiones del alcantarillado existente

No. Alcantarilla	Estación	Diámetro (m)	Area alc. (m ²)	Q de diseño
1	0+403.15	0.914	0.656	1.22
2	0+448.26	0.914, 1.118	1.638	3.33
	0+840.00	0.61	0.292	0.07
4	0+907.83	0.61	0.292	0.46
5	1+465.37	0.61	0.292	0.34
6	1+682.95	0.61	0.292	0.83
7	1+857.15	0.61	0.292	0.19
8	1+990.19	0.914	0.656	0.15
9	2+075.15	1	0.785	0.43
10	2+277.38	0.914	0.656	1.14

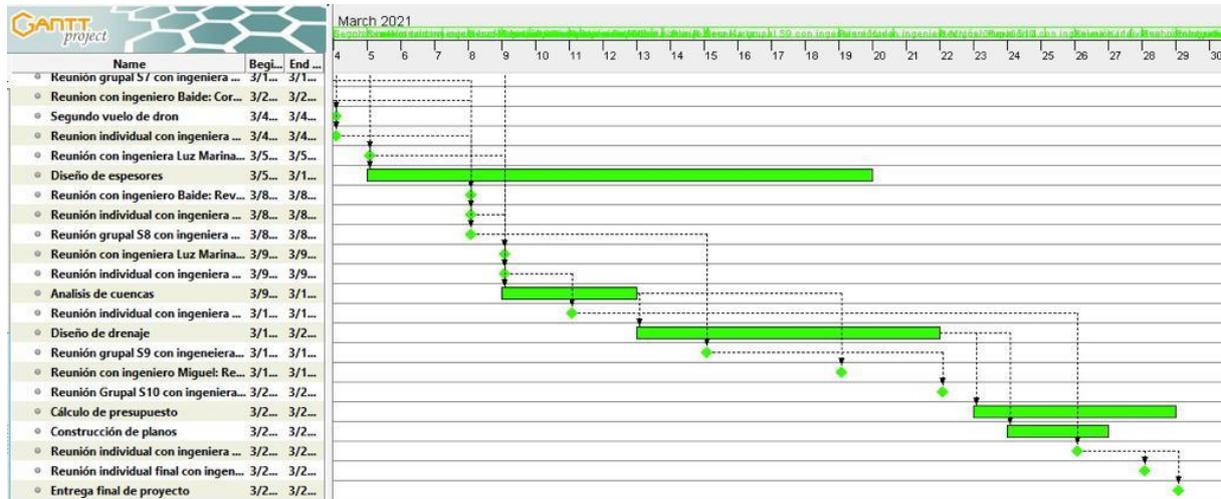
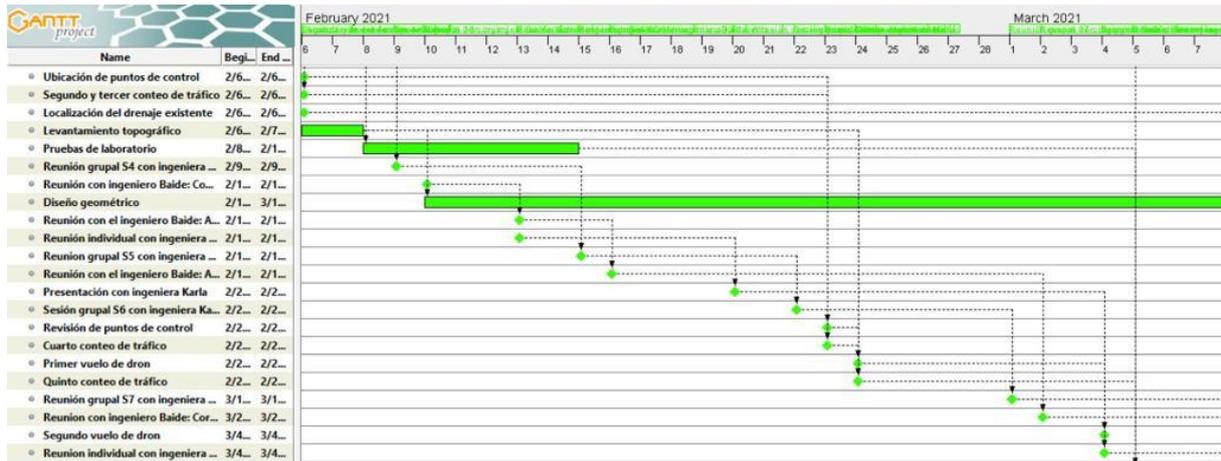
Para aplicar la fórmula de Talbot se necesita conocer el área de flujo que aportará a cada drenaje y un valor c que corresponde a 0.8 para una zona "con mucho lomerío."

Tabla 102. Verificación de cumplimiento de áreas según fórmula de Talbot

No. Alcantarilla	Área de flujo (m ²)	Área de flujo (Ha)	Diámetro (m)	Área alc. (m ²)	C	Área de Talbot
1	54053.95	5.41	0.914	0.656	0.8	0.519
2	219539.45	21.95	0.914, 1.118	1.638	0.8	1.485
3	3900.37	0.39	0.61	0.292	0.8	0.072
4	25390.53	2.54	0.61	0.292	0.8	0.294
5	19497.97	1.95	0.61	0.292	0.8	0.242
6	45247.65	4.52	0.61	0.292	0.8	0.454
7	12026.82	1.20	0.61	0.292	0.8	0.168
8	9185.12	0.92	0.914	0.656	0.8	0.137
9	24253.14	2.43	1	0.785	0.8	0.285
10	61260.47	6.13	0.914	0.656	0.8	0.570

Las alcantarillas 4 y 6 no cumplen con su área mínima, por lo cual se decidió utilizar una tubería de mayor diámetro del mercado.

4.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 UBICACIÓN DE BANCO DE MATERIAL SELECTO

El segundo tramo del camino vecinal, en la Est. 2+280, se recolectó una quinta muestra de suelo que proviene de un banco de material selecto.

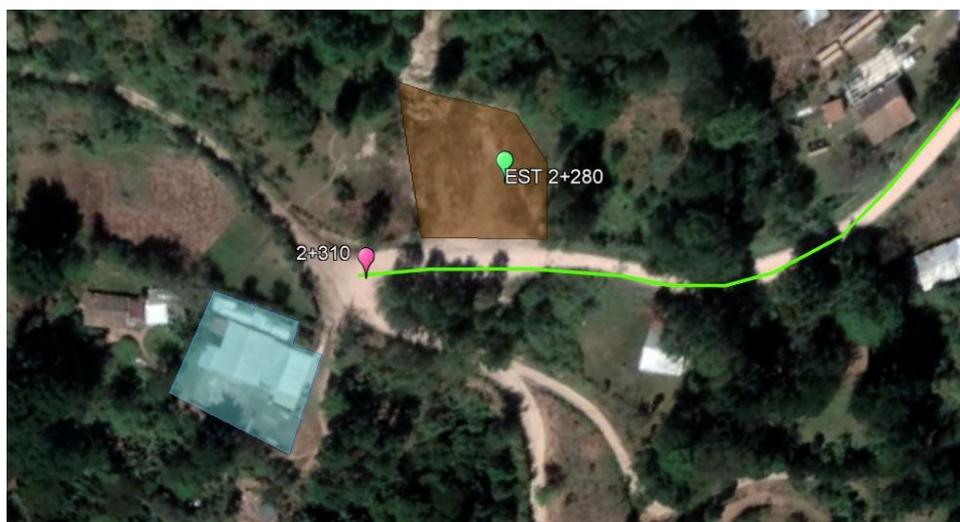


Ilustración 35. Ubicación del banco de material selecto EST 2+280

Fuente: elaboración propia mediante Google Earth

5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

5.2.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tabla 103. Resultados finales de ensayos de laboratorio

Estación	Límite líquido	Índice de plasticidad	Pase #10	Pase #40	Pase #200	Índice de grupo
Est. 0+060	44%	14%	74.74%	58.66%	47.84%	-
Est. 0+110	38%	14%	99.68%	94.89%	92.32%	-
Est. 1+370	48%	23%	97.96%	88.82%	76.65%	18
Est. 1+670	37%	11%	54.07%	34.72%	23.43%	-
Est. 2+280	26%	7%	62.73%	42.87%	29.57%	-

5.3 CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Se clasificó el suelo mediante el método AASHTO ya que este método se usa principalmente para la clasificación de las capas de las carreteras. Para clasificar el suelo con este método, se debe saber el porcentaje de pase del tamiz #10, #40, #200, límite líquido e índice de plasticidad. La tabla debe leerse de izquierda a derecha.

Tabla 104. Resultados finales mediante clasificación método AASHTO

Estación	Clasificación AASHTO
Est. 0+060	A-7-5
Est. 0+110	A-6
Est. 1+370	A-7-6 (18)
Est. 1+670	A-2-6
Est. 2+280	A-2-4

Los suelos que se clasifican en los grupos A-1, A-2, A-3 se consideran como materiales granulares, únicamente, la Est. 1+670 y 2+280 presentan características granulares. Por otra parte, los suelos que se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 son principalmente suelos limosos y arcillosos, y se puede apreciar en la tabla 104 que tres de las cinco muestras de suelo caen bajo la clasificación de estos grupos.

5.4 DISEÑO GEOMÉTRICO

Para ambos tramos carreteros se definió la topografía como un terreno montañoso debido a que todas sus pendientes rondan entre el 25% y 50%. Se obtuvo una velocidad directriz de 30 km/h para ambos tramos. Se determinó un radio mínimo de 27.29 m considerando los límites de propiedad privada, no obstante el radio mínimo de la curva doble ubicada entre las estaciones 0+500 y 0+600 no se vio alterada para el cumplimiento de este mismo, se decidió colocar una señalización de prevención para indicar la existencia de una curva doble cerrada.

Tabla 105. Datos finales del alineamiento vertical y horizontal

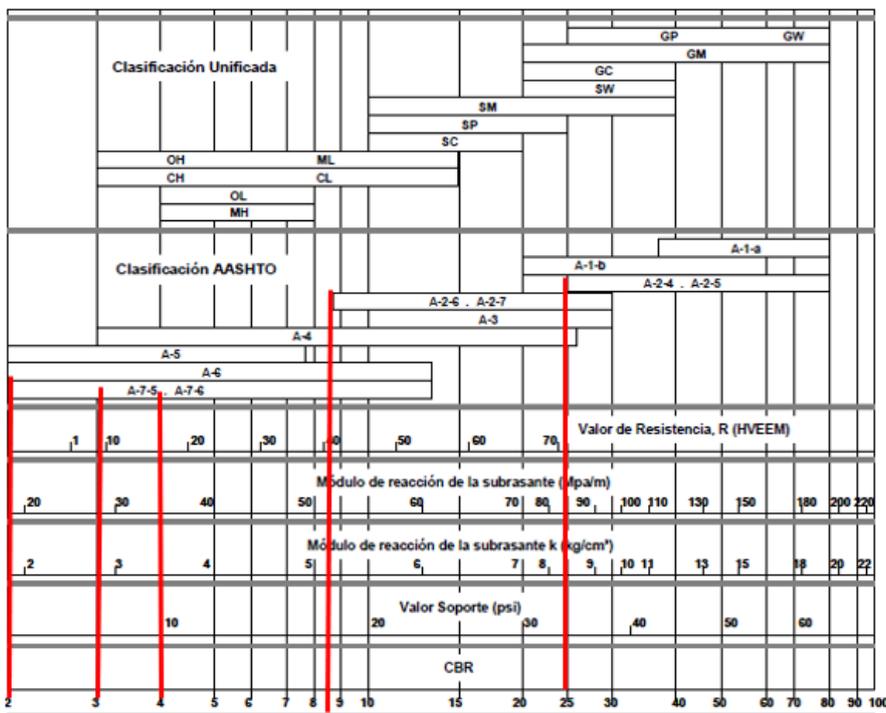
Elementos de diseño			
Alineamiento Horizontal		Alineamiento Vertical	
Topografía	Montañosa	Pendiente máxima	8%
Velocidad	30 km/h	Factor K (curvas cóncavas)	
Peralte	8%	4	
Radio mínimo	27.29 m	Factor K (curvas convexas)	
Grado de curvatura	42°	50	

5.5 FACTORES DE DISEÑO

5.5.1 CÁLCULO DE CBR

El cálculo de CBR se realizó mediante una relación del tipo de suelo y los diferentes ensayos de laboratorio. Conociendo la clasificación de las cinco muestras de suelo, se procede a determinar el CBR utilizando la siguiente tabla:

Tabla 106. Determinación del CBR



Se elabora una gráfica "CBR vrs Percentil" en donde en el eje X se coloca el CBR y en el eje Y se coloca el percentil para obtener una relación y calcular el CBR de diseño para un percentil

de 80%. Para fines del proyecto, se calcula un CBR de diseño igual a 2.75% pero redondeado al entero mayor sería igual a 3%. Además, se escogió una gráfica potencial ya que tiene la mejor tendencia debido a que tiene el R² más alto.

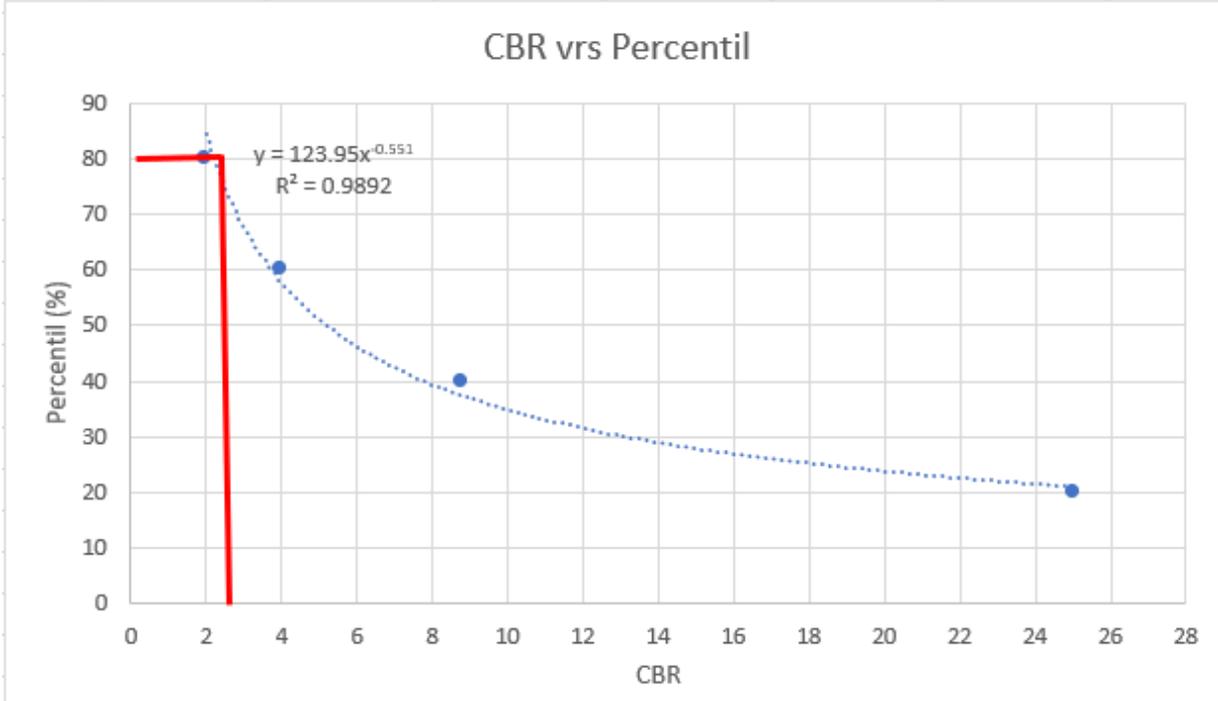


Gráfico 2. CBR de diseño (subrasante)

5.5.2 PESOS POR EJE

Para poder calcular los ejes equivalentes para el diseño de pavimento se debe determinar el eje peso del eje simple direccional y de tracción. Se determinan los pesos por eje para un vehículo tipo C2 y C3 con la siguiente tabla:

Tabla 107. Límites de peso por eje para camiones C2 y C3

Tipo de vehículo	Eje simple direccional (Ton)	Eje simple (Ton)	Doble rueda (Ton)
C2	5.0	10	-
C3	5.0	-	16.50

5.5.3 CÁLCULO DE ESAL

Para poder calcular los ESAL diarios se utilizó un peso por eje de 5 Ton y 10 Ton para un vehículo C2 y 5 Ton y 16.5 Ton para un vehículo C3. Como resultado final se obtuvo la cantidad de repeticiones del eje de carga para un periodo determinado, en este caso se calcularon los ESAL diarios y de vida útil (20 años).

Tabla 108. Datos para cálculo de ESAL

Tipo de vehículo	Factor f	C	Fd	Fc
C2	2.55	32.03	0.5	1
C3	2.07			

Tabla 109. Resultado final de cálculo de ESAL vida útil

ESAL diario	64.40
ESAL de vida útil	376,461.876

5.5.4 DISEÑO DE ESPESORES UTILIZANDO EL MÉTODO PCA Y PROGRAMA PAVEMENT DESIGNER

Se calculó el espesor de losa de concreto hidráulico utilizando el método PCA. Para el tramo 1 se diseñó un espesor de losa de 22 cm con un espesor de subbase de 10cm, a diferencia del tramo 2, el espesor de losa resultó de 21 cm con un espesor de subbase de 10cm. Con la ayuda del programa Pavement Designer, se ingresaron los datos de porcentaje de camiones por día, tipo de carretera, CBR de diseño, tasa de crecimiento, espesor de subbase, y resistencia a la compresión del concreto para calcular el espesor de la losa para ambos tramos.

Tabla 110. Resultados de espesores método PCA y Pavement Designer

Método	Est. 0+000- Est.1+300	Losa	Subbase	Espaciamiento entre juntas	Pavement Designer	Est. 0+000- Est.1+300	Losa	Subbase	Espaciamiento entre juntas
		PCA	22 cm	10 cm			528 cm	14 cm	10 cm
	Est. 1+300- Est. 2+280	21 cm	10 cm	504 cm		Est. 1+300- Est. 2+280	13 cm	10 cm	304.8 cm

5.6 ANÁLISIS DE CUENCAS

Posterior a la delimitación de cuencas se clasificaron 6 áreas de flujo concentrado en donde una resultó ser una subcuenca y las cinco restantes microcuencas, esta clasificación depende del área total del área de flujo en hectáreas en donde una subcuenca tiene un área de 20-50 Ha y una microcuenca tiene menos de 20 Ha. Así mismo, se lograron identificar nueve áreas de flujo local.

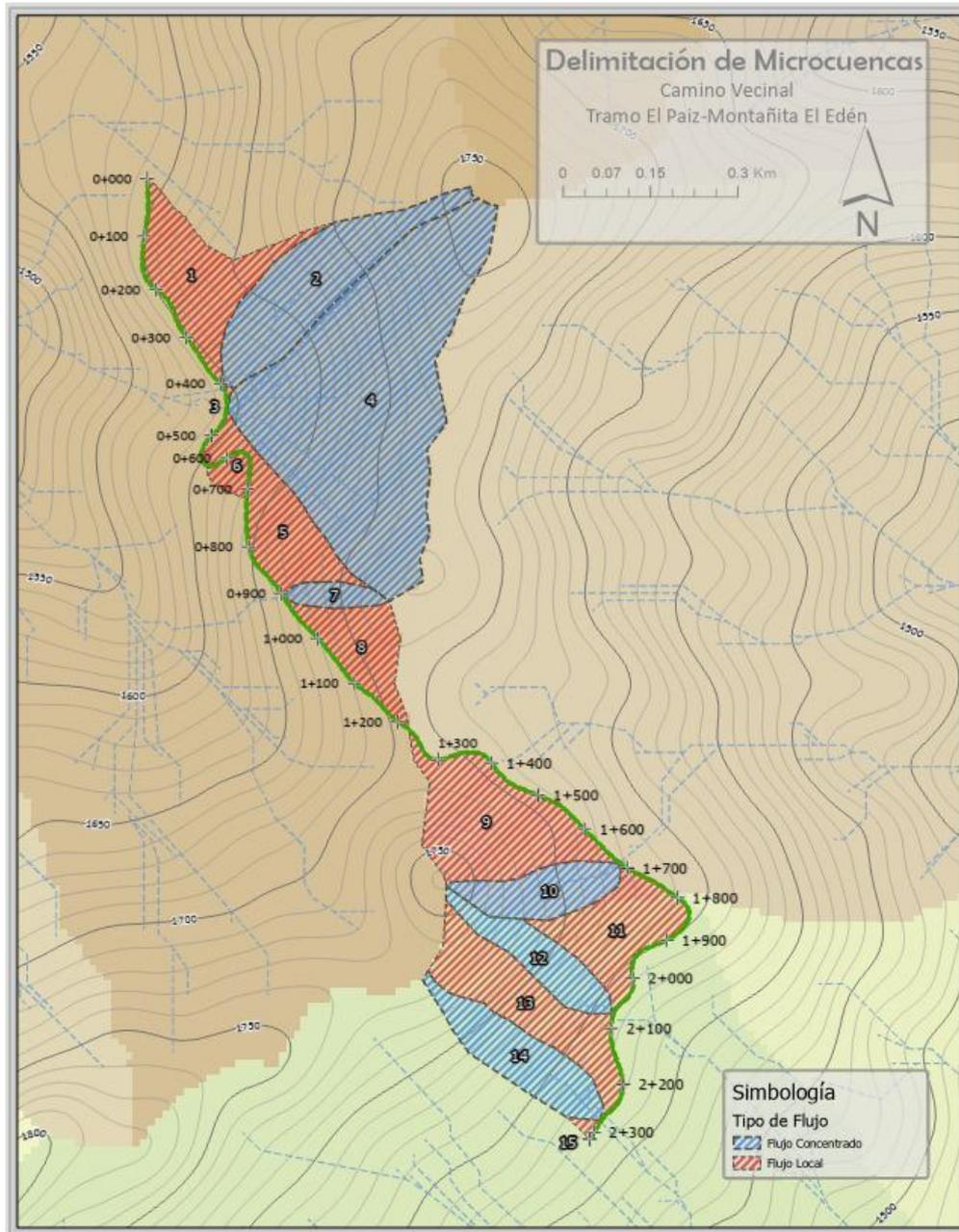


Ilustración 36. Delimitación de microcuencas

Fuente: ArcGIS

Tabla 111. Datos de las áreas de flujo del proyecto

Área de Flujo	Estacionamiento	Área (m ²)	Área (Ha)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₂₀ (m ³ /s)
Subcuencas					
4	0+448.26	152144.71	15.21	2.576	2.924
Microcuencas					
2	0+403.15	44868.83	4.49	0.743	0.843
7	0+907.83	6132.29	0.61	0.468	0.531
10	1+682.95	19195.28	1.92	0.324	0.368
12	2+075.15	18387.48	1.84	0.292	0.332
14	2+277.38	26023.26	2.60	0.462	0.524
Áreas de flujo concentrado					
1	0+000 - 0+403.15	32698.78	3.27	0.567	0.644
3	0+403.15 - 0+448.26	195.25	0.02	0.004	0.004
5	0+448.26 - 0+907.83	26426.29	2.64	0.468	0.531
6	0+563.15 - 0+715.50	3528.33	0.35	0.064	0.072
8	0+907.83 - 1+220.39	19258.24	1.93	0.064	0.072
9	1+226.81 - 1+682.95	45550.33	4.56	0.802	0.910
11	1+682.95 - 2+075.15	27077.60	2.71	0.430	0.489
13	2+075.15 - 2+277.38	35237.21	3.52	0.616	0.700
15	2+277.38 - 2+313.74	910.81	0.09	0.016	0.019

5.7 DISEÑO DE DRENAJE LONGITUDINAL

Se ubicaron cunetas de acuerdo con la topografía en la mayor longitud del lado izquierdo del tramo 1. Entre la estación 0+500 y 0+600 se colocaron cunetas en ambos lados debido a que es una curva doble con pendiente de 18%. Para el tramo 2, se consideró la ubicación de cunetas en el lado derecho del camino. Debido al incumplimiento de velocidades de escurrimiento máximas, la mayoría de las cunetas deben de contar con retardadores.

Tabla 112. Datos de retardadores por tramo

Cuneta	Longitud (m)	Retardadores	LR (m)
1	134.269	17	7.9
2	268.881	18	14.9
3	45.11	-	-
4	391.74	131	3.0
5	67.83	26	2.6
6	152.35	45	3.4
7	312.56	82	3.8
8	162.84	31	5.3
9	217.58	49	4.4
10	174.2	38	4.6
11	133.04	27	4.9
12	84.96	11	7.7
13	202.23	35	5.8
14	36.36	8	4.5

5.8 REVISIÓN DE ALCANTARILLADO EXISTENTE

Al comparar los diámetros de las alcantarillas con el área calculada utilizando la fórmula de Talbot se concluye que el diámetro de las alcantarillas No. 4 y 6 no cumplen, por lo tanto, se decidió incrementar sus diámetros.

No. Alcantarilla	Estación	Diámetro (m)	Diámetro (in)
1	0+403.15	0.914	36.0
2	0+448.26	0.914, 1.118	36.0, 44.0
3	0+840.00	0.61	24.0
4	0+907.83	0.762	30.0
5	1+465.37	0.61	24.0
6	1+682.95	0.762	30.0
7	1+857.15	0.61	24.0
8	1+990.19	0.914	36.0
9	2+075.15	1	39.4
10	2+277.38	0.914	36.0

5.9 SEÑALIZACIÓN

Para poder brindarles una mayor seguridad a los usuarios se ha diseñado la señalización horizontal y vertical para el tramo carretero de "El Paiz- Bellaco- Escuela Marco Aurelio Soto". Para la señalización horizontal, se colocaron rayas separadoras continuas a lo largo de ambos tramos. Para la señalización vertical se tiene lo siguiente:

Tabla 113. Señalización vertical

Señalización	Estación
Desvío	1+300
Velocidad	0+017
Precaución	0+460,0+473.51,0+680, 0+870,1+190,1+308, 1+430,1+811
Peatón	1+269
Zona escolar	2+290

5.10 LEVANTAMIENTO AERO-FOTOGRAMÉTRICO

Se colocó una imagen satelital proveniente de Google Earth, y sobre ella misma se ha colocado la ortofoto para demostrar la diferencia de precisión que existe entre ambas imágenes.



Ilustración 37. Levantamiento Aero-fotogramétrico del tramo carretero

5.11 PRESUPUESTO

Se realizó el cálculo de presupuesto para un pavimento rígido con espesor de 22 cm para el tramo 1 y un espesor de 21 cm para el tramo 2 utilizando como referencia los rendimientos y desperdicios del Fondo de Inversión Social (FHIS). En cuanto a los precios de materiales, mano de obra, herramienta y equipo, se utilizó la revista de la Cámara Hondureña de la Industria de la Construcción (CHICO). En la siguiente tabla se muestra un resumen del presupuesto total del pavimento rígido por actividad.

Tabla 114. Presupuesto final del proyecto

Proyecto:	DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.				
Nº	Actividad	Unidad	Cantidad	PU	Total
1	Levantamiento topográfico	km	2.31	L 6,268.00	L 14,479.08
2	Corte de material	m ³	11381.00	L 48.03	L 546,629.43
3	Relleno de material	m ³	10686	L 240.46	L 2,569,512.82
4	Conformación de subrasante	m ³	6201	L 10.88	L 67,491.06
5	Señalización horizontal	ml	4620	L 12.60	L 58,212.00
6	Señalización vertical	und	14	L 378.75	L 5,302.50
7	Retardadores	und	518	L 92.05	L 47,680.34
8	Alcantarilla de hormigón 30"	ml	2	L 1,458.50	L 2,917.00
9	Pavimento rígido, f'c=4000psi e= 22cm	m ³	786.5	L 3,916.98	L 3,080,700.84
10	Pavimento rígido, f'c=4000psi e= 21cm	m ³	551.46	L 3,916.98	L 2,160,055.03
11	Subbase e= 10 cm	m ³	2.31	L 1,102.10	L 2,545.85
				Total	L 8,555,525.95

VI. CONCLUSIONES

1. Se ha realizado un levantamiento topográfico para el tramo carretero "El Paiz - Bellaco - Montañita El Edén", que ha resultado con una longitud de 2.31 km, a partir de la Est 0+000 hasta Est. 2+313. Se ha clasificado el tramo carretero como un terreno tipo montañoso debido a que el porcentaje de pendiente da como resultado 8%. En cuanto a la velocidad directriz, para ambos tramos se ha considerado una velocidad de 30 km/h y se ha determinado un radio mínimo de 27.29 m.
2. Se ha clasificado el suelo mediante el método AASHTO de donde ha resultado que el suelo es limoso-arcilloso para las estaciones 0+060 (A-7-5), 1+110 (A-6) Y Est. 1+370 (A-7-6 (18)) y granular para las estaciones 1+670 (A-2-6) y 2+280 (A-2-4), este último corresponde al Banco de Material Selecto, lo que ha influido para el cálculo de CBR de diseño y espesor de pavimento rígido.
3. Se ha realizado el análisis de conteo vehicular, y se ha calculado el porcentaje de camiones tipo C2 y C3 que transitan por "El Paiz – Bellaco – Escuela Marco Aurelio Soto". Para el tramo "El Paiz – Bellaco" el tráfico promedio diario ha dado como resultado un 15% de camiones, y para el tramo "Bellaco – Escuela Marco Aurelio Soto" el tráfico promedio diario ha resultado un 6% de camiones. Con la información mencionada previamente se han determinado las cantidades pronosticadas de repeticiones de los ejes de carga diarios y de vida útil, con un periodo de diseño equivalente a 20 años, información que se ha utilizado para el diseño de los espesores para ambos tramos carreteros.
4. Se ha calculado el espesor del pavimento rígido mediante el método PCA y el programa Pavement Designer. Para el tramo 1, se ha calculado un espesor de losa de concreto hidráulico de 22 cm, con un espesor de subbase de 10 cm, para el tramo 2; un espesor de losa de concreto hidráulico de 21 cm, con espesor de subbase de 10 cm, utilizando el método PCA. Con el programa Pavement Designer, se ha calculado un espesor de 14 cm para la losa de concreto hidráulico y 10 cm para el espesor de subbase para tramo 1, Para el segundo tramo, se ha calculado un espesor de losa de concreto de 13 cm y 10 cm de subbase. Los espesores que se han utilizado para fines del proyecto fueron los espesores resultantes del método PCA.

5. Se han medido los diámetros de las alcantarillas existentes y se ha calculado el caudal de diseño para cada una, se ha verificado la capacidad de evacuar el caudal proveniente de las cunetas, subcuencas y microcuencas, de donde se ha determinado que dos estructuras no han cumplido con el área mínima, por lo que se ha incrementado el diámetro de la tubería tomando en cuenta dimensiones comerciales. Se han considerado para el drenaje longitudinal los caudales que provienen de las áreas de flujo local, de donde ha resultado que las cunetas serán triangulares no revestidas para ambos tramos carreteros. Asimismo, se han ubicado retardadores en las cunetas para evitar que altas velocidades de escurrimiento causen arrastre de suelo o azolvamiento.
6. Se han calculado las fichas de costos unitarios para el diseño de pavimento rígido para lo que se ha utilizado el manual de rendimientos del Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS), así como la revista de la Cámara Hondureña de la Industria de la Construcción (CHICO) III edición 2020 para obtener los precios de los materiales, mano de obra, herramienta y equipo, de donde ha resultado un costo directo para el proyecto de L8,555,525.95, con un costo de L. 3,719,793. 89 por kilómetro.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar una revisión periódica de las alcantarillas para identificar la necesidad de llevar a cabo trabajos de limpieza, de manera que se cumpla la vida útil tanto de las estructuras como de la estructura de la carretera, cuya vida útil dependerá en gran medida de la evacuación inmediata del agua lluvia.
2. Definir un acabado rugoso como detalle constructivo para los tramos carreteros cuya pendiente sea mayor que 8%, para facilitar la circulación de los vehículos que no cuentan con doble tracción.
3. Propiciar el espacio y equipo de laboratorio para que los alumnos puedan realizar el ensayo de CBR con el propósito de lograr una mayor precisión en el cálculo de los ESAL y consecuentemente, en el diseño de los espesores para pavimento rígido.
4. Pavimentar el acceso hacia la Escuela Marco Aurelio Soto.
5. Promover el uso de herramientas y equipo tecnológico.

Bibliografía

1. Badillo, E. J., & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de Suelos* (2nda ed., Vol. 1).
2. CONASET. (2012). *Demarcaciones* (p. 54).
https://www.conaset.cl/manualsenalizacion/document/capitulo3_Demarcaciones.pdf
3. COPACA. (1991). *MAUNAL INTERAMERICANO PARA EL CONTROL DEL TRANSITO MTC – OEA* (2nda ed.). Organización de los Estados Americanos.
<https://www.gub.uy/unidad-nacional-seguridad-vial/sites/unidad-nacional-seguridad-vial/files/documentos/publicaciones/Manual%20Interamericano%20de%20Dispositivos%20de%20Control.pdf>
4. Cordo, O. (1998). *Diseño de Pavimento Método AASHTO-93*.
https://www.academia.edu/34103801/DISENO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESPANOL_1_
5. Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*.
6. Crespo, C. (2004). *Vías de Comunicación* (3era ed.).
7. Das, B. M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4ta ed.). Cengage Learning.
https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das
8. E. Cheli, A. (2011). *Introducción a la Fotogrametría y su evolución* (1era ed.).
<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/libagr/index/assoc/HASH011b.dir/doc.pdf>
9. Giordani, C., & Leone, D. (2015). *Pavimentos* (p. 6). Universidad Tecnológica Nacional.
https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf
10. IGN. (2008). *Fotogrametría* (p. 4).
<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Fotogrametria.pdf>
11. IHCT. (2016). *Investigación Adaptación al cambio climático en los municipios de Sulaco, Victoria (Yoro), La Libertad y Las Lajas (Comayagua* (p. 32).
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://ihcit.unah.edu.hn/>

- dmsdocument/7187-4-informe-antropologia-pdf&ved=2ahUKEwi5mPCm6JfvAhWCq1kKHQw-D4cQFjAAegQIBBAD&usg=AOvVaw0lrxuB0RXbv1T1IICmgG-s
12. INE. (2018). *Santa Lucía, Francisco Morazán* (p. 5). <https://www.ine.gob.hn/V3/imag-doc/2019/08/Santa-Lucia-FM.pdf>
 13. INE. (2019). *Carreteras y Aeropuertos de Honduras 2015-2019* (p. 11). Instituto Nacional de Estadísticas. <https://www.ine.gob.hn/V3/imag-doc/2020/11/Carreteras-y-Aeropuertos-2019.pdf>
 14. Maidment, D., Te Chow, V., & W. Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada* (1era ed.). <https://wiac.info/doc-viewer>
 15. MTC. (2014). *Manual de Carreteras*. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3580.pdf
 16. Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Balance Hídrico Superficial* (p. 44). Sociedad Geográfica de Lima. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
 17. Poon Hung, C. (2014). *Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad* (sexta). <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/NUEVO-SENALAMIENTO/manualSenalamientoVialDispositivosSeguridad.pdf>
 18. Reyes, A. (s. f.). *Curvas horizontales y verticales* (p. 39). http://dicyg.fi-c.unam.mx:8080/areyes/apuntes/copy_of_CURVAS.pdf
 19. Salinas Núñez, A., Sánchez, M. de J., Zúniga Andrade, E., & Fúnez, J. (2001a). *Manual de Referencias Hidrológicas* (1era ed.). <https://pdfslide.net/documents/50534903-manual-de-referencias-hidrologicas-del-fhis1.html>
 20. Salinas Núñez, A., Sánchez, M. de J., Zúniga Andrade, E., & Fúnez, J. (2001b). *Manual de Referencias Hidrológicas Anexo I* (1era ed., Vol. 1).
 21. Santamaría Peña, J. (2011). *La Cartografía y las Proyecciones Cartográficas*. <http://www.gisandbeers.com/GeoBazar/Libros/SIG/La%20cartografia%20y%20las%20proyecciones%20cartograficas.pdf>

22. S.C.T. (1992). *Métodos Hidrológicos para Previsión de Esguimientos*.
<http://dimsec.com/wp-content/uploads/2017/08/METODOS-HIDROLOGICOS.pdf>
23. S.C.T. (2016). *Manual para obtener los Volúmenes de Tránsito en Carreteras*.
https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual_volumen_de_transito/Manual_volumenes__2016_v2.pdf
24. SIECA. (2010). *Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras*.
25. SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras* (3era ed.).
<https://interconecta.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/Manual%20Centroamericano%20de%20normas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20geométrico%20de%20carreteras%202011.pdf>
26. Sobrecases, S. (2009). *La Consistencia del Suelo* (p. 16). Escuela de Ingeniería Civil Ambiental. https://www.academia.edu/8023909/LA_CONSISTENCIA_DEL_SUELO
27. SOPTRAVI. (1996a). *Manual de Carreteras Tomo 2* (Vol. 2).
28. SOPTRAVI. (1996b). *Manual de Carreteras Tomo 3* (Vol. 3).
29. SOPTRAVI. (1996c). *Manual de Carreteras Tomo 6* (Vol. 3).
30. SOPTRAVI. (2006). *Red Oficial de Carreteras* (p. 224). Secretaría de Obras Públicas, Transporte, Y Vivienda. https://www.academia.edu/19245237/FONDO_VIAL
31. Tamices.es. (2014). *Como realizar un ensayo granulométrico* (p. 1).
<https://www.tamices.es/como-realizar-un-ensayo-granulometrico/>
32. UNIP. (2006). *California Bearing Ratio (CBR)* (p. 11).
<http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/MODOS%20OPERATIVOS/CBR.pdf>
33. UNITEC. (2019). *Manual de Laboratorio de Suelos* (p. 72). Universidad Tecnológica Centroamericana.

ANEXOS

Anexo 1. Acta de asesoramiento técnico 1

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

**Diseño de Pavimento de Camino Vecinal desde "El Paiz" hacia "Bellaco" y
Camino Rural Terciario Hasta la Escuela Marco Aurelio Soto.**

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO	N°: <u>1</u>
ASESOR: ING. LUZ MARINA FUNES MATUTE	
1. Ayuda con fuentes bibliográficas	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: _____

Anexo 2. Acta de asesoramiento técnico 2

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño de Pavimento Rígido para 1.7 Km del Camino Vecinal "El Paiz - Bellaco" y 0.6 Km del Camino Rural Terciario "Bellaco - Escuela Marco Aurelio Soto"

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO	Nº. 3
ASESOR: ING. LUZ MARINA FUNES MATUTE	
1.	29/1/21 Ing Luz Marina: chequeo de cunetas, fuentes bibliográficas, y marco teórico
2.	1/2/21 Ing Luz Marina: chequeo de objetivo general y específicos, marco teórico, organización de ensayos de laboratorio.
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIHO
	Fecha: <u>18/2/2021</u>

Anexo 3. Acta de asesoramiento técnico 3

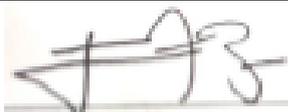
ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño de Pavimento Rígido para 1.7 Km del Camino Vecinal "El Paiz - Bellaco" y 0.6 Km del Camino Rural Terciario "Bellaco - Escuela Marco Aurelio Soto"

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO	Nº: <u>5</u>
ASESOR: ING. JULIO BAIDE	
1. 10/2/21 Ing Julio Baide: definición de radios, velocidad y diseño del alineamiento horizontal	
2. 13/2/21 Ing Julio Baide: diseño de alineamiento vertical	
3. 16/2/21 Ing Julio Baide: diseño de secciones transversales	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: <u>18/2/2021</u>

Anexo 4. Acta de asesoramiento técnico 4

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño de Pavimento Rígido para 1.7 Km del Camino Vecinal "El Paiz - Bellaco" y 0.6 Km del Camino Rural Terciario "Bellaco - Escuela Marco Aurelio Soto"

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO		Nº: 3
ASESOR: ING. LUZ MARINA FUNES MATUTE		
1.	29/1/21 Ing Luz Marina: chequeo de cunetas, fuentes bibliográficas, y marco teórico	
2.	1/2/21 Ing Luz Marina: chequeo de objetivo general y específicos, marco teórico, organización de ensayos de laboratorio.	
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: <u>18/2/2021</u>

Anexo 5. Acta de asesoramiento técnico 5

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño de 2.31 Km de Pavimento Rígido para el Camino Vecinal "El Paiz - Bellaco
- Escuela Marco Aurelio Soto", Santa Lucía, F.M.]

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO	Nº: 5
ASESOR: ING. JULIO BAIDE	
1. 10/2/21 Ing Julio Baide: definición de radios, velocidad y diseño del alineamiento horizontal	
2. 13/2/21 Ing Julio Baide: diseño de alineamiento vertical	
3. 16/2/21 Ing Julio Baide: diseño de secciones transversales	
4. _____	
5. _____	
6. _____	
7. _____	
8. _____	
9. _____	
10. _____	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: <u>18/2/2021</u>

Anexo 6. Acta de asesoramiento técnico 6

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño de 2.31 Km de Pavimento Rígido para el Camino Vecinal "El Paiz - Bellaco
- Escuela Marco Aurelio Soto", Santa Lucía, F.M.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO	Nº: <u>6</u>
ASESOR: ING. JULIO BAIDE	
1.	2/3/21 Ing Julio Baide: Correcciones de secciones y volúmenes
2.	8/3/21 Ing Julio Baide: Revisión de secciones
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
FIRMA DEL ASESOR SEIIO	Fecha: <u>18/2/2021</u>
	

Anexo 7. Acta de asesoramiento técnico 7

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño de 2.31 Km de Pavimento Rígido para el Camino Vecinal "El Paiz - Bellaco
- Escuela Marco Aurelio Soto", Santa Lucía, F.M.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO		Nº: <u>7</u>
ASESOR: ING. LUZ MARINA FUNES		
1.	5/3/21 Ing Luz Marina Funes: Inicio de diseño de espesor de pavimento rígido (Método PCA y programa Pavement Designer)	
2.	9/3/21 Ing Luz Marina Funes: Revisión de CBR	
3.	11/3/21 Ing. Luz Marina Funes: revisión de espesor tramo 1 y 2	
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: <u>18/2/2021</u>

Anexo 8. Acta de asesoramiento técnico 8

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño de 2.31 Km de Pavimento Rígido para el Camino Vecinal "El Paiz - Bellaco
- Escuela Marco Aurelio Soto", Santa Lucía, F.M.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO		Nº: 8
ASESOR: ING. Miguel Velásquez		
1.	11/3/21 Ing. Miguel Velásquez: Recomendaciones para cálculos hidrológicos	
2.	19/3/21 Ing. Miguel Velásquez: Revisión de intensidades (Curva IDF)	
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: <u>26/3/2021</u>

Anexo 9. Acta de asesoramiento técnico 9

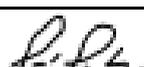
ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño de 2.31 Km de Pavimento Rígido para el Camino Vecinal "El Paiz - Bellaco
- Escuela Marco Aurelio Soto", Santa Lucía, F.M.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO		Nº: 9
ASESOR: ING. RAMÓN PAZ BARAHONA		
1.	A lo largo del proyecto nos brindó su atención y atendió nuestras consultas en conceptos hidrológicos. Con la ayuda de el , fue posible llevar a cabo todos los cálculos relacionados a la hidrología e hidráulica.	
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		SELLO Fecha: <u>24/3/2021</u>

Anexo 10. Acta de asesoramiento técnico 10

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Diseño de 2.31 Km de Pavimento Rígido para el Camino Vecinal "El Paiz - Bellaco
- Escuela Marco Aurelio Soto", Santa Lucía, F.M.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
LISSIE CAROLINA PADILLA ZEPEDA	11641344
MIGUEL ARMANDO PAZ UCLÉS	11641054

ASESORAMIENTO		05-10
ASESOR: ING. MIGUEL PAZ BARAHONA		
1.	A lo largo del proyecto nos brindó su atención y atendió nuestras consultas en sistemas de información con el programa ArcGIS. Los mapas creados en ArcGIS con la ayuda del Ing. Paz fueron de utilidad para los cálculos hidrológicos e hidráulicos.	
2.	Recomendaciones de presupuesto final.	
3.	Asistencia en las visitas y trabajo de campo.	
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		SELLO Fecha: _

Anexo 11. Estaciones del tramo carretero.



Ilustración 38. Est. 0+200 tramo 1



Ilustración 39. Est. 0+600 tramo 1



Ilustración 40. Est. 0+750 tramo 1



Ilustración 41. Est. 0+850 tramo 1



Ilustración 42. Est.1+300 desvío "Bellaco"



Ilustración 43. Est. 1+500 tramo 2



Ilustración 44. Est. 1+700 tramo 2



Ilustración 45. Est. 1+950 tramo 2



Ilustración 46. Est 2+280 (BMS)



Ilustración 47. Est. 2+300 Escuela Marco Aurelio Soto

Anexo 12. Actividades de campo



Ilustración 48. Extracción de muestra de suelo Est. 0+060

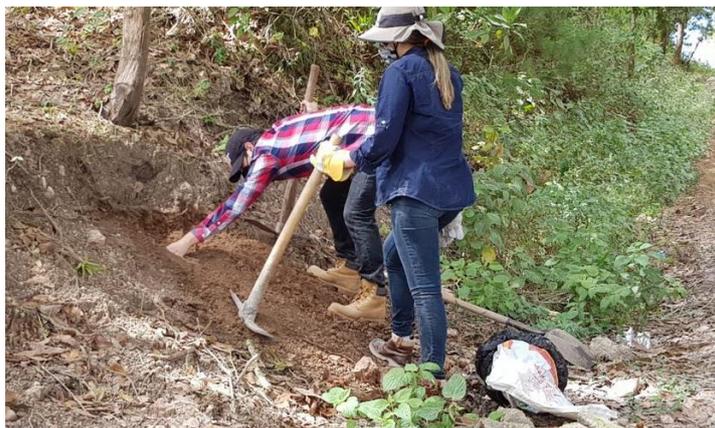


Ilustración 49. Extracción de muestra de suelo Est. 1+110



Ilustración 50. Extracción de muestra de suelo Est. 1+370



Ilustración 51. Extracción de muestra de suelo Est. 1+670



Ilustración 52. Extracción de muestra de suelo Est. 1+280



Ilustración 53. Levantamiento topográfico Est. 1+340



Ilustración 54. Levantamiento topográfico Est. 1+400



Ilustración 55. Levantamiento aero-fotogramétrico



Ilustración 56. Ensayo de límite líquido GeoConsult



Ilustración 57. Ensayo de límite plástico GeoConsult



Ilustración 58. Ensayo de peso específico GeoConsult (adicional)



Ilustración 59. Revisión de diámetro de la alcantarilla en la Est. 2+277



Ilustración 60. Revisión de diámetro de la alcantarilla en la Est. 2+075

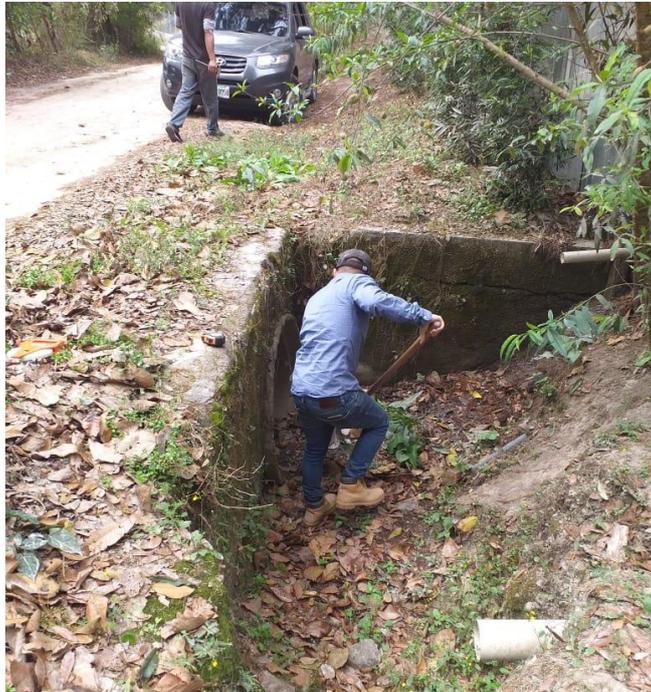


Ilustración 61. Limpieza de alcantarilla Est. 2+075 para cálculo de diámetro



Ilustración 62. Revisión de diámetro de la alcantarilla en la Est. 1+990



Ilustración 63. Doble alcantarilla Est. 1+990

Anexo 13. Red vial principal por tipo de calzada y departamento

Departamento	Total	Pavimentada		Material selecto		Tierra	
		Kilómetros	%	Kilómetros	%	Kilómetros	%
Total, nacional	16,862	3,882	100	10,172	100	2,807	100
Atlántida	692	249	6	400	4	42	2
Colón	775	187	5	429	4	159	6
Comayagua	893	226	6	564	6	102	4
Copán	833	253	7	381	4	199	7
Cortés	1,068	556	14	414	4	98	3
Choluteca	1,026	252	7	677	7	96	3
El Paraíso	1,712	166	4	961	99	585	21
Francisco Morazán	1,672	534	14	999	10	139	5
Gracias a Dios	406	0	0	323	3	84	3
Intibucá	1,036	157	4	538	5	342	12
Islas de la Bahía	101	66	2	21	0	14	1
La Paz	527	93	2	320	3	115	4
Lempira	728	98	3	501	5	129	5
Ocotepeque	490	116	3	300	3	74	3
Olancho	2,116	307	8	1,428	14	381	14
Santa Bárbara	1,323	251	6	925	9	147	5
Valle	577	116	3	376	4	85	3
Yoro	888	256	7	616	6	17	1

Fuente: (INE, 2015, p. 7)

Anexo 14. Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS)

Tabla 115. Asignación de símbolos de grupo SUCS

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo	
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW	
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^e$	GP	
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM	
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC	
	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW	
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^e$	SP	
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Arenas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM		
	Más de 12% finos ^{b,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC		
Suelos altamente orgánicos	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^f	CL	
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^f	ML	
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Límite líquido: secado $\frac{\text{Límite líquido: no secado}}{\text{Límite líquido: secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OL	OL	
		Orgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2) Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	CH MH	
				Límite líquido: secado $\frac{\text{Límite líquido: no secado}}{\text{Límite líquido: secado}} < 0.75$; vea la figura 4.2; zona OH	OH
	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$^c C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

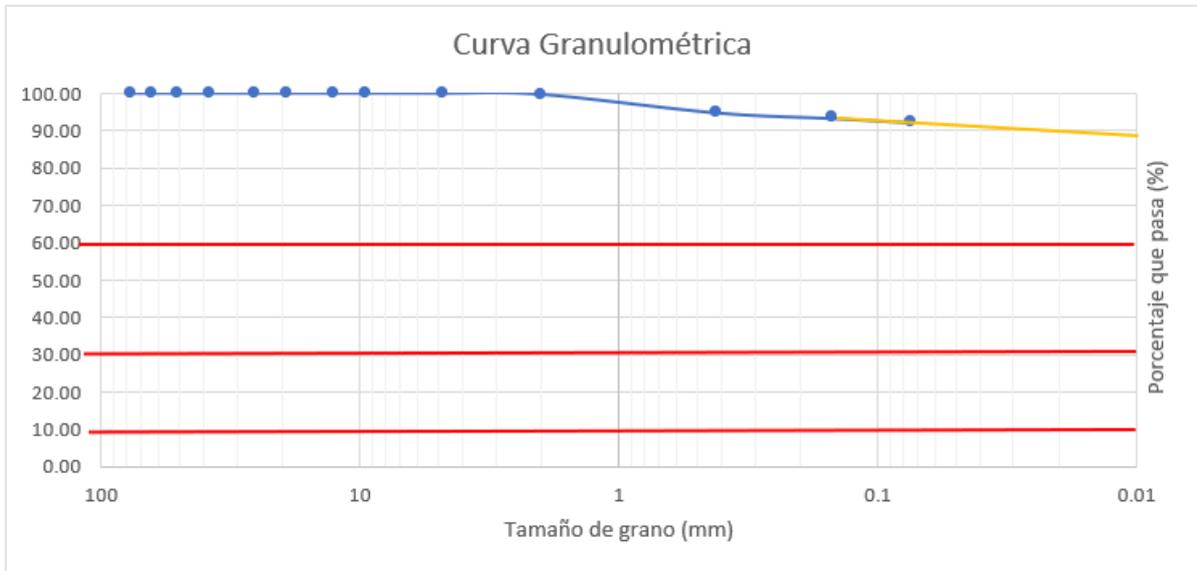
Fuente: (Das, 2013, p. 83)

Tabla 116. Contenido de humedad para límite plástico Est. 0+060

Límite Plástico		
Num. Vaso	D.M	P.I
Pt+sh	19.98	19.75
Pt+ss	18.23	18.06
Pt	12.37	12.43
%w	29.86	30.02

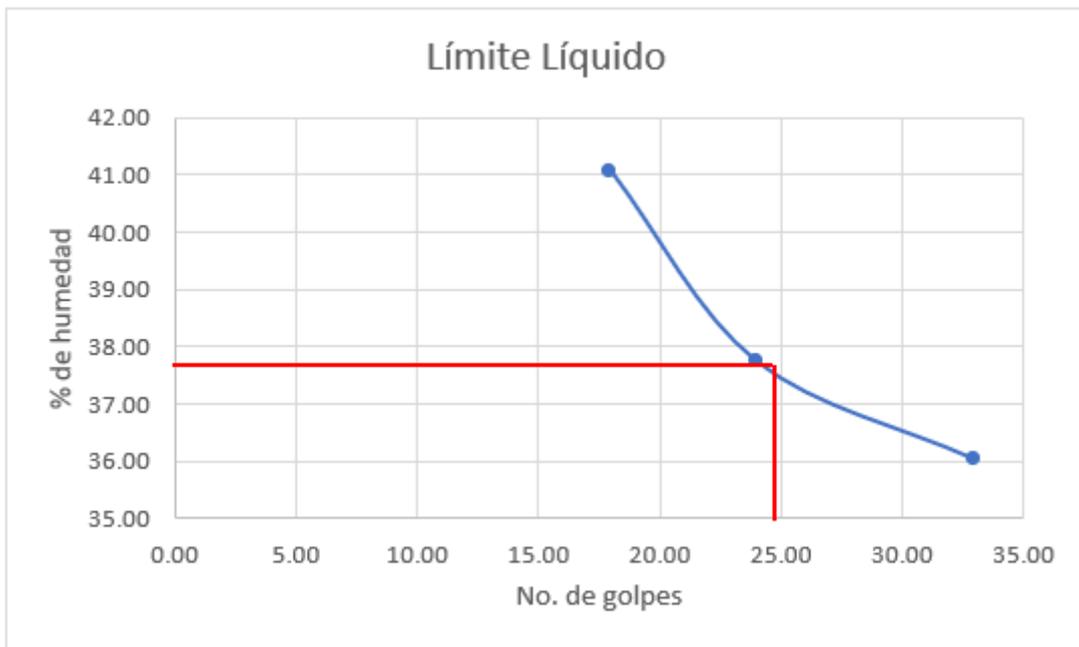
Tabla 117. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 0+060

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
<i>Grupo de clasificación</i>	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$				



Gráfica 14. Curva granulométrica de la Est. 1+110

En este caso, los valores D60, D30, Y D10 son igual a 0.01



Gráfica 15. Límite líquido Est. 1+110

Tabla 118. Contenido de humedad para límite plástico Est. 1+110

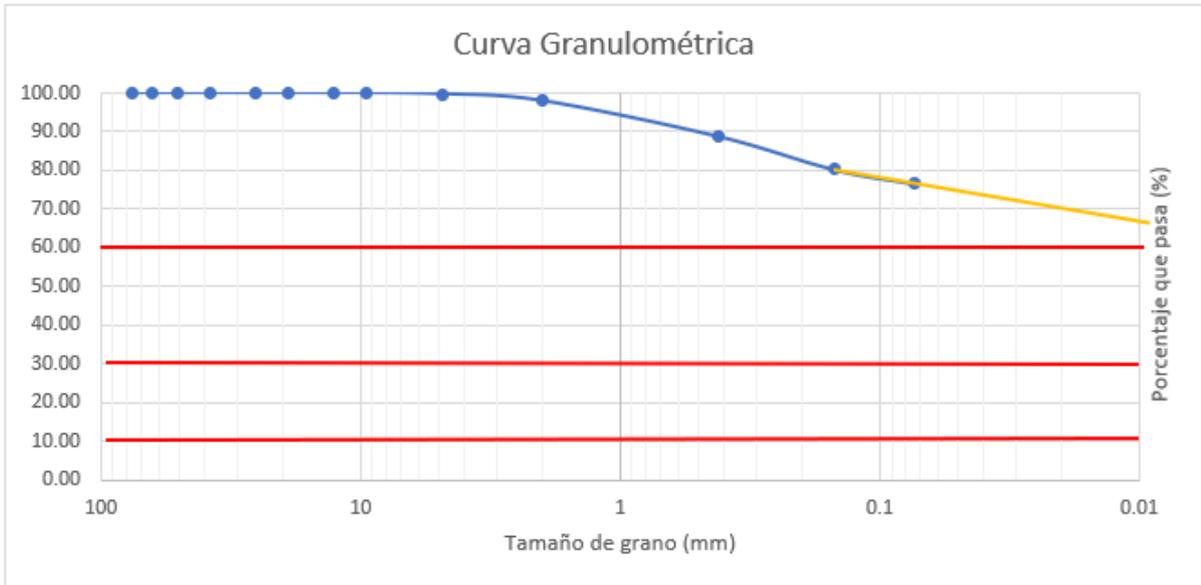
Límite Plástico		
Num. Vaso	O.P	C.H
Pt+sh	18.06	18.75
Pt+ss	16.84	17.5
Pt	11.84	12.41
%w	24.4	24.55795678

Tabla 119. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 1+110

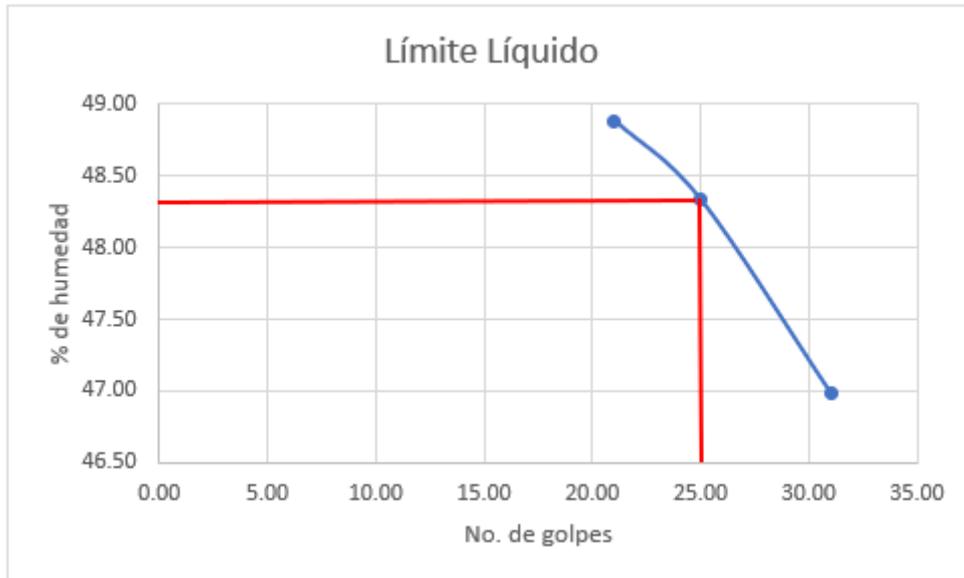
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
<i>Grupo de clasificación</i>	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†Para A-7-6, $PI > LL - 30$



Gráfica 16. Curva granulométrica de la Est. 1+370



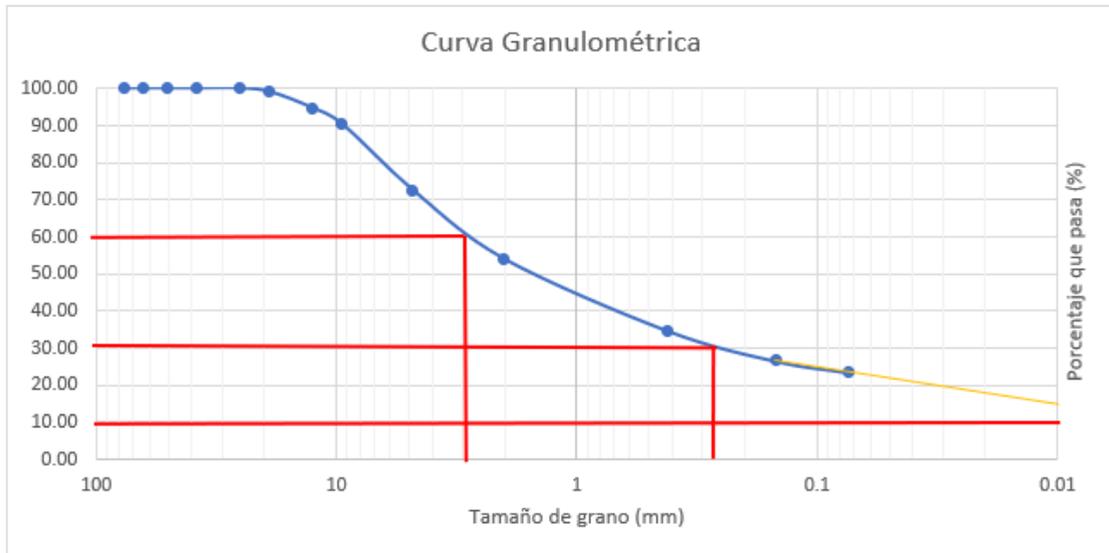
Gráfica 17. Límite líquido Est. 1+370

Tabla 120. Contenido de humedad para límite plástico Est. 1+370

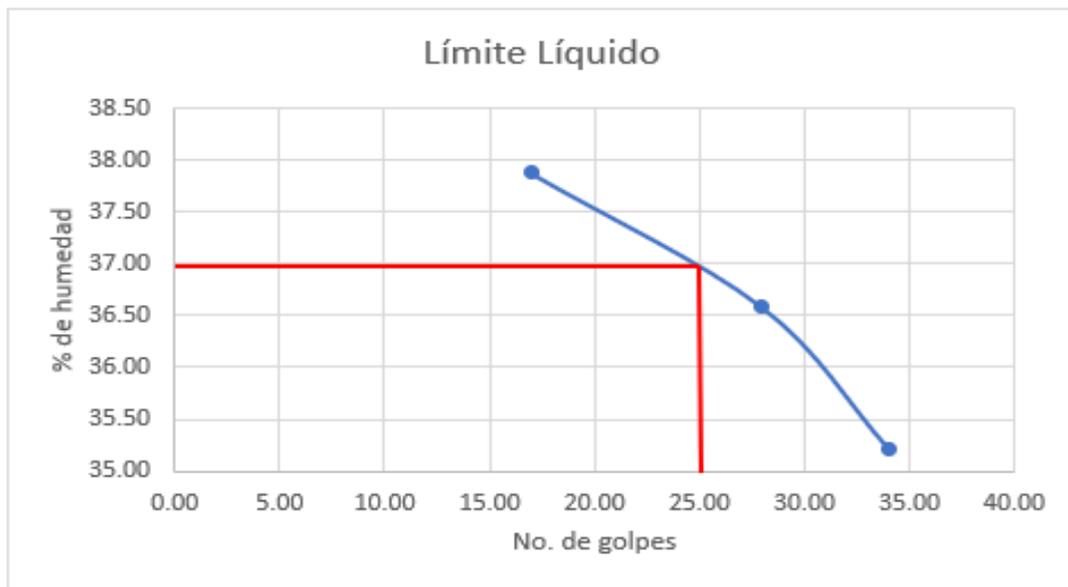
Límite Plástico		
Num. Vaso	F.E	S
Pt+sh	18.2	18.29
Pt+ss	17.04	17.11
Pt	12.4	12.43
%w	25	25.21367521

Tabla 121. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 1+370

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
<i>Grupo de clasificación</i>	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$				



Gráfica 18. Curva granulométrica de la Est. 1+670



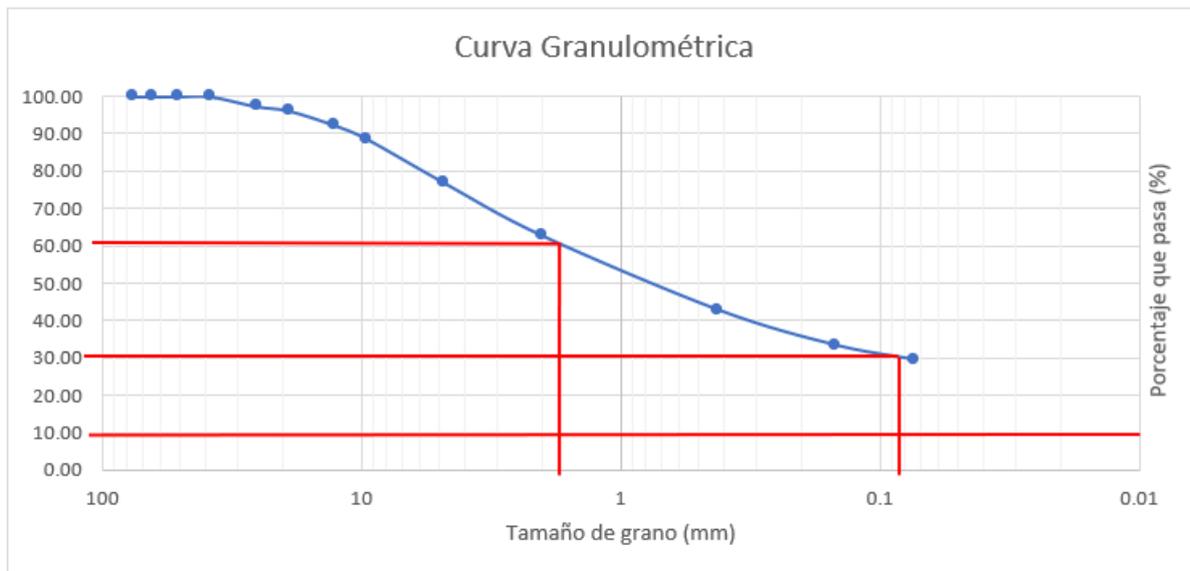
Gráfica 19. Límite líquido Est. 1+670

Tabla 122. Contenido de humedad para límite plástico Est. 1+670

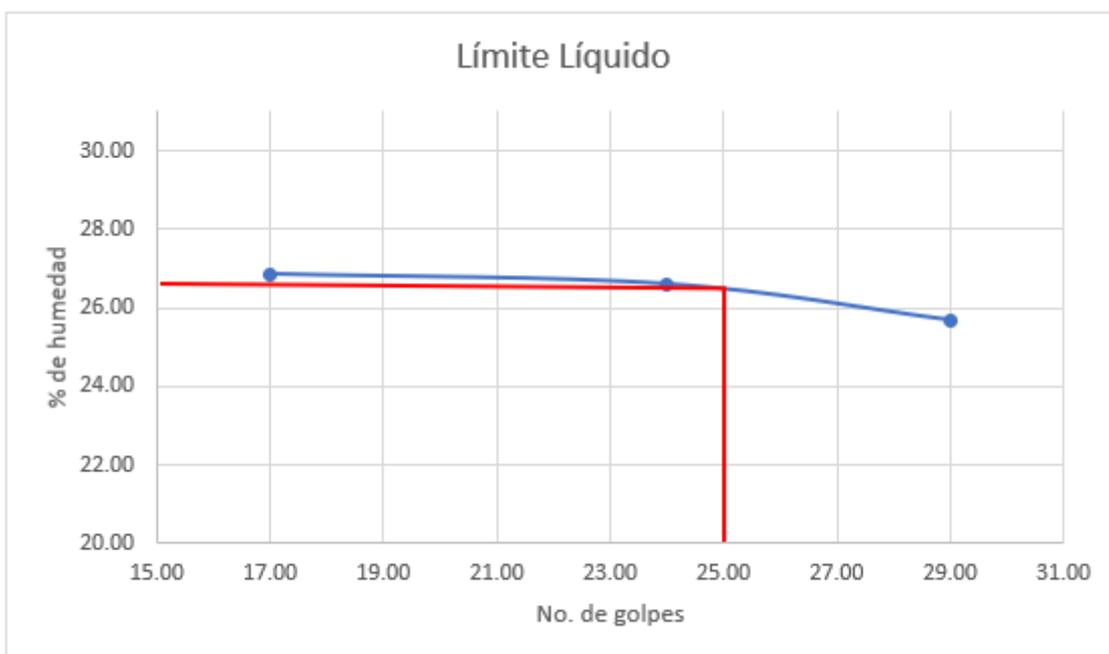
Límite Plástico		
Num. Vaso	S.V	B.A
Pt+sh	20.04	19.3
Pt+ss	18.42	17.88
Pt	12.42	12.36
%w	27	25.72463768

Tabla 123. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 1+670

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						



Gráfica 20. Curva granulométrica Est. 2+280



Gráfica 21. Límite líquido Est. 2+280

Tabla 124. Gráfica 22. Contenido de humedad para límite plástico Est. 2+280

Límite Plástico		
Num. Vaso	Y.R	M.V
Pt+sh	19.86	19.33
Pt+ss	18.67	18.24
Pt	12.36	12.48
%w	18.858954	18.92361111

Tabla 125. Clasificación de suelo método AASHTO Est. 2+280

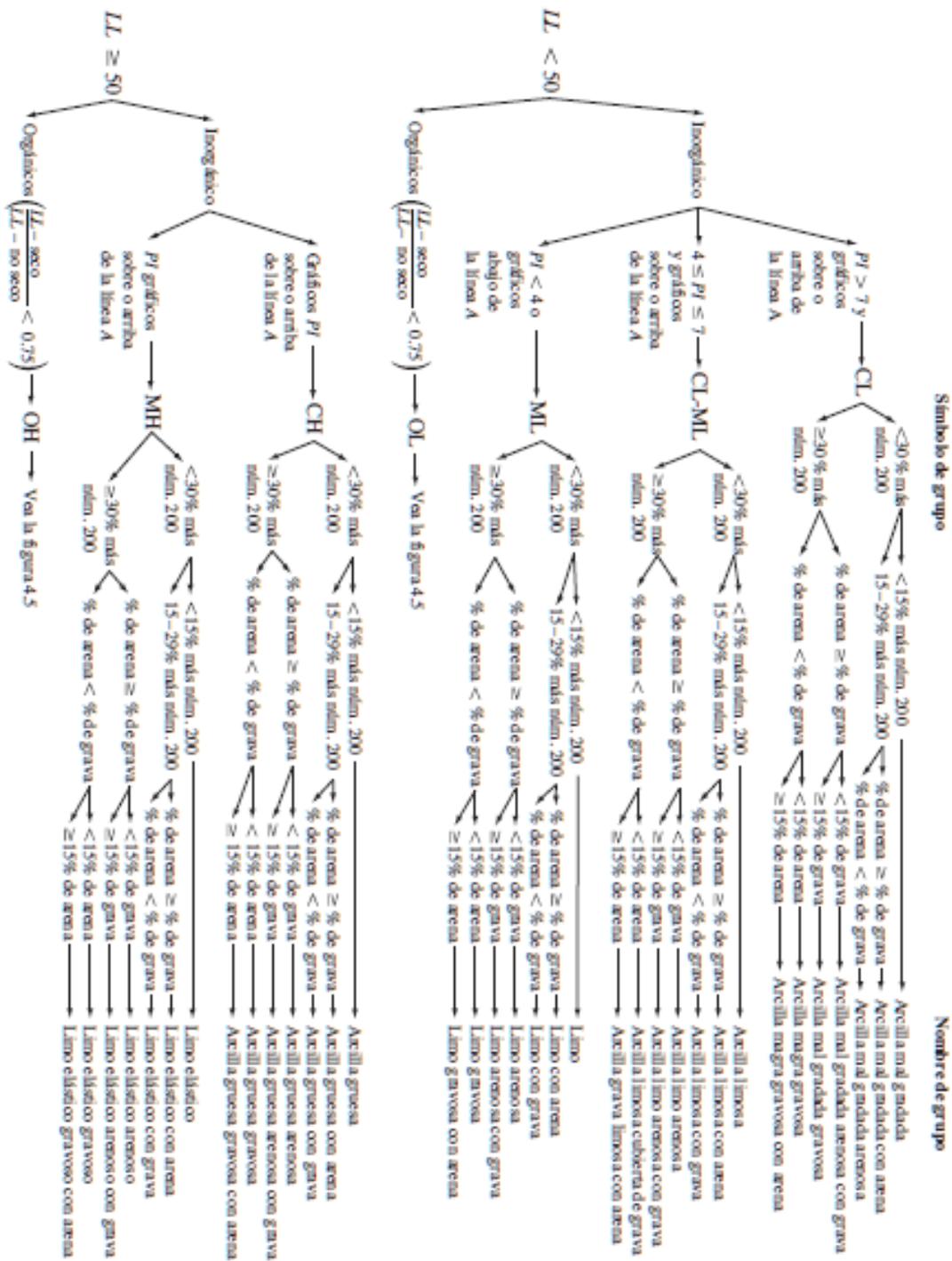
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1		A-3	A-2-4	A-2		
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b			A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.		51 mín.				
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Núm. 200	15 máx.	25 máx.					
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Limo o grava arcillosa y arena		
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Anexo 15. Clasificación método SUCS para grupos de grava y arena

Símbolo de grupo		Nombre de grupo
GW	<15% de arena	Grava bien graduada
	≥15% de arena	Grava bien graduada con arena
GP	<15% de arena	Grava mal graduada
	≥15% de arena	Grava mal graduada con arena
GW-GM	<15% de arena	Grava bien graduada con limo
	≥15% de arena	Grava bien graduada con limo y arena
GW-GC	<15% de arena	Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de arena	Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP-GM	<15% de arena	Grava mal graduada con limo
	≥15% de arena	Grava mal graduada con limo y arena
GP-GC	<15% de arena	Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de arena	Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	<15% de arena	Grava limosa
	≥15% de arena	Grava limosa con arena
GC	<15% de arena	Grava arcillosa
	≥15% de arena	Grava arcillosa con arena
GC-GM	<15% de arena	Grava limo arcillosa
	≥15% de arena	Grava limo arcillosa con arena
SW	<15% de grava	Arena bien graduada
	≥15% de grava	Arena bien graduada con grava
SP	<15% de grava	Arena mal graduada
	≥15% de grava	Arena mal graduada con grava
SW-SM	<15% de grava	Arena bien graduada con limo
	≥15% de grava	Arena bien graduada con limo y grava
SW-SC	<15% de grava	Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de grava	Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SP-SM	<15% de grava	Arena mal graduada con limo
	≥15% de grava	Arena mal graduada con limo y grava
SP-SC	<15% de grava	Arena mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de grava	Arena mal graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SM	<15% de grava	Arena limosa
	≥15% de grava	Arena limosa con grava
SC	<15% de grava	Arena arcillosa
	≥15% de grava	Arena arcillosa con grava
SC-SM	<15% de grava	Arena limo arcillosa
	≥15% de grava	Arena limo arcillosa con grava

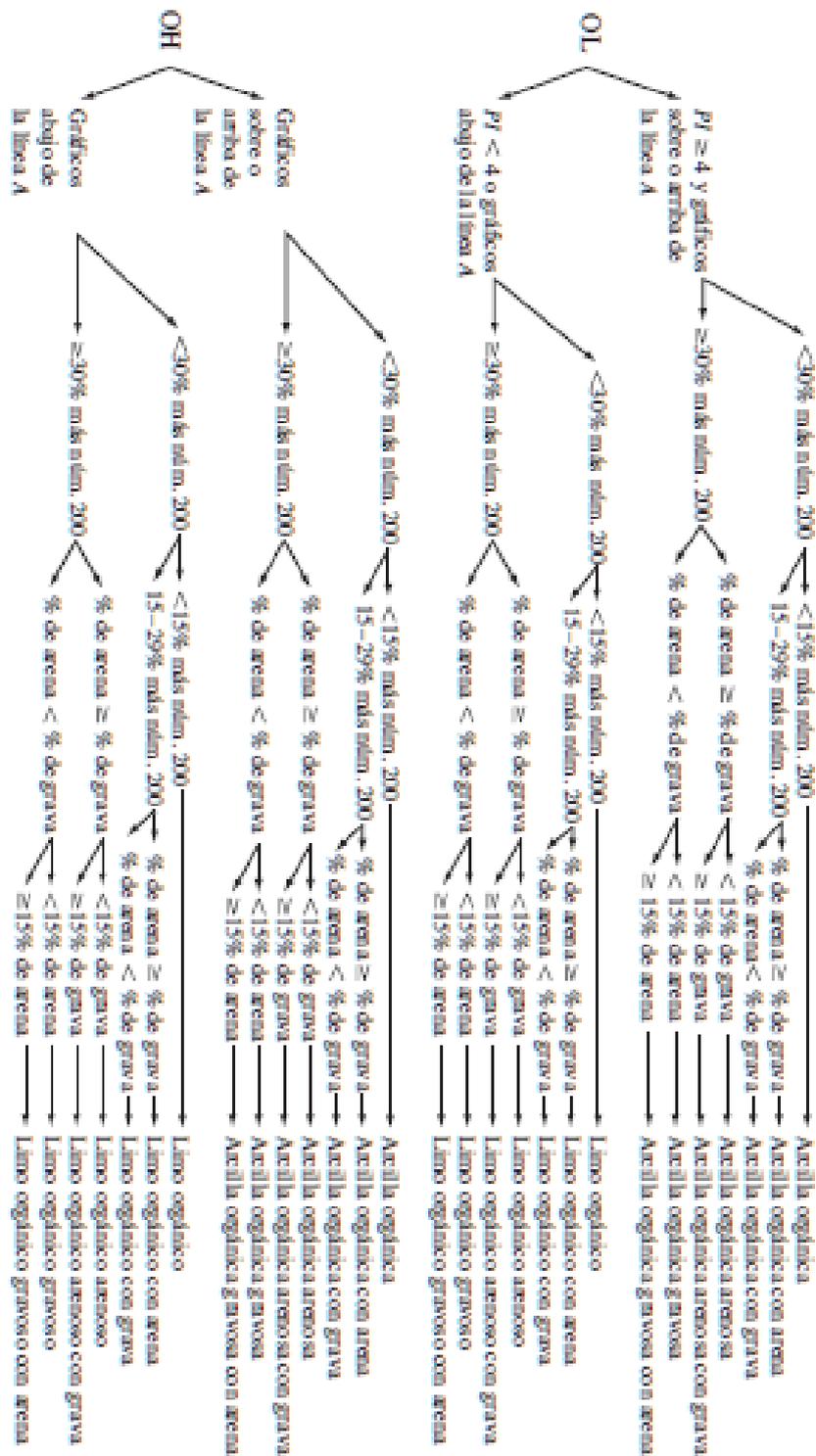
Fuente: (Das, 2013, p. 85)

Anexo 16. Clasificación método SUCS para limo inorgánico y suelos arcillosos



Fuente: (Das, 2013, p. 86)

Anexo 17. Clasificación SUCS para suelos limosos orgánicos y arcillosos



Anexo 18. Fichas de costo unitarias por actividad

Tabla 126. Ficha de costo unitaria Levantamiento Topográfico.

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.				
ACTIVIDAD:		Trazado con Estación Total				
UNIDAD:		Km				
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total
1	Clavos	Libra	7.0000		L 14.00	L 98.00
2	Madera rústica de pino	PT	191.0000		L 22.00	L 4,202.00
					Sub Total Materiales	L 4,300.00
	Mano de Obra					
3	Topógrafo	JRD	1.0000		L 550.00	L 550.00
4	Cadenero	JRD	1.0000		L 368.00	L 368.00
5	Peón	JRD	1.0000		L 400.00	L 400.00
					Sub Total Mano de Obra	L 1,318.00
	Herramienta y Equipo					
6	Estación total	DÍA	1.0000		L 650.00	L 650.00
7						
					Sub Total H. y E.	L 650.00
					Total Costo Directo	L 6,268.00

Tabla 127. Ficha de costo unitaria Corte de Material

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.				
ACTIVIDAD:		Corte de material				
UNIDAD:		M3				
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total
						L -
					Sub Total Materiales	L -
	Mano de Obra					
						L -
					Sub Total Mano de Obra	L -
	Herramienta y Equipo					
1	Tractor de oruga D6	HR	0.0130		L 1,650.00	L 21.45
2	Motoniveladora	HR	0.01000		L 1,650.00	L 16.50
3	Vibro-compactadora	HR	0.016		L 630.00	L 10.08
					Sub Total H. y E.	L 48.03
					Total Costo Directo	L 48.03

Tabla 128. Ficha de costo unitaria Relleno de Material

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.				
ACTIVIDAD:		Relleno de material				
UNIDAD:		M3				
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total
						L -
						L -
					Sub Total Materiales	L -
	Mano de Obra					
	Peon	JDR	0.30		L 400.00	L 120.00
					Sub Total Mano de Obra	L 120.00
	Herramienta y Equipo					
2	Tractor de oruga	HRA	0.0200		L 1,650.00	L 0.33
2	Herramienta menor	%	0.0500		L 252.00	L 0.13
3						L -
					Sub Total H. y E.	L -
					Total Costo Directo	L 240.46

Tabla 129. Ficha de costo unitaria Conformación de Subrasante

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.				
ACTIVIDAD:		Conformación de subrasante				
UNIDAD:		M2				
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total
						L -
					Sub Total Materiales	L -
	Mano de Obra					
1	Topógrafo	JRD	0.0010		L 550.00	L 0.55
2	Cadenero	JRD	0.0010		L 368.00	L 0.37
3	Peón	JRD	0.0010		L 400.00	L 0.40
					Sub Total Mano de Obra	L 1.32
	Herramienta y Equipo					
4	Herramienta menor	%	5%		L 1.32	L 0.07
5	Compactadora rodillo	HR	0.0030		L 1,200.00	L 3.60
6	Motoniveladora	HR	0.0030		L 1,750.00	L 5.25
7	Tanque cisterna	HR	0.0010		L 650.00	L 0.65
					Sub Total H. y E.	L 9.57
					Total Costo Directo	L 10.88390

Tabla 130. Ficha de costo unitaria Señalización Horizontal

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.				
ACTIVIDAD:		Señalización horizontal				
UNIDAD:		ML				
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total
1	Pintura	Galón	0.0150	5.00%	L 700.00	L 11.03
					Sub Total Materiales	L 11.03
	Mano de Obra					
2	Albañil	JRD	0.0020		L 450.00	L 0.90
3	Ayudante	JRD	0.0020		L 300.00	L 0.60
					Sub Total Mano de Obra	L 1.50
	Herramienta y Equipo					
4	Herramienta menor	%	5%		L 1.50	L 0.08
					Sub Total H. y E.	L 0.08
					Total Costo Directo	L 12.60

Tabla 131. Ficha de costo unitaria Señalización Vertical

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.				
ACTIVIDAD:		Señalización vertical				
UNIDAD:		UND				
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total
1	Rótulo	UND	1.0000		L 300.00	L 300.00
					Sub Total Materiales	L 300.00
	Mano de Obra					
2	Albañil	JRD	0.1000		L 450.00	L 45.00
3	Ayudante	JRD	0.1000		L 300.00	L 30.00
					Sub Total Mano de Obra	L 75.00
	Herramienta y Equipo					
4	Herramienta menor	%	5%		L 75.00	L 3.75
					Sub Total H. y E.	L 3.75
					Total Costo Directo	L 378.75

Tabla 132. Ficha de costo unitaria Retardadores

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.					
ACTIVIDAD:		Retardadores					
UNIDAD:		UND					
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total	
1	Cemento	M3	0.05	3.00	L 116.00	L 5.93	
2	Arena	M3	0.01	7.00	L 240.00	L 1.35	
3	Piedra ripi3n	M3	0.0118		L 350.00	L 4.13	
4	Agua	M3	0.00119	25.00	L 116.00	L 0.17	
5	Clavos	LB	0.01		L 18.00	L 0.18	
6	Madera	PT	0.0133		L 22.00	L 0.29	
Sub Total Materiales						L 12.05	
Mano de Obra							
7	Pe3n	JRD	0.08		L 400.00	L 33.20	
8	Albañil	JDR	0.1040		450	L 46.80	
Sub Total Mano de Obra						L 80.00	
Herramienta y Equipo							
Sub Total H. y E.						L -	
Total Costo Directo						L 92.05	

Tabla 133. Ficha de costo unitaria Alcantarilla de hormig3n de 30"

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.					
ACTIVIDAD:		Alcantarilla de hormig3n 30"					
UNIDAD:		UND					
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total	
1	Tubo de hormig3n 30"	Lance	0.5000		L 502.00	L 251.00	
Sub Total Materiales						L 251.00	
Mano de Obra							
2	Albañil	JRD	1.0000		L 450.00	L 450.00	
3	Ayudante	JRD	1.0000		L 300.00	L 300.00	
4	Pe3n	JRD	1.0000		L 400.00	L 400.00	
Sub Total Mano de Obra						L 1,150.00	
Herramienta y Equipo							
5	Herramienta menor	%	5.00%		L 1,150.00	L 57.50	
Sub Total H. y E.						L 57.50	
Total Costo Directo						L 1,458.50	

Tabla 134. Ficha de costo unitaria Pavimento Rígido

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.				
ACTIVIDAD:		Pavimento de concreto rígido, carpeta e=22 cm y base e= 10 cm				
UNIDAD:		m3				
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total
1	Cemento	Bolsa	9.88	3.00%	L 200.00	L 2,035.28
2	Arena	M3	0.67	7.00%	L 400.00	L 286.76
3	Grava	M3	0.67	7.00%	L 500.00	L 358.45
4	Agua	M3	0.20	25.00%	L 116.00	L 29.00
5	Madera	PT	1.1000		L 22.00	L 24.20
6	Clavos	LB	0.4820		L 18.00	L 8.68
					Sub Total Materiales	L 2,709.49
Mano de Obra						
7	Albañil	JDR	1.0000		L 450.00	L 450.00
8	Peón	JDR	1.0000		L 400.00	L 400.00
9	Ayudante	JDR	1.0000		L 350.00	L 350.00
					Sub Total Mano de Obra	L 1,200.00
Herramienta y Equipo						
10	Herramienta menor	%	5.00%		L 2.00	L 0.10
11	Mezcladora de concreto	DIA	0.0063		L 700.00	L 4.41
12	Cortadora de concreto	DIA	0.0010		L 1,400.00	L 1.40
13	Vibradora de concreto	DIA	0.0025		L 630.00	L 1.58
					Sub Total H. y E.	L 7.49
					Total Costo Directo	L 3,916.98

Tabla 135. Ficha de costo unitaria subbase

Proyecto:		DISEÑO DE 2.31 KM DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL CAMINO VECINAL "EL PAIZ - BELLACO - ESCUELA MARCO AURELIO SOTO", SANTA LUCÍA, F.M.				
ACTIVIDAD:		Subbase e= 10 cm				
UNIDAD:		m3				
N°	Material	Unidad	Rendimiento	Desperdicio (%)	P.U.	Total
1	Material del sitio	m3	0.10		L 150.00	L 15.00
					Sub Total Materiales	L 15.00
Mano de Obra						
7	Albañil	JDR	0.5000		L 450.00	L 225.00
8	Peón	JDR	0.5000		L 400.00	L 200.00
9	Ayudante	JDR	1.0000		L 350.00	L 350.00
					Sub Total Mano de Obra	L 775.00
Herramienta y Equipo						
10	Herramienta menor	%	5.00%		L 2.00	L 0.10
11	Compactadora rodillo	HRA	0.2600		L 1,200.00	L 312.00
12						
13						
					Sub Total H. y E.	L 312.10
					Total Costo Directo	L 1,102.10

Anexo 19. Pendiente máxima longitudinal

Clasificación de la carretera	Características				Topografía	Velocidad directa km/h	Pendiente máxima %	Pendientes máximas y longitudes correspondientes en recta			Distancia mínima de visibilidad (m)		Anchos de coronamiento (m)				Radio mínimo abscisa (m)	Taludes de relleno según altura (m)						
	Volumen de tránsito Vehículos diarios	Control de acceso	Número de carriles	Valores deseables				Para detención en bajada	Para detención en subida	Carril	Hombro	Mediana	Total	0 a 1.50		1.50 a 3.00		3.00 a 5.00		Mayor de 5.00				
				Pendiente %										Longitud m	Pendiente máxima %	Sin barrera		Con barrera		Sin barrera		Con barrera		
																%		m	%					
Especiales	Mayor a 15000	parcial	4	LL	100	8	2	540	3	205	205	3.65	2.4	Var.	24.2+Var	525	6:1	4:1	2:1	3:2				
				ON	80	8	3	540	5	149	107	3.65	2.4	Var.	24.2+Var	296	6:1	4:1	2:1	3:2				
				MO	60	10	4	330	6	91	70	3.65	2.4	Var.	24.2+Var	149	3:1	3:2						
Principales o troncales	5000 a 15000	Parcial	2	LL	80	8	3	540	3	149	107	3.65	2.4	-	12.10	296	4:1	4:1	2:1	3:2				
				ON	60	8	4	540	5	91	70	3.65	2.4	-	12.10	149	4:1	4:1	2:1	3:2				
				MO	50	10	5	240	7	68	54	3.65	2.4	-	12.10	94	3:1	3:2						
Secundarias	1000 a 5000	Parcial o sin control	2	LL	60	8	3	540	5	89	71	3.25	1.75	-	10.00	157	4:1	4:1	2:1	3:2				
				ON	50	10	4	330	6	67	55	3.25	1.75	-	10.00	98	4:1	3:1	2:1	3:2				
				MO	40	10	5	240	7	47	42	3.25	1.75	-	10.00	57	3:1	3:2						
Vecinales	150 a 1000	Sin control	2	LL	50	8	4	330	6	67	55	2.75	0.75	-	7.00	98	3:1	2:1	3:2					
				ON	40	10	5	240	7	47	42	2.75	0.75	-	7.00	57	3:1	2:1	3:2					
				MO	30	10	6	180	8	31	29	2.75	0.75	-	7.00	30	3:2							
Pertenencia	Menos de 150	Sin control	2	LL	40	8	5	240	7	47	42	2.00	0.75	-	5.50	57	2:1		3:2					
				ON	30	10	6	180	10	31	29	2.00	0.75	-	5.50	30	2:1		3:2					
				MO	20	10	7	160	12	18	17	2.00	0.75	-	5.50	11	1:1							