



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR
SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN Y RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL
PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

Raúl Edgardo Rosales Bautista

Asesorado por la Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto

Guatemala, septiembre 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR
SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN Y RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL
PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

RAÚL EDGARDO ROSALES BAUTISTA

ASESORADO POR LA INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON DE
PINTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADORA	Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR
SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN Y RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL
PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 13 de octubre de 2010.

Raúl Edgardo Rosales Bautista

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 15 de octubre de 2012
Ref.EPS.DOC.1377.10.12

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León.

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Raúl Edgardo Rosales Bautista** con carné No. **200010439**, de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN Y RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA”**.

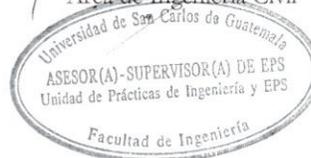
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Christa Del Rosario Classon de Pinto
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo
CCdP/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
26 de octubre de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN Y RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Raúl Edgardo Rosales Bautista, quien contó con la asesoría de la Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
Revisor por el Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
11 de julio de 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN Y RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Raúl Edgardo Rosales Bautista, quien contó con la asesoría de la Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Mario Estuardo Arriola Avila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 15 de julio de 2014
Ref.EPS.D.366.07.14

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN Y RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Raúl Edgardo Rosales Bautista, carné 200010439**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Christa Del Rosario Classon de Pinto.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora - Supervisora de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS

SJRS/ra





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto y del Coordinador de E.P.S. Ing. Silvio José Rodríguez Serrano, al trabajo de graduación del estudiante Raúl Edgardo Rosales Bautista, titulado **DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN Y RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

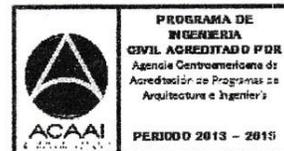
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto 2014

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala

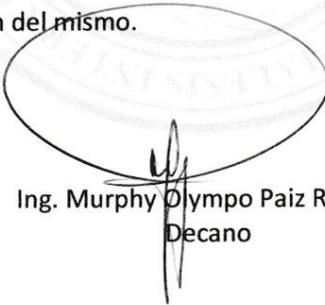


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 447.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN Y RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Raúl Edgardo Rosales Bautista**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Dympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 3 de septiembre de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mi padre

Julio Rolando Rosales, por su apoyo incondicional y toda la confianza depositada en mí.

Mi madre

Elsa Marina Bautista, quien con su amor, enseñanza, apoyo y dedicación, ha logrado hacer de mí lo que ahora soy.

Mis hermanos

Susy, María y Erick Rosales Bautista, por ser cada uno un ejemplo a seguir, mis compañeros de vida, apoyarme y compartir conmigo infinidad de momentos.

Mi hijo

Rodrigo André Rosales, mi vida es para ti, tuyo es mi espacio, mi tiempo, eres la dicha más grande que Dios me ha dado, sin duda, por ti mi vida ha valido la pena.

Mi abuelo

Por todo su apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios y la Virgen María

Por estar conmigo en todo momento, darme sabiduría, guiarme, protegerme y permitirme lograr este triunfo.

Mis padres

Por el amor, los cuidados, la confianza el apoyo incondicional y facilitarme los recursos para hacer de mis sueños una realidad.

Mis hermanos

Por apoyarme siempre.

Mi asesor

Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto, por la valiosa asesoría.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser el centro de enseñanza que inculcó en mi la responsabilidad, el trabajo y la dedicación.

Facultad de Ingeniería

Por permitir desenvolverme en ella, durante éstos últimos años de mi vida académica y brindarme la formación necesaria para convertirme en un profesional de la ingeniería.

**Municipalidad de Santa
Catarina Pinula**

Por el apoyo, en especial al señor
alcalde licenciado José Antonio Coro,
a mi amigo Erick Lima y a las
personas que integran la Dirección
Municipal de Planificación.

**Mis amigos y
Compañeros**

Por su amistad y compañía.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA	1
1.1. Marco geofísico	1
1.1.1. Situación geográfica	1
1.1.2. Accidentes orográficos	4
1.1.3. Integración territorial.....	4
1.1.4. Suelo	6
1.1.4.1. Variaciones de suelo	8
1.1.5. Clima	8
1.1.6. Accesos a los lugares a servir	8
1.1.7. Aspectos urbanísticos.....	11
1.1.8. Aspectos socioculturales	11
1.1.8.1. Educación.....	11
1.1.8.2. Instituciones existentes.....	11
1.1.8.3. Analfabetismo.....	12
1.1.8.4. Tipos de viviendas.....	12
1.1.8.5. Problemas y necesidades identificadas.....	12
1.1.8.6. Aspectos demográficos	13

	1.1.8.7.	Natalidad	13
	1.1.8.8.	Mortalidad	13
	1.1.8.9.	Aspectos topográficos	14
	1.1.8.10.	Actividad productiva	14
1.1.9.		Servicios públicos e infraestructura.....	14
	1.1.9.1.	Energía eléctrica	14
	1.1.9.2.	Teléfonos	15
	1.1.9.3.	Templos religiosos	15
1.1.10.		Situación socioeconómica	15
1.1.11.		Saneamiento ambiental y salud	16
	1.1.11.1.	Sistema de agua potable.....	16
	1.1.11.2.	Sistema de drenaje sanitario.....	16
	1.1.11.3.	Sistema de drenaje pluvial	17
	1.1.11.4.	Servicio de extracción de basura	17
	1.1.11.5.	Servicio de salud	17
2.		INVESTIGACIÓN DIAGNÓSTICA SOBRE NECESIDADES DE SERVICIOS BÁSICOS E INFRAESTRUCTURA DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA	19
	2.1.	Datos de la población.....	19
	2.2.	Datos de vivienda.....	19
	2.2.1.	Principales necesidades de la población.....	19
	2.2.2.	Demandas de la comunidad.....	20
		2.2.2.1. Demanda de drenaje pluvial.....	20
		2.2.2.2. Demanda de pavimentación de carreteras	20

3.	DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA	21
3.1.	Descripción del proyecto	21
3.2.	Levantamiento topográfico	21
3.2.1.	Planimetría.....	22
3.2.2.	Altimetría.....	22
3.2.3.	Secciones transversales	22
3.3.	Definición de pavimentos.....	23
3.4.	Tipos de pavimentos	23
3.4.1.	Pavimentos rígidos	24
3.4.2.	Pavimentos flexibles	24
3.5.	Fallas en pavimentos flexibles.....	25
3.5.1.	Fallas por insuficiencia estructural.....	25
3.5.2.	Falla por defectos constructivos	25
3.5.3.	Falla por fatiga.....	26
3.5.4.	Fallas comunes en pavimentos flexibles	26
3.5.4.1.	Agrietamiento en piel de cocodrilo.....	26
3.5.4.2.	Deformación permanente en la superficie del pavimento	27
3.5.4.3.	Fallas por cortante	28
3.5.4.4.	Agrietamiento longitudinal	29
3.5.4.5.	Consolidación del terreno de cimentación	30
3.6.	Elementos estructurales de un pavimento flexible.....	31
3.6.1.	Terreno de fundación.....	31
3.6.2.	Subrasante	32

	3.6.2.1.	Requisitos para los materiales de la subrasante	32
3.6.3.		Subbase	33
	3.6.3.1.	Requisitos de la subbase	34
3.6.4.		Base	35
	3.6.4.1.	Requisitos para los materiales de la base de grava o piedra triturada	36
	3.6.4.2.	Plasticidad y cohesión.....	36
	3.6.4.3.	Requisitos para los materiales de base granular	37
	3.6.4.4.	Requisitos para los materiales de base estabilizadora con cemento Portland.....	38
	3.6.4.5.	Requisitos para los materiales de base negra	40
3.6.5.		Carpeta de rodadura	42
3.7.		Ensayos de suelos para pavimentos.....	43
	3.7.1.	Granulometría	43
	3.7.2.	Límites de Atterberg	48
	3.7.2.1.	Límite líquido	49
	3.7.2.2.	Límite plástico	50
	3.7.2.3.	Índice de contracción	50
	3.7.3.	Ensayo de compactación (Proctor modificado)	51
	3.7.4.	Ensayo de la relación soporte California (CBR)	53
3.8.		Análisis de resultados del laboratorio de suelos	55
3.9.		Evaluación de Impacto Ambiental	56
	3.9.1.	Identificación de los factores que puedan causar impacto al medio ambiente y a qué parte está afectando.....	57

	3.9.1.1.	El agua	58
	3.9.1.2.	El suelo.....	58
	3.9.1.3.	El aire	58
	3.9.1.4.	La salud.....	58
3.9.2.		Impactos negativos.....	58
	3.9.2.1.	Medidas de mitigación.....	59
	3.9.2.2.	Plan de Contingencia.....	59
	3.9.2.3.	Programa de Monitoreo Ambiental	60
	3.9.2.4.	Plan de Seguridad Humana.....	60
	3.9.2.5.	Plan de Seguridad Ambiental	60
3.10.		Parámetros de diseño del pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicente	61
	3.10.1.	Análisis del tránsito del Sector San Vicente	61
	3.10.2.	Tipo de pavimento a utilizar	61
	3.10.3.	Diseño geométrico del pavimento.....	62
	3.10.4.	Diseño de localización	62
	3.10.5.	Sección transversal	64
	3.10.6.	Diseño horizontal	65
	3.10.7.	Curva horizontal.....	65
3.11.		Proyección vertical longitudinal	74
	3.11.1.	Tangentes verticales.....	75
		3.11.1.1. Clasificación de las pendientes	75
3.12.		Curva vertical.....	76
	3.12.1.	Cálculo para las curvas verticales	81
	3.12.2.	Criterio para el diseño de curvas verticales	83
		3.12.2.1. Criterio de comodidad.....	83
		3.12.2.2. Criterio de apariencia.....	83
		3.12.2.3. Criterio de drenaje	84
		3.12.2.4. Criterio de seguridad	84

3.13.	Secciones transversales	86
3.13.1.	Elementos de una sección transversal.....	87
3.14.	Cálculos para los movimientos de tierra.....	91
3.15.	Consideraciones de diseño del pavimento flexible según la ASSHTO 93	94
3.16.	Factores a considerar en el cálculo y diseño	95
3.17.	Período de diseño	95
3.18.	Tránsito	96
3.18.1.	Vehículos de diseño	97
3.18.2.	Volumen de tránsito	97
3.18.3.	Tránsito promedio diario anual, TPDA	98
3.19.	Ejes equivalentes	98
3.20.	Serviciabilidad	99
3.21.	Confiabilidad	100
3.22.	Diseño de la estructura del pavimento flexible	101
3.23.	Espesores de diseño.....	108
3.23.1.	Subrasante	122
3.23.1.1.	Materiales adecuados para la subrasante	122
3.23.1.2.	Colocación	124
3.23.2.	Subbase	125
3.23.2.1.	Materiales adecuados para la subbase.....	126
3.23.2.2.	Colocación	127
3.23.3.	Base	127
3.23.3.1.	Materiales adecuados para la base	128
3.23.3.2.	Colocación	129
3.23.4.	Carpeta de rodadura	130

3.23.4.1.	Características de la capa de rodadura	131
3.23.4.2.	Material adecuado para la capa de rodadura	132
3.23.4.3.	Colocación de la carpeta de concreto asfáltico	133
3.23.5.	Sistema de drenaje	135
3.23.5.1.	Drenaje superficial	135
3.23.5.2.	Criterios de diseño	136
3.23.6.	Drenaje longitudinal	137
3.23.6.1.	Elementos de canalización	138
3.23.6.2.	Cunetas	138
3.23.6.3.	Determinación del caudal de referencia.....	139
3.23.7.	Drenaje transversal.....	147
3.24.	Evaluación de Impacto Ambiental	150
3.24.1.	Impactos deducidos del estudio	151
3.24.1.1.	Impactos sobre el agua	151
3.24.1.2.	Impactos en la atmosfera: calidad del aire y ruido	152
3.24.1.3.	Impactos en la calidad del aire	152
3.24.1.4.	Contaminación sonora.....	152
3.24.1.5.	Impacto sobre el medio biótico	153
3.24.1.6.	Impacto sobre la vegetación.....	153
3.24.2.	Medidas correctoras	153
3.25.	Presupuesto	154
3.26.	Análisis socioeconómico.....	156
3.27.	Valor Presente Neto	156

4.	RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA.....	157
4.1.	Descripción del proyecto	157
4.2.	Bases de diseño.....	157
4.2.1.	Diámetros mínimos	158
4.2.2.	Velocidades mínimas y máximas	158
4.3.	Diseño hidráulico.....	158
4.3.1.	Coeficiente de escorrentía.....	158
4.3.2.	Intensidad de lluvia.....	159
4.3.3.	Áreas tributarias	160
4.3.4.	Tiempo de concentración	160
4.3.5.	Pendiente de diseño.....	161
4.3.6.	Caudal de diseño	161
4.3.7.	Velocidad de flujo a sección llena	162
4.3.8.	Diámetro de la tubería	162
4.4.	Obras complementarias	163
4.4.1.	Pozos de visita	163
4.4.2.	Tragantes	164
4.5.	Localización de la descarga	164
4.6.	Ejemplo de cálculo	164
4.7.	Estudio de Impacto Ambiental.....	174
4.7.1.	Identificación de los factores que puedan causar impacto al medio ambiente y a qué parte está afectando.....	175
4.7.1.1.	El agua	175
4.7.1.2.	El suelo	175
4.7.1.3.	El aire	175
4.7.1.4.	Salud	175

4.7.2.	Impactos negativos.....	176
4.7.2.1.	Medidas de mitigación.....	176
4.7.2.2.	Plan de Contingencia.....	176
4.7.2.3.	Programa de Monitoreo Ambiental ..	177
4.7.2.4.	Plan de Seguridad Humana.....	177
4.7.2.5.	Plan de Seguridad Ambiental	178
4.8.	Planos constructivos.....	179
4.9.	Presupuesto de drenaje pluvial	179
4.10.	Análisis socioeconómico.....	181
4.10.1.	Valor Presente Neto	181
CONCLUSIONES		183
RECOMENDACIONES.....		185
BIBLIOGRAFÍA.....		187
APÉNDICES		189

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de ubicación del municipio de Santa Catarina Pinula.....	2
2.	Mapa de límites del municipio de Santa Catarina Pinula	3
3.	Mapa cartográfico del municipio de Santa Catarina Pinula	5
4.	Mapa de textura de suelos del municipio de Santa Catarina Pinula	7
5.	Ubicación del proyecto Diseño del pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicenta de la aldea El Canchón Santa Catarina Pinula.....	9
6.	Ubicación del Proyecto red de alcantarillado pluvial para la zona 1 de la cabecera de Santa Catarina Pinula	10
7.	Fisura piel de cocodrilo	27
8.	Deformación superficial corrugación	28
9.	Fisura transversal.....	29
10.	Fisura transversal A	30
11.	Fisura transversal B	31
12.	Curva granulométrica	47
13.	Gráfica densidad seca-humedad	52
14.	Sección transversal.....	64
15.	Elementos de la curva horizontal	65
16.	Cambio proporcional del peralte	73
17.	Curva convexa o cresta.....	77
18.	Curva cóncava o columpio	78
19.	Elementos de la curva vertical	79
20.	Sección transversal en tangente	87

21.	Secciones transversales típicas.....	92
22.	Tipo de vehículo.....	105
23.	Diseño del número estructural	111
24.	Coeficiente estructural a partir del módulo elástico del concreto asfáltico.....	114
25.	Variación en el coeficiente estructural de la capa base	115
26.	Variación en el coeficiente estructural de la capa subbase	116
27.	Detalle de garabito.....	121
28.	Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles.....	131
29.	Dimensiones de cuneta	146
30.	Determinación de área tributaria.....	166

TABLAS

I.	Clasificación de suelos AASHTO	46
II.	Resultado del ensayo de análisis granulométrico	48
III.	Resultado de los ensayos de Límites de Atterberg	50
IV.	Resultados del ensayo Proctor modificado.	53
V.	Valores de carga unitaria para calcular el CBR.....	54
VI.	Resultados del ensayo de razón soporte California	55
VII.	Características geométricas de la carretera en estado final.....	63
VIII.	Tabulación de datos curvas horizontales	68
IX.	Especificaciones para curvas circulares.....	71
X.	Cálculo de elementos de curva horizontal.....	74
XI.	Valores de coeficiente de fricción y tiempo de percepción en función de la velocidad.....	81
XII.	Valores de la constante K	82
XIII.	Tabulación de curvas verticales	86
XIV.	Valores del bombeo dependiendo la superficie	88

XV.	Inclunación de taludes	93
XVI.	Períodos de diseño en función del tipo de carretera.....	96
XVII.	Valores de r de confiabilidad con diferentes clasificaciones funcionales	101
XVIII.	Clasificación de carreteras	102
XIX.	Factores de crecimiento de tránsito.....	103
XX.	Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips. en carga simple.....	106
XXI.	Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2,0.....	108
XXII.	Valor del módulo de resiliencia de los materiales	110
XXIII.	Valor del número estructural.....	113
XXIV.	Resumen de datos.....	116
XXV.	Valores de los espesores calculados.....	118
XXVI.	Espesores mínimos sugeridos.....	118
XXVII.	Espesores mínimos de capas asfálticas sobre bases	119
XXVIII.	Espesores a utilizar	120
XXIX.	Grados de asfalto de acuerdo con el tipo de clima	121
XXX.	Características del material de la subrasante	124
XXXI.	Características del material de la subbase	126
XXXII.	Características de los materiales de la base	129
XXXIII.	Especificaciones del cemento asfáltico	133
XXXIV.	Valores indicativos del coeficiente de escorrentía	142
XXXV.	Parámetros A, B y n de las ecuaciones de la forma de la Es 1 obtenidos en los análisis Tr = período de retorno (años) R2 = coeficiente de determinación	143
XXXVI.	Coeficiente de rugosidad K.....	145
XXXVII.	Presupuesto de pavimento flexible en quetzales (Q).....	155
XXXVIII.	Valores indicativos del coeficiente de escorrentía	159
XXXIX.	Integración de coeficientes de escorrentía	167

XL. Presupuesto de drenaje pluvial en quetzalez (Q) 180

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
d	Altura del tirante de agua en el alcantarillado
a	Área que ocupa el tirante de agua en el alcantarillado
CA-1	Carretera Interamericana
Q	Caudal a sección llena de la tubería
q	Caudal de diseño
cm	Centímetro
N	Coefficiente de rugosidad
K	Constante que depende de la velocidad de diseño
CT	Cota de terreno
CIE	Cota Invert de entrada
CIS	Cota Invert de salida
D	Diámetro de la tubería
Δ	Diferencia algebraica de pendientes
DH	Distancia horizontal
f_{qm}	Factor de caudal medio
FH	Factor de Harmond
fr	Factor de retorno
I.P.	Índice de plasticidad
Kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
km	Kilómetro
PVC	Material fabricado a base de cloruro de polivinilo
m	Metro
m²	Metro cuadrado

m³/s	Metros cúbicos por segundo
m/s	Metros por segundo
Mr	Módulo de ruptura del concreto
Psi	Libra sobre pulgada cuadrada
L.L.	Límite líquido
L/hab/día	Litros por habitante por día
Lc	Longitud de curva
P	Población
Po	Población actual
Pf	Población futura
P.V.	Pozo de visita
Pulg	Pulgada
I	Punto de intersección
PIV	Punto de intersección de sub-tangentes verticales
PC	Principio de curva horizontal
PCV	Principio de curva vertical
PTV	Principio de tangente vertical
PT	Principio de tangentes horizontales
R	Radio
Rh	Radio hidráulico
a/A	Relación de alturas
q/Q	Relación de caudales
d/D	Relación de diámetros
v/V	Relación de velocidades
St	Subtangente
r	Tasa de crecimiento
TPDA	Tránsito promedio diario anual
V	Velocidad del flujo a sección llena
v	Velocidad del flujo en el alcantarillado

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation officers.
Alcantarillado	Sistema formado por tuberías o conductos cerrados, que no trabaja bajo presión y que conducen las aguas negras o aguas pluviales, hacia un punto específico.
Altimetría	Procedimiento usado para definir las diferencias de nivel existente entre puntos de elevación de un terreno y/o construcción.
Asfalto emulsionado	Es una emulsión de cemento asfáltico y agua, conteniendo una pequeña cantidad de agentes emulsivos.
ASTM	Asociación Americana de ensayos en materiales.
Bombeo	Pendiente transversal descendente de la corona o subcorona, a partir del eje y hacia ambos lados, en tangente horizontal.
Bordillo	Elemento que se construye sobre los acotamientos, junto a los hombros de los terraplenes, para evitar que el agua erosione el talud del terraplén.

Calzada	Parte de la corona destinada al tránsito de vehículos.
Carri	Superficie de rodamiento, que tiene el ancho suficiente para permitir la circulación de una hilera de vehículos.
Casagrande	Aparato por medio del cual se realiza el ensayo de límites de Atterberg.
Cemento asfáltico	Asfalto refinado, o una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante, de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación.
Cemento Pórtland	Aglomerante que, en presencia de agua, reacciona y debidamente mezclado con agregados inertes se convierte en una masa manejable con características de piedra artificial.
Colector	Conjunto de tuberías, canales, pozos de visita y obras accesorias que sirven para el desalojo de aguas negras o aguas de lluvia (pluviales).
Compactación	Procedimiento de aplicación de energía potencial al suelo para consolidarlo y así eliminar toda relación de vacíos, aumentando así la densidad y en consecuencia la capacidad de soportar cargas cíclicas.

Concreto	Material pétreo artificial, obtenido de la mezcla elaborada de cemento, fina, gruesa y agua. Este también podría llevar aditivos.
Contracuneta	Canal que se ubica arriba de la línea de ceros de los cortes, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural.
Coordenadas	Dirección de cada una de las líneas o planos de referencia que sirven para determinar la posición de un punto.
Corona	Superficie terminada de una carretera, comprendida entre los hombros.
Cota Invert	Cota o altura de la parte inferior interior del tubo ya instalado.
Cuneta:	Canal que se ubica en los cortes en uno o en ambos lados de la corona, contiguo a la línea de hombros, para drenar el agua que escurre por la corona y el talud.
Curva circular simple	Arco de curva circular de radio constante que une a dos tangentes.
Curva vertical	Arco de parábola de eje vertical que une dos tangentes del alineamiento vertical.

DGC	Dirección General de Caminos.
Densidad	Relación del peso de la sustancia a su volumen, expresada normalmente en normalmente en kg/m^3 o lb/ft^3 .
Derecho de vía	Superficie de terreno cuyas dimensiones determina la Dirección General de Caminos, que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección en general, para el uso adecuado de una vía de comunicación.
Dotación	Es la cantidad de agua asignada a cada usuario.
EIA	Estudio de Impacto Ambiental.
Especificaciones	Normas que rigen el diseño geométrico de las carreteras.
Estabilizar	Afirmar el suelo para impedir el movimiento.
Fórmula de Manning	Fórmula para determinar la velocidad de un flujo en un canal abierto; esta fórmula se relaciona con la rugosidad del material con que está construido el canal, la pendiente y el radio hidráulico de la sección.
Grado de curvatura	Ángulo subtendido por un arco de circunferencia de veinte metros de longitud.

Humedad óptima	Es la cantidad de agua necesaria para revestir y lubricar cada partícula de suelo y conseguir la densidad máxima del suelo mediante compactación para efectos de densificación.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
INFOM	Instituto de Fomento Municipal.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación trata sobre el diseño y planificación del pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicente de la aldea El Canchón, y la red de alcantarillado pluvial para la zona 1 de la cabecera del municipio de Santa Catarina Pinula, del departamento de Guatemala, consta de dos fases.

La primera fase trata sobre la investigación monográfica específica del municipio de Santa Catarina Pinula del departamento de Guatemala; aquí se puede encontrar información sobre aspectos generales de la comunidad, ubicación y acceso, situación demográfica, topografía e hidrografía, aspectos climáticos, aspectos económicos y actividad productiva, servicios básicos de cada comunidad. También una investigación diagnóstica sobre necesidades de servicios básicos e infraestructura, teniendo en cuenta la descripción de las necesidades y la priorización de las necesidades.

La segunda fase trata del servicio profesional, que consta de todo el proceso para el diseño y la planificación, tomando en cuenta todos los criterios técnicos y requerimientos para ambos proyectos, dejando constancia de todos los cálculos y soluciones propuestas a los problemas planteados. También se incluyen planos constructivos, presupuestos y especificaciones técnicas.

OBJETIVOS

General

Proponer soluciones a problemas que se presentan, mediante proyectos de infraestructura y así contribuir con el desarrollo de las comunidades en el municipio de Santa Catarina Pinula.

Específicos

1. Diagnosticar y analizar necesidades de infraestructura no satisfechas para la selección de los proyectos a realizar.
2. Diseñar el pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicente de la aldea El Canchón, brindando una carretera segura, estética y económica, con la cual se tendrá un mejor acceso al sector.
3. Planificar y diseñar la red de alcantarillado pluvial para la zona 1 de la cabecera municipal de Santa Catarina Pinula, Guatemala.

INTRODUCCIÓN

El Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) tiene como objetivo brindar apoyo técnico a diferentes entidades para diagnosticar y planificar proyectos reales de infraestructura de beneficio común, como una proyección de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, hacia la sociedad guatemalteca.

El Ejercicio Profesional Supervisado se realizó en el departamento de infraestructura de la Oficina Municipal de Planificación (OMP) del municipio de Santa Catarina Pinula, departamento de Guatemala. Tomando en cuenta la información proporcionada por la Oficina Municipal de Planificación, sobre las necesidades y prioridades existentes en este municipio de acuerdo a los aspectos sociales, culturales y económicos se proponen dos proyectos: el diseño del pavimento flexible para la calle de ingreso al sector San Vicente de la aldea El Canchón.

El segundo proyecto es el diseño de la red de alcantarillado pluvial para la zona 1 de la cabecera municipal, debido a que actualmente el sistema de drenaje pluvial existente se encuentra colapsado por las fuertes lluvias y el incremento de escorrentía debido al cambio climático.

1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA

1.1. Marco geofísico

En los siguientes subtítulos se describe la información correspondiente al municipio de Santa Catarina Pinula.

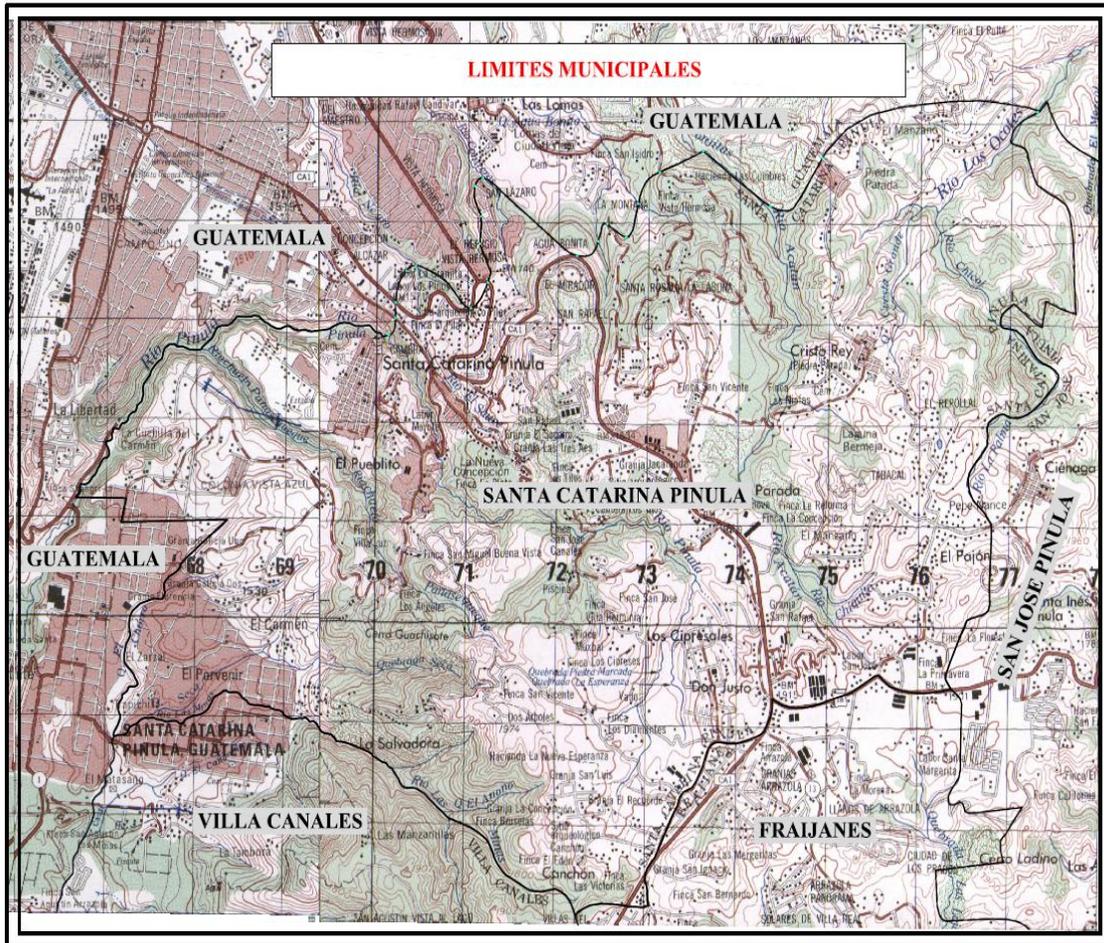
1.1.1. Situación geográfica

El municipio de Santa Catarina Pinula se encuentra situado al extremo suroeste del departamento de Guatemala, a 12,5 km de la ciudad capital, la extensión territorial es de 51,95 km² está ubicado a 1 550 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas 140° 34' 13" latitud norte y 90° 02' 9,45", longitud oeste.

Las colindancias del municipio de Santa Catarina Pinula son:

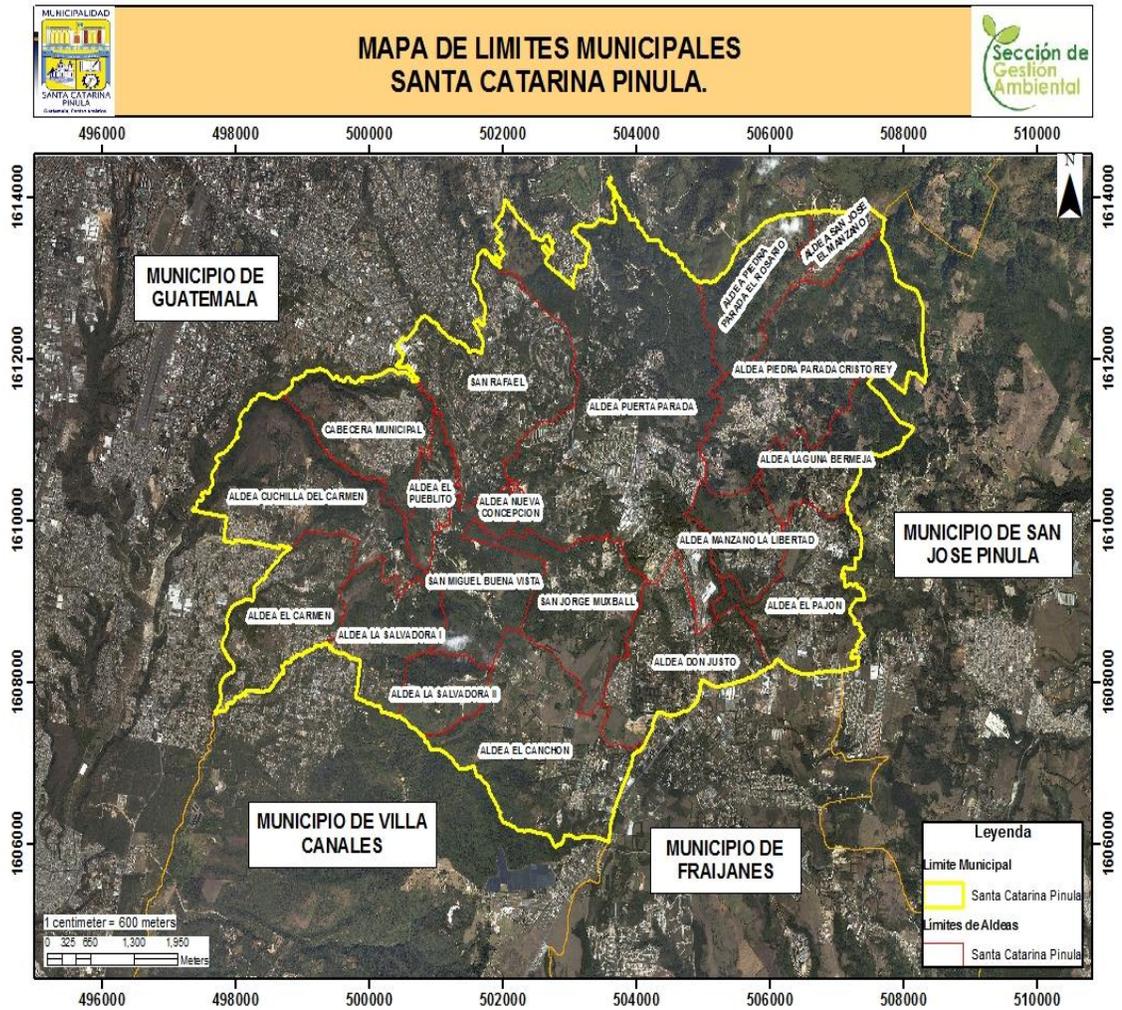
- Al norte: con el municipio de Guatemala
- Al sur: con el municipio Fraijanes y Villa Canales (Guatemala)
- Al este: con el municipio San José Pinula y Fraijanes (Guatemala)
- Al oeste: con el municipio Villa Canales y Guatemala (Guatemala)

Figura 1. Mapa de ubicación del municipio de Santa Catarina Pinula



Fuente: OBIOLS GÓMEZ, Alfredo. Instituto Geográfico Nacional (IGN), hojas topográficas escala 1:50 000, hoja ciudad de Guatemala, hoja San José Pinula.

Figura 2. Mapa de límites del municipio de Santa Catarina Pinula



Fuente: Sección de Gestión Ambiental, Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

1.1.2. Accidentes orográficos

El municipio de Santa Catarina Pinula, posee la Sierra de Canales y tres cerros: Guachisote, Santa Rosalía y El Tabacal; se ubican también 8 ríos, 1 riachuelo, 14 quebradas y 1 laguna.

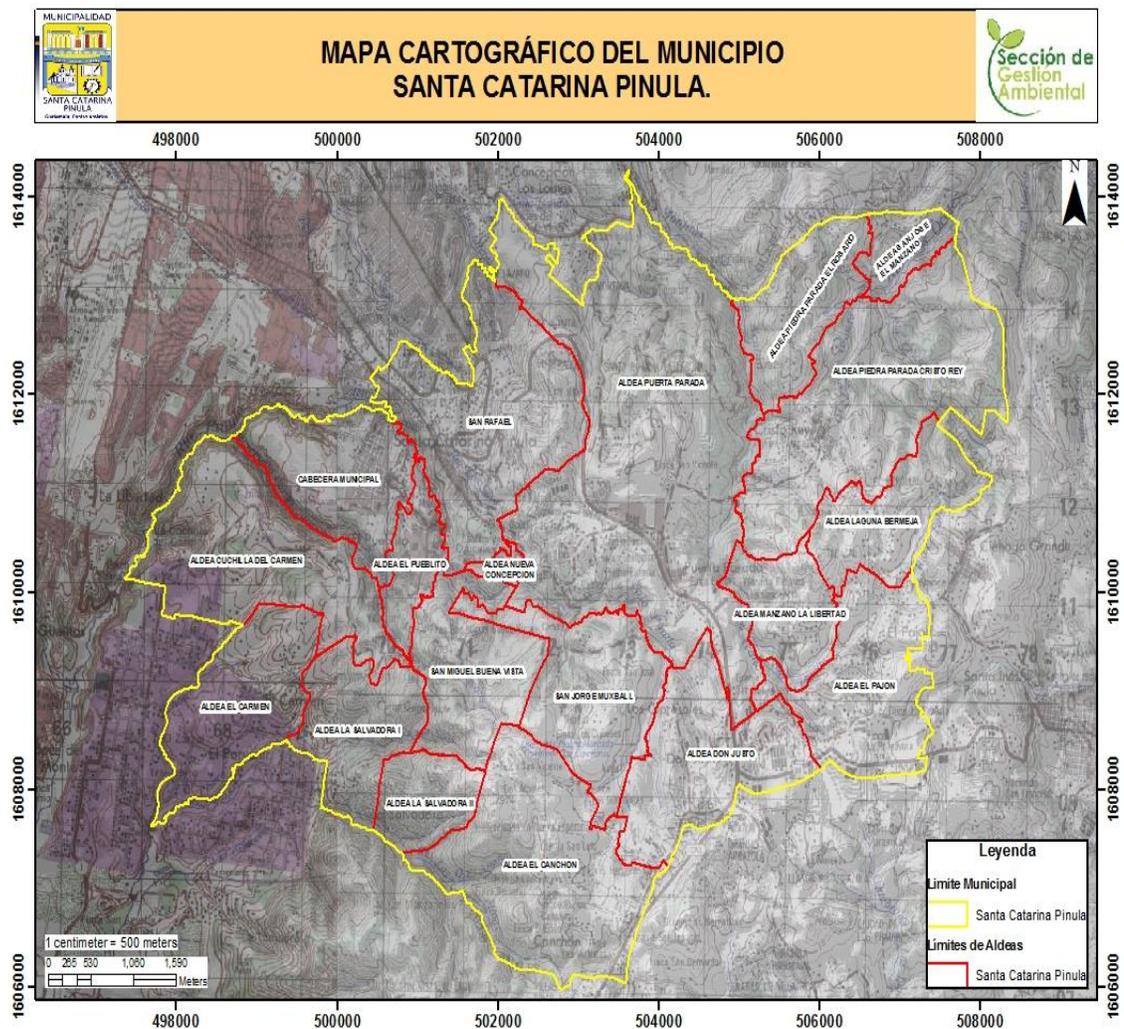
1.1.3. Integración territorial

El municipio de Santa Catarina Pinula se encuentra distribuido en 10 zonas geográficas, conformadas además de la cabecera municipal, por 15 aldeas las cuales se describen a continuación:

- Cuchilla del Carmen
- El Carmen
- Salvadora I
- El Pueblito
- San José El Manzano
- Nueva Concepción
- Piedra Parada Cristo Rey
- Piedra Parada El Rosario
- Laguna Bermeja
- El Pajón
- Salvadora II
- Manzano La Libertad
- Don Justo
- Puerta Parada
- El Canchón

Asimismo, se encuentran distribuidos dentro de la jurisdicción del municipio, caseríos, colonias, residenciales, lotificaciones y condominios.

Figura 3. Mapa cartográfico del municipio de Santa Catarina Pinula



Fuente: Sección de Gestión Ambiental, Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

1.1.4. Suelo

En Santa Catarina Pinula el suelo superficial, a una profundidad alrededor de 25 cm. es franco arcilloso café muy oscuro. Tiene alrededor del 4 % de materia orgánica. La estructura granular está desarrollada en algunos lugares, pero en la mayor parte se ha destruido a causa del cultivo y la exposición al sol, de modo que se vuelve duro cuando está seco y es plástico cuando está húmedo. Grietas de 1 a 2 cm. de ancho y de más de 30 cm. de profundidad se desarrollan durante la estación seca.

El suelo adyacente al superficial, a una profundidad alrededor de 40 cm. es franco arcilloso o arcilla de café oscuro. El contenido de materia orgánica es bajo (0,8 %). Los planos de cruce verticales son más definidos que los horizontales, dando apariencia de una macroestructura prismática. Es duro cuando está seco y plástico cuando está húmedo.

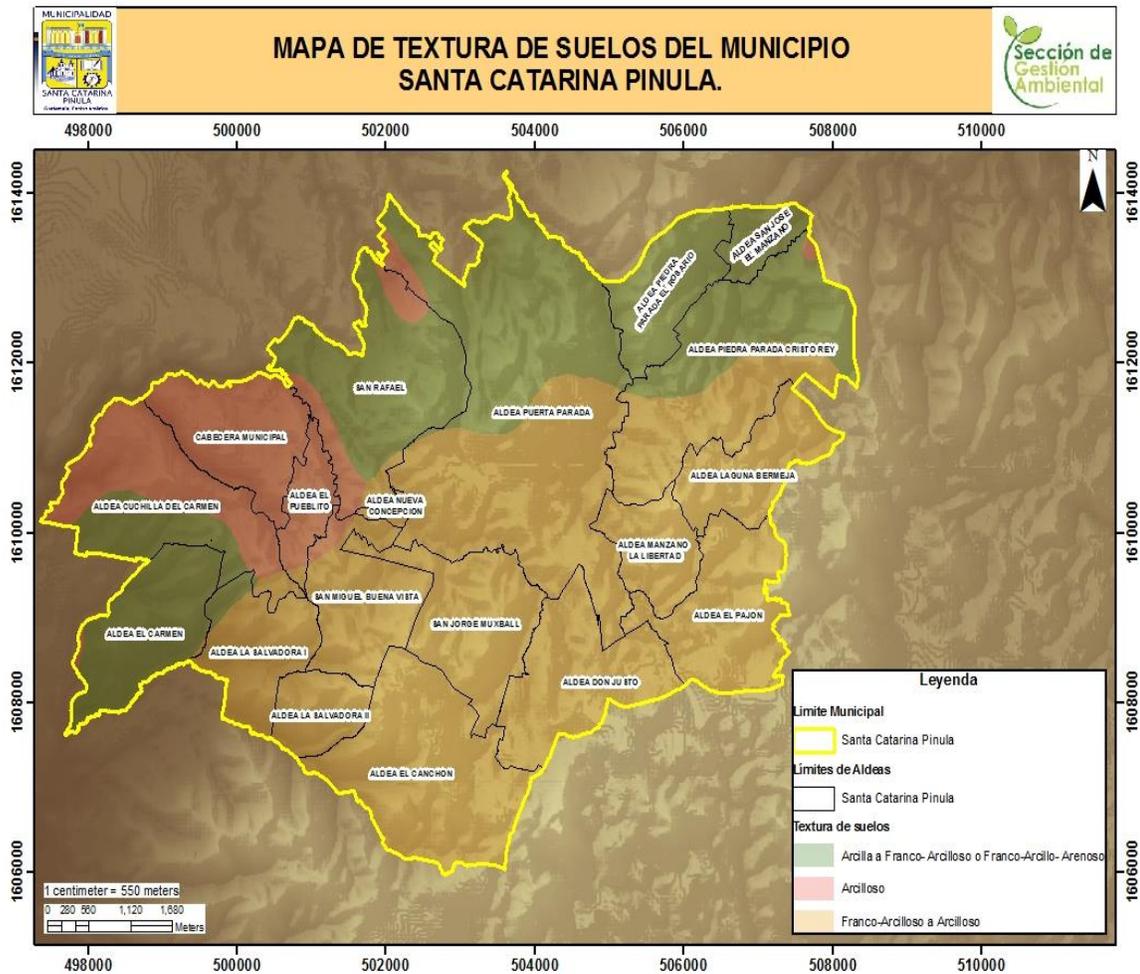
El subsuelo a una profundidad alrededor de 1 m. es arcilla café rojiza. La estructura microcúbica y la estructura macropismática están desarrolladas hasta cierto grado. Es friable bajo condiciones óptimas, pero es dura cuando está seco y plástico cuando está húmedo.

El subsuelo más profundo en la parte superior del substrato es franco arcilloso o franco arcillo arenoso, café amarillento y cementado. Este material es masivo en la mayoría de los lugares y se conoce localmente como talpetate, el cual se excava para usarlo como material de construcción. Es ceniza volcánica parcialmente intemperizada.

El substrato es pómez huesa cementada débilmente. Casi todos los fragmentos tienen un grueso alrededor de 1 cm. Se excava fácilmente y las

paredes verticales se sostienen por años sin soporte alguno. Una separación en tamaño de partícula tuvo lugar, asumiéndose por esto, que estos valles fueron rellenados durante un período de actividad volcánica intensa, acompañada de fuertes lluvias, lo que dio por resultado la formación de una masa semifluida, pero lo suficiente consistente como para haber sido contenida en un área restringida.

Figura 4. **Mapa de textura de suelos del municipio de Santa Catarina Pinula**



Fuente: Sección de Gestión Ambiental, Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

1.1.4.1. Variaciones de suelo

Gran parte de la variación que se encuentra en los suelos de Santa Catarina Pinula son franco arcillosos, es el resultado de la erosión normal lenta o geológica, que no permitió que se desarrollara un suelo profundo normal para la región. En ciertas partes la erosión recientemente ha provocado la remoción de todo o parte del suelo superficial y en algunos pocos lugares se penetra hasta el subsuelo. El espesor del subsuelo inferior varía de medio metro a 1 m. a un máximo de 2 m., pero el promedio es alrededor de 1 m. En la clasificación de reconocimiento de suelos están incluidos terrenos muy quebrados, que consisten en barrancos profundos con paredes perpendiculares. Muchos de estos barrancos tienen una profundidad de casi 100 m. y solo 50 m. de ancho. También están incluidas áreas de suelos formados en superficies más antiguas, representadas por lomas de roca sedimentaria y volcánica.

1.1.5. Clima

Según datos registrados por el Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) en la estación ubicada en la 7av. 14-57 zona 13 de la ciudad de Guatemala y la cual sirve como referencia para los municipios circunvecinos a la ciudad capital entre ellos el municipio de Santa Catarina Pinula, la temperatura promedio anual es de 10,9 °C, la precipitación 1 060,60 mm y una humedad relativa del 77 %.

1.1.6. Accesos a los lugares a servir

Para ingresar al sector San Vicente en la aldea El Canchón, lugar en el cual se ubica la calle a diseñar se puede utilizar la ruta siguiente:

De la ciudad de Guatemala, tomando la CA – 1 en el kilómetro 18,5 carretera hacia El Salvador sobre la calle alterna que se encuentra en el costado derecho, a una distancia aproximada de 3 kilómetros se encuentra la calle a pavimentar que da ingreso al Sector San Vicente.

Figura 5. **Ubicación del proyecto Diseño del pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicente de la aldea El Canchón Santa Catarina Pinula**

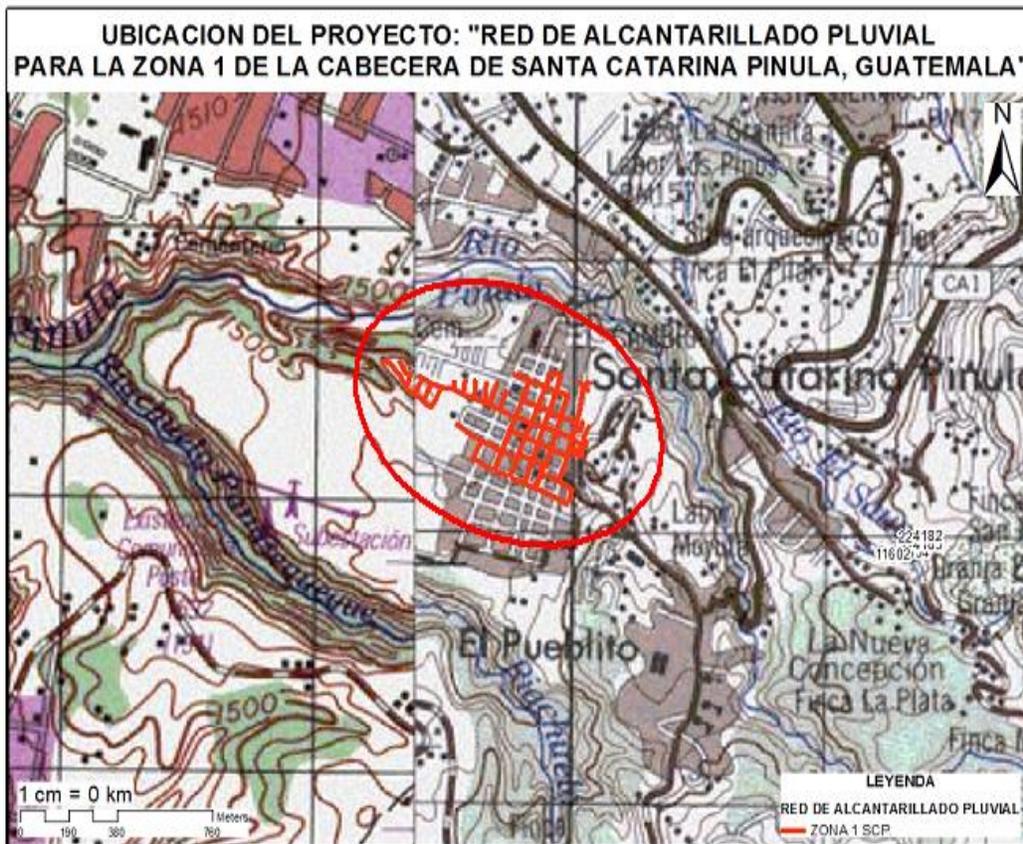


Fuente: OBIOLS GÓMEZ, Alfredo. Instituto Geográfico Nacional (IGN), hojas topográficas escala 1:50000, Hoja Ciudad de Guatemala, Hoja San José Pinula.

Para tener acceso a la cabecera municipal, lugar donde se implementará el proyecto de drenaje pluvial se puede utilizar la ruta siguiente:

De la ciudad de Guatemala tomando la 20 calle de la zona 10 se recorren aproximadamente 9 kilómetros hasta llegar a la cabecera municipal de Santa Catarina Pinula; sobre la calle principal de la zona 1 en el conocido periférico se construirá la red de drenaje pluvial.

Figura 6. **Ubicación del Proyecto red de alcantarillado pluvial para la zona 1 de la cabecera de Santa Catarina Pinula**



Fuente: OBIOLS GÓMEZ, Alfredo. Instituto Geográfico Nacional (IGN), hojas topográficas escala 1:50000, Hoja Ciudad de Guatemala, Hoja San José Pinula.

1.1.7. Aspectos urbanísticos

La cabecera municipal y el Sector San Vicente de la aldea el Canchón se encuentra en un punto totalmente urbanizado.

1.1.8. Aspectos socioculturales

Como todo territorio guatemalteco el municipio de Santa Catarina Pinula tiene tradiciones, costumbres y folklore; los cuales están ligados a la religión y a la familia es por ello que algunas de la actividades que se realizan por parte de las familias pinultecas.

1.1.8.1. Educación

Existen 19 escuelas en el municipio, distribuidas en 14 aldeas. Las 19 escuelas han sido remodeladas por la actual administración municipal; se ha impulsado en el municipio un programa del Ministerio de Educación llamado Escuelas Demostrativas del Futuro, este programa consiste en que cada escuela cuente con el respectivo laboratorio de computación y clases de inglés; 12 de las 19 escuelas se encuentran dentro del programa.

1.1.8.2. Instituciones existentes

Las instituciones existentes en Santa Catarina Pinula son:

- Municipalidad
- Subestación Policía Nacional Civil
- Juzgado de Paz
- Centro de Salud

- Hospital
- RENAP

1.1.8.3. Analfabetismo

El índice de analfabetismo en el municipio de Santa Catarina Pinula es del 2,50 % en la actualidad.

1.1.8.4. Tipos de viviendas

Las familias habitan en viviendas construidas en la mayoría de paredes de block, techo de lámina y piso de cemento. Por lo regular se encuentra una familia en cada una de ellas.

1.1.8.5. Problemas y necesidades identificadas

El crecimiento poblacional hace que los habitantes demanden una serie de servicios que coadyuvarían al desarrollo. De acuerdo con el presidente del COCODE de cada lugar en estudio se han planteado a la Municipalidad una serie de proyectos considerados necesarios, entre los que destacan:

- Mejora de fuente de abastecimiento de agua potable
- Construcción de sistemas de drenaje sanitario
- Construcción de plantas de tratamiento desechos sólidos
- Construcción de sistema de drenaje pluvial
- Ampliar y asfaltar carreteras y callejones
- Clínica médica para la mujer
- Construcción de un instituto de diversificado
- Construcción de alcaldía auxiliar

- Estación de policía
- Lugares de recreación

1.1.8.6. Aspectos demográficos

La población total de la cabecera municipal es de 16 190 habitantes según el censo realizado por la Municipalidad en el 2009.

El 25 % de la población es de género masculino y el 75 % de género femenino. La cabecera tiene un total aproximado de 2 828 familias, con un número promedio de miembros por familia de 5,5.

La aldea El Canchón para el 2002 contaba con una población de 1 000 habitantes aproximadamente según datos estadísticos del INE se considera que para el 2008 esa cantidad de habitantes ya se había duplicado. En el sector del proyecto se encuentra una población de 4 500 habitantes, lo que corresponde aproximadamente 1 000 familias, quienes se verán beneficiados con el proyecto.

1.1.8.7. Natalidad

La tasa de natalidad para la región en donde se ubica el municipio de Santa Catarina Pinula es de 16,33 %.

1.1.8.8. Mortalidad

La tasa de mortalidad para la región en donde se ubica el municipio de Santa Catarina Pinula es de 3,52 %.

1.1.8.9. Aspectos topográficos

La Cabecera Municipal presenta una topografía bastante diversa, en la mayoría plana y con pendientes fuertes en las orillas con una topografía bastante accidentada en las entradas, alcanzando pendientes de hasta el 50 %.

La Aldea El Canchón cuenta con una topografía bastante plana en la extensión territorial.

1.1.8.10. Actividad productiva

La actividad productiva de Santa Catarina es bastante diversa, la mayoría trabaja como asalariados en las fábricas de textiles, alimentos y construcciones existentes en la carretera a El Salvador (CA-1) y en la ciudad capital. Algunos de los habitantes se dedican a la siembra y a la producción pecuaria.

1.1.9. Servicios públicos e infraestructura

El detalle de estos servicios se describe a continuación.

1.1.9.1. Energía eléctrica

La Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) presta el servicio eléctrico a todo el municipio, El 95 % de las viviendas dispone del servicio de energía eléctrica domiciliar.

1.1.9.2. Teléfonos

Los habitantes de Santa Catarina Pinula cuentan con servicio telefónico, tanto fijo como de tipo móvil. La empresa que provee servicio de telecomunicaciones es predominantemente TELGUA, con una cobertura del 75 %.

1.1.9.3. Templos religiosos

Cuenta con iglesias católicas, evangélicas y de otras religiones.

1.1.10. Situación socioeconómica

Santa Catarina Pinula en el sector productivo cuenta con una agricultura en la que los principales cultivos son maíz, frijol, café y hortalizas, aunque en pequeña escala, pues la producción agrícola ha disminuido, en la medida que avanza la construcción de viviendas en el territorio, que se está convirtiendo en área residencial aledaña a la ciudad capital. En cuanto a la ganadería se encuentra sólo pequeñas crianzas de bovinos y equinos, en tanto que la de los porcinos ha sido siempre muy productiva, pues abastece algunos mercados de la capital con productos como carne, chicharrones y embutidos que gozan de merecida fama. La avicultura como ha experimentado un sensible desarrollo últimamente, aunque como crianza de aves para consumo familiar.

El comercio se ha ido incrementando a lo largo de la carretera a El Salvador en jurisdicción de este municipio se han construido grandes centros comerciales entre los que se puede mencionar, Pradera Concepción, Walmart, Paseo San Sebastián, Plaza Express y Metro Plaza, actualmente hay otros en construcción esto ha convertido al municipio en una zona comercial importante a

nivel nacional. Las urbanizaciones no han sido la excepción también se han construidos complejos habitacionales lujosos, entre los que se puede mencionar, Las Luces, Bosques de la Luces, los Diamantes etc.

El comercio y los proyectos habitacionales se han convertido en la principal fuente económica del municipio.

1.1.11. Saneamiento ambiental y salud

Las condiciones de saneamiento y salud se describen en los siguientes subtítulos.

1.1.11.1. Sistema de agua potable

La población del municipio entero se abastece de fuentes de agua subterránea, actualmente existen 23 pozos mecánicos con una profundidad promedio de 1 000 pies, la Municipalidad presta el servicio a las 14 aldeas y las cabeceras municipales siendo importante mencionar que los residenciales y condominios, cuentan con propio pozo mecánico para abastecerse de agua potable.

1.1.11.2. Sistema de drenaje sanitario

En Santa Catarina Pinula puede decirse que hay drenaje en el 40 % del territorio. La cabecera municipal cuenta con la cobertura de drenaje en un 60 %, además de contar con una planta de tratamiento ubicada en el parque Huisital con una capacidad de 50 galones por día.

1.1.11.3. Sistema de drenaje pluvial

Debido al aumento de la cantidad de lluvia el sistema de drenaje pluvial existente en la cabecera municipal se encuentra colapsado, la tubería cuenta con un diámetro que ya no es funcional y trabaja a sección llena lo cual hace que las aguas pluviales corran por las calles principales, ocasionando inundaciones a viviendas y que el tráfico vehicular sea lento. Razón por la cual es de suma importancia construir un sistema de drenaje pluvial que tenga mayor capacidad.

1.1.11.4. Servicio de extracción de basura

La Municipalidad cuenta con camiones tipo compactador, los que recolectan la basura en la cabecera municipal y aldeas y la trasladan a un relleno sanitario localizado en el municipio de Villa Nueva.

1.1.11.5. Servicio de salud

Se cuenta con un centro de salud en la cabecera municipal y dos centros más en las diferentes aldeas y un hospital municipal.

2. INVESTIGACIÓN DIAGNÓSTICA SOBRE NECESIDADES DE SERVICIOS BÁSICOS E INFRAESTRUCTURA DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA

2.1. Datos de la población

Actualmente la cabecera municipal cuenta con una población de 16 190 habitantes, el 25 % de la población es de género masculino y el 75 % de género femenino. La cabecera tiene un total aproximado de 2 828 familias.

2.2. Datos de vivienda

Un 80 % de los habitantes del municipio cuenta con vivienda propia, las casas en la mayoría están hechas con paredes de mampostería de bloques de pómez y de techo tienen lámina de zinc o losa de concreto. Tanto la cabecera como la aldea El Canchón, tienen como característica la construcción de viviendas consideradas formales.

El municipio de Santa Catarina Pinula, a pesar de encontrarse en un desarrollo constante, padece una serie de necesidades, tanto de servicios básicos como de infraestructura.

2.2.1. Principales necesidades de la población

- Mejoramiento de calles
- Sistemas de disposición de aguas residuales
- Mejoramiento del servicio de agua de consumo

- Creación de espacios destinados para estacionamiento
- Sistemas de drenaje pluvial
- Reordenamiento de la circulación de vehículos

2.2.2. Demandas de la comunidad

Las necesidades de la comunidad a continuación son descritas:

2.2.2.1. Demanda de drenaje pluvial

Los vecinos de la cabecera municipal solicitaron un sistema de drenaje pluvial para las calles de la zona 1, debido a que el existente no se da abasto con la cantidad de lluvia que cae y están sufriendo inundaciones en las viviendas y el mejoramiento del pavimento en las calles, ya que se encuentra en muy mal estado.

2.2.2.2. Demanda de pavimentación de carreteras

Debido a que la administración municipal actual ha puesto un servicio de bus municipal, el cual brinda la movilidad de la población de algunas aldeas hacia la cabecera municipal, los vecinos de la aldea El Canchón solicitaron que se pavimentara la calle que une dicha aldea con la aldea El pueblito, pues al contar con esta carretera los vecinos pretenden movilizarse hasta la cabecera en un lapso de 20 minutos, contar con el servicio de bus municipal, y poder tener un mejor acceso a los servicios municipales.

3. DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA

3.1. Descripción del proyecto

El proyecto consistirá en diseñar una carretera tipo E, con una longitud de 0+851 metros, en región ondulada, con un ancho de calzada de 5,50 m, una velocidad de diseño de 40 KPH, un radio mínimo de 47 m y una pendiente máxima de 9 %.

En este proyecto no se aplicó selección de ruta, debido a que ya existe una carretera la cual los habitantes del Sector San Vicente utilizan para transportarse. Se pudo observar que dicha carretera no cuenta con pendientes muy pronunciadas y que ha tenido desde la construcción dos mantenimientos por año, el preventivo que consiste en la reconfiguración de superficie no pavimentada y el correctivo que consiste en la aplicación de capa de balasto. Por lo que cuenta con una rasante estructuralmente estable y adecuada para la construcción del pavimento.

3.2. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó sobre la línea preliminar seleccionada, consistió en una poligonal abierta, formada por ángulos y tangentes, donde se estableció el punto de partida: se ubica al comienzo de la carretera, donde se establece el rumbo o azimut de salida y se marcó el norte

magnético tomando como referencia el inicio el pavimento flexible existente, el cual consta con una superficie de rodadura de adoquín. La estación de salida se definió como la 0+000 debido a que no se tuvo ningún banco de marca. Las coordenadas totales se obtuvieron, por medio del cálculo de la libreta, con el método de Pensilvania.

3.2.1. Planimetría

Para la planimetría se tomaron referencias tanto para el eje central como a ambos lados del camino, en una franja de ancho variable hasta los linderos delimitados por los vecinos. La información se obtuvo a cada 20 metros y tener así una mejor representación del terreno y la ruta.

3.2.2. Altimetría

Se tomó datos de cada estación por medio del teodolito y estadal. Luego se procesó la información por medio de la nivelación trigonométrica, ya que con estos se dibujan las curvas de nivel y los perfiles de diseño.

3.2.3. Secciones transversales

Las secciones transversales de la carretera se realizaron en estacionamientos a cada 20 metros longitudinalmente, que permitió definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y la relación con el terreno natural.

La sección transversal de la carretera es la vista idónea para definir perfectamente los diferentes elementos que la componen: plataforma, calzada, carriles, berma, mediana, cuneta, etc. Básicamente la sección transversal

proporciona información acerca de dos importantes aspectos de la vía; el ancho y pendiente transversal.

3.3. Definición de pavimentos

Es toda estructura que descansa sobre el terreno de fundación o subrasante, formada por las diferentes capas de subbase, base y carpeta de rodadura. Tiene el objetivo de distribuir las cargas del tránsito sobre el suelo, proporcionando una superficie de rodadura suave para los vehículos y proteger al suelo de los efectos adversos del clima, los cuales afectan la resistencia al soporte estable del mismo.

El pavimento soporta y distribuye la carga en una presión unitaria lo suficientemente disminuida, para estar dentro de la capacidad del suelo que constituye la capa de apoyo, reduciendo la tendencia a la formación de fallas.

3.4. Tipos de pavimentos

Existen en general dos clases de estructuras de pavimento, los flexibles y los rígidos; la principal diferencia entre estos es la forma como reparten las cargas. Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas. Los rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto hidráulico.

3.4.1. Pavimentos rígidos

Consiste en una mezcla de cemento Portland, arena de río, agregado grueso y agua, tendido en una sola capa, que al aplicarle cargas rodantes no se defleccione perceptiblemente y al unir todos los elementos antes mencionados, conforme una sola losa de concreto, espesor, longitud y ancho variable.

Los pavimentos de concreto están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- Esfuerzos directos de compresión y acortamiento, causados por las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas, bajo las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento, por efectos de los cambios de temperatura.

3.4.2. Pavimentos flexibles

Pavimentos flexibles son aquellos cuya estructura total del pavimento se deflección o flexiona; un pavimento flexible se adapta a las cargas a las cuales es sometido.

La estructura de un pavimento flexible está compuesta por varias capas de material diferente, cada capa recibe las cargas por encima de ella las extienden por toda la capa y entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior. Por lo tanto la capa que se encuentra más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga.

Con el fin de aprovechar al máximo esta propiedad, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de soporte de carga, por lo tanto la capa superior será la que posea mayor capacidad de carga de material y la más costosa, la de más baja capacidad de carga y la de menos costo irá en la parte inferior.

3.5. Fallas en pavimentos flexibles

En pavimentos la palabra falla se utiliza tanto para verdaderos colapsos como para deterioros simples. Las fallas en pavimentos flexibles pueden dividirse en tres grupos:

- Falla por insuficiencia estructural
- Falla por defectos constructivos
- Falla por fatiga

3.5.1. Falla por insuficiencia estructural

Se originan cuando se tienen pavimentos construidos con materiales inapropiados respecto a resistencia. Se pueden utilizar también materiales de buena calidad, pero con espesores insuficientes. Esta falla se produce por la combinación de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los espesores.

3.5.2. Falla por defectos constructivos

Se originan cuando se tienen pavimentos bien proporcionados y con materiales de buena calidad, pero que en la construcción se cometieron errores.

3.5.3. Falla por fatiga

Pavimentos que originalmente estuvieron bien proporcionados y construidos, con el paso del tiempo y la continua repetición de cargas, sufren efectos de fatiga, degradación estructural, pérdida de resistencia y acumulan deformaciones.

Aparte de estos tres grupos, también se agrupan las fallas por el origen de decir por el modo en que suceden y se manifiestan. Se separan en tres nuevos grupos que son: por fracturamiento, por deformación y por desintegración. Se relacionan con el efecto del tránsito, las características y estructuración del pavimento flexible y el apoyo que proporciona el suelo sobre el cual se construirá el pavimento.

3.5.4. Fallas comunes en pavimentos flexibles

Existen distintas fallas comunes en los pavimentos flexibles, entre ellas se encuentra el agrietamiento en piel de cocodrilo, deformación permanente en la superficie del pavimento, fallas por cortante, agrietamiento longitudinal, consolidación del terreno de cimentación.

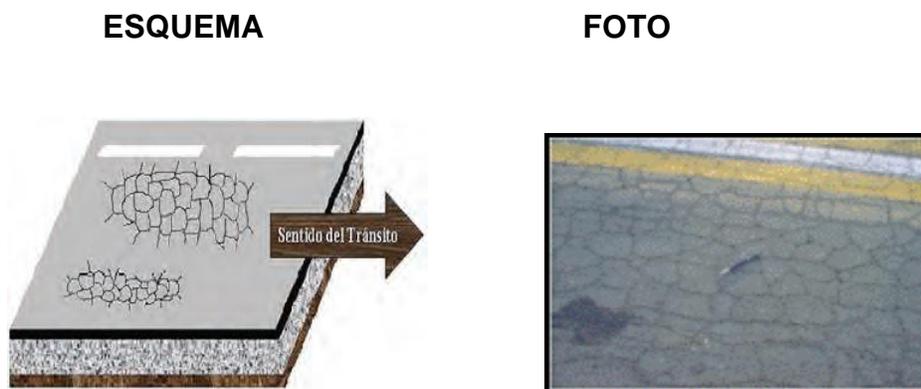
3.5.4.1. Agrietamiento en piel de cocodrilo

Es un agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de rodamiento. Se da por el movimiento excesivo de una o más capas del pavimento o por fatiga de la carpeta.

Es común en pavimentos construidos en terracerías resilientes; es típico de bases débiles o insuficientemente compactadas. Este fenómeno puede ser

progresivo generando la destrucción del pavimento, que comienza a desprenderse de la carpeta y la remoción de los materiales granulares expuestos. Es importante estudiar la causa, ya que si es por fatiga el progreso es muy lento, en cambio si es por deficiencia estructural o por exceso de agua, el progreso es muy rápido.

Figura 7. **Fisura piel de cocodrilo**



Fuente: Secretaría de Integración Económica (SIECA), *Manual Centro Americano de mantenimiento de carreteras*. p. 25.

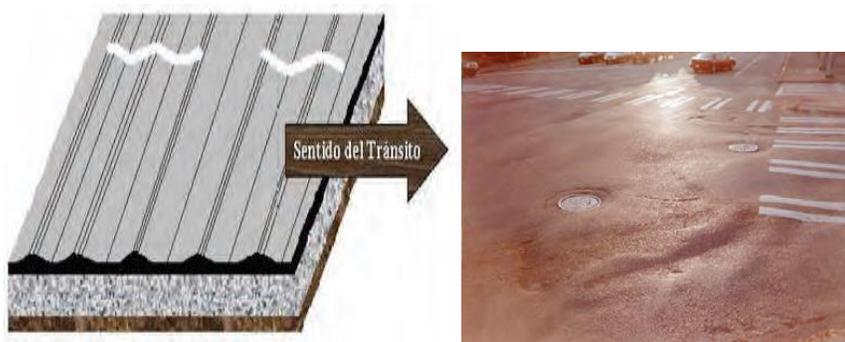
3.5.4.2. Deformación permanente en la superficie del pavimento

La deformación permanente en la superficie del pavimento está asociada al aumento de compacidad en las capas de base o subbase, debida a cargas excesivas, cargas repetidas o rotura de granos. También puede darse por consolidación en la subrasante, por lo general el ancho del surco es mayor al ancho de una llanta.

Figura 8. **Deformación superficial corrugación**

ESQUEMA

FOTO



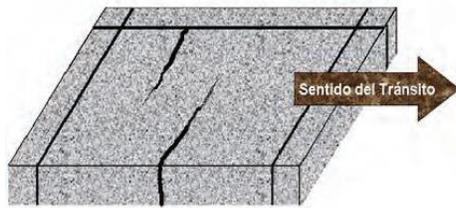
Fuente: Secretaría de Integración Económica (SIECA). *Manual Centro Americano de mantenimiento de carreteras*. p. 32.

3.5.4.3. Fallas por cortante

Se debe a la falta de resistencia del esfuerzo cortante de la base o subbase. En rara ocasión por falta de resistencia en la subrasante. Generalmente se hacen surcos profundos y bien marcados cuyo ancho no excede al de una llanta.

Figura 9. **Fisura transversal**

ESQUEMA



FOTO



Fuente: Secretaría de Integración Económica (SIECA). *Manual Centro Americano de mantenimiento de carreteras*. p. 42.

3.5.4.4. Agrietamiento longitudinal

Grietas longitudinales de una abertura aproximada de 0,5 cm. En el área de circulación de las cargas más pesadas. Se deben a movimientos en las capas del pavimento en dirección horizontal. Este fenómeno se da en la base, en la subbase y con regularidad en la subrasante. El fenómeno se produce por cambios volumétricos en la variación de agua en la subrasante.

Figura 10. **Fisura transversal A**

ESQUEMA

FOTO



Fuente: Secretaría de Integración Económica (SIECA). *Manual Centro Americano de mantenimiento de carreteras*. p. 54.

3.5.4.5. Consolidación del terreno de cimentación

La consolidación del terreno de cimentación produce distorsión del pavimento independientemente de los espesores o de la condición estructural. Se pueden producir agrietamientos longitudinales y agrietamientos con trayectoria circular.

Figura 11. **Fisura transversal B**

ESQUEMA



FOTO



Fuente: Secretaría de Integración Económica (SIECA). *Manual Centro Americano de mantenimiento de carreteras*. p. 63.

3.6. Elementos estructurales de un pavimento flexible

En los siguientes subtítulos se describen los elementos estructurales que integran un pavimento flexible.

3.6.1. Terreno de fundación

Es aquel que sirve de fundación al pavimento después de haber sido terminado el movimiento de tierras y que una vez compactado, tiene las secciones transversales y pendientes indicadas en los planos de diseño.

La capacidad de soporte depende en gran parte por el espesor de la estructura del pavimento, por ejemplo: si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone siempre que sea posible y sustituirse por un suelo de mejor calidad. Si el terreno de fundación es malo,

habría que colocar una subbase de material seleccionado antes de poner la base.

3.6.2. Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal, que no le afecta la carga de diseño que corresponde a la estructura prevista. La función es servir de soporte para el pavimento después de ser estabilizada y compactada.

Con el fin de prevenir el bombeo de los suelos finos de la subrasante ante el fenómeno llamado bombeo de lodo, que ocurre cuando la subrasante es de suelos arcillosos y limos arcillosos, y el agua de lluvia se infiltra a la subrasante, saturándola y disminuyendo la capacidad-soporte y en consecuencia, permitiendo que se aumenten las deformaciones. La subrasante o la base granular debe tener un porcentaje de finos (para tamiz No. 200) menor de 45 % y un índice de plasticidad menor de 6. El soporte que la subrasante presta al pavimento se expresa con el valor del módulo de reacción k de la subrasante, y puede ser determinado mediante ensayos en el terreno o por correlación con valores soportes establecidos mediante otros ensayos. Cuando el tiempo y el equipo de laboratorio no permiten obtener el valor de K por medio del ensayo del plato, para efectos de diseño, puede considerarse la relación aproximada entre K y el CBR a través de tablas.

3.6.2.1. Requisitos para los materiales de la subrasante

Dentro del material apropiado para la subrasante se encuentran los suelos granulares, con menos de 3 % de hinchamiento en ensayo AASHTO

T-193, que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo o sección que se está reacondicionando y que además, no sean inadecuados para la subrasante.

Son materiales inapropiados para subrasante los: suelos clasificados como A-8, que son altamente orgánicos, constituidos por materiales vegetales, parcialmente carbonizados o fangosos. La clasificación se basa en inspección visual y no dependen de pruebas de laboratorio; se compone de materia orgánica parcialmente podrida; generalmente tiene textura fibrosa; un color café oscuro o negro y olor a podredumbre; son altamente compresibles y tienen muy baja resistencia. Además, basura o impurezas, que puedan ser perjudiciales para la cimentación del pavimento.

Las rocas aisladas, mayores de 10 centímetros, que se encuentren incorporadas en los 30 centímetros superiores de la capa de suelo de subrasante.

3.6.3. Subbase

Es la primera capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito, provenientes de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de la capa subrasante pueda soportar.

Esta puede tener un espesor compactado variable por tramos, de acuerdo con las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante, pero en ningún caso el espesor debe ser menor de 10 cm. ni mayor de 70 cm.

Está constituida por una capa de material selecto o estabilizado, de un espesor compactado según las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante, pero en ningún caso menor de 10 centímetros ni mayor de 70 centímetros.

Las principales funciones de la subbase son: transmitir y distribuir las cargas provenientes de la base. Servir de material de transición entre la terracería y la base, así también como elemento aislador; previniendo la contaminación de la base cuando la terracería contenga materiales muy plásticos. Romper la capilaridad de la terracería y drenar el agua proveniente de la base hacia las cunetas.

Es importante que la subbase y la base en la sección transversal sean interceptadas por las cunetas, para que estas drenen fácilmente el agua que aquellas eliminan.

3.6.3.1. Requisitos de la subbase

La capa de la subbase debe estar constituida por suelos de tipo granular en el estado natural o mezclados, que formen y produzcan un material que llene los siguientes requisitos:

Valor soporte: el material debe tener un CBR, AASHTO T-193, mínimo de 30, efectuado sobre muestra saturada a 95 % de compactación, AASHTO T-180, o bien un valor AASHTO T-90, mayor de 50. El tamaño máximo de las piedras que contengan material de subbase, no debe exceder de 7 centímetros, el material de subbase no debe tener más de 50 % en peso, de partículas que pasen el tamiz No. 200 (0,075 mm.). La plasticidad porción que pasa el tamiz No. 40 (0,425 mm.), no debe tener un índice de plasticidad AASHTO T-90,

mayor de 6 ni un límite líquido, AASHTO T-89 mayor de 25, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo AASHTO T-146. Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 8.

Equivalente de arena. No debe ser menor de 25, determinado por el método de la AASHTO T-176. Impurezas. El material de la subbase debe estar razonablemente exento de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la capa de la subbase puedan causar, a criterio profesional, fallas en el pavimento.

3.6.4. Base

Constituye la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la subbase, permite reducir los espesores de carpeta, debido a la función estructural, importante al reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores. Además, cumple una función drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento.

Estas bases pueden ser de materiales granulares tales como piedra o grava triturada, arena y grava, mezcla o estabilizaciones mecánicas de suelos y agregados o bien suelo-cemento e inclusive de productos bituminosos y agregados pétreos. El espesor varía entre 10 y 30 centímetros. Dentro de las principales características están las siguientes:

- Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la superficie rodadura.
- Servir de material de transición entre la subbase y la carpeta de rodadura.
- Drenar el agua que se filtre a través de las carpetas y hombros, hacia las cunetas.

- Ser resistente a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producidas por el tránsito.

3.6.4.1. Requisitos para los materiales de la base de grava o piedra triturada

El material de base debe consistir en piedra o grava de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno, llenando además los requisitos siguientes:

- Valor soporte: el material debe tener un CBR AASHTO T-193, mínimo de 90 %, efectuado sobre muestra saturada a 95 % de comparación AASHTO T-180.
- Abrasión: la porción retenida en el tamiz No. 4 (4.75mm) no debe tener un desgaste mayor de 50 a 500 revoluciones en la prueba de la AASHTO T-96.
- Caras fracturadas y partículas planas o alargadas. No menos del 50 % en peso de las partículas retenidas en el tamiz No. 4 (4.75 mm) deben tener una cara fracturada ni más del 20 % en peso pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.
- Impurezas: estar libre de materia vegetal, basura o terrones de arcilla.
- Graduación del material: cumplir con AASHTO T-27 Y T-11.

3.6.4.2. Plasticidad y cohesión

Plasticidad: la porción del tamiz No. 40 (0,425 mm) no debe tener un índice de plasticidad mayor de 3 % ni un límite líquido mayor de 25 %. Material

más fino de 0,075 mm: el porcentaje que pasa el tamiz No. 00(0,075 mm), debe ser menos que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40 (0,425 mm).

Equivalente de arena: no debe ser menor de 40, determinado según AASHTO T-176.

Material de relleno: debe ser constituido por material arenoso, limo orgánico, polvo de roca con alto porcentaje de partículas que pasan el tamiz No.10 (2,00 mm).

3.6.4.3. Requisitos para los materiales de base granular

Base granular es la capa formada por la combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en el estado natural. Para constituir una base integrante de un pavimento debe cumplir con los siguientes requisitos:

Debe de tener un CBR determinado por el método de AASHTO T-193, mínimo de 70 %, efectuado sobre muestra saturada, a 95 % de compactación AASHTO T-180, con un hinchamiento máximo de 0,5 % según el ensayo de AASHTO T-193.

La porción de agregado retenida en el tamiz No. 4, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión, determinado por el método AASHTO T-96, mayor de 50, a 500 revoluciones.

No debe tener más del 25 % de partículas planas o alargadas en peso del material retenido en el tamiz No. 4, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

El material de base granular debe estar razonablemente exento de materias vegetales, basura o terrones de arcillas.

El material para capa de base granular debe llenar los requisitos de graduación determinados por los métodos de AASHTO T-27 y AASHTO T-11.

La fracción de material que pasa el tamiz No. 4, incluyendo el material de relleno, no debe tener en la porción que pasa el tamiz No.40, un índice de plasticidad mayor de 6, determinado por el método AASHTO Y-90, ni un límite líquido mayor de 25 según AASHTO T-89, determinadas ambas muestras preparadas en humedad según AASHTO T-46, el equivalente de arena no debe ser menor de 30 según AASHTO T-176.

Cuando se necesite agregar material de relleno al que se encuentra naturalmente en el material, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión este debe estar libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, polvo de roca, limo inorgánico y otro material con alto porcentaje de partículas que pasa el tamiz No. 10.

3.6.4.4. Requisitos para los materiales de base estabilizadora con cemento Portland

Base estabilizada con cemento Portland: es la capa de base, constituida de materiales pétreos y/o suelos mezclados con cemento Portland y agua, aplicando la técnica de estabilización, con el objeto de mejorar las condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, además debe cumplir con los siguientes requisitos.

- Abrasión: la porción de material retenida en el tamiz número 4, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 50 a 500 revoluciones, salvo casos especiales en donde no debe ser mayor de 60 a 500 revoluciones.
- Caras fracturadas y partículas planas o alargadas: cuando se requiera piedra o grava triturada, no menos del 50 % en peso de las partículas retenidas en el tamiz número. 4, deben de tener por lo menos, una cara fracturada. En todo caso, no más del 20 % en peso, pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas. Impurezas; el material a estabilizar debe estar razonablemente exento de materias vegetales, basura o terrones de arcilla.
- Graduación: debe de cumplir con los requisitos determinados en los métodos de graduación de la AASHTO T-27 y T-11.
- Peso: el material a estabilizar debe ser razonablemente uniforme en calidad y densidad y el peso unitario, determinado según AASHTO T-19, no debe ser menor de 60 libras / pie cúbico.
- Material de relleno: cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra en forma natural, para proporcionarle características adecuadas de granulometría este debe estar libre de impurezas.

3.6.4.5. Requisitos para los materiales de base negra

Base negra es la capa de base constituida de materiales granulares pétreos, recubiertos con material bituminoso, con el objeto de mejorar las condiciones de resistencia a la humedad y estabilidad, proporcionando una mejor distribución de las cargas de tránsito a las capas adyacentes de la estructura del pavimento. Dentro de los requisitos más importantes para los materiales se encuentran los siguientes.

Requisitos para el material pétreo. Debe consistir en piedra o grava de buena calidad, solamente clasificada o triturada total o parcialmente; combinadas con arena, polvo de roca, naturales o de trituración y material de relleno para formar un material pétreo que llene los requisitos siguientes:

- Abrasión: la porción de material retenido en el tamiz número 4 no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión, determinado por el método AASHTO Y-96, mayor de 50 a 500 revoluciones. Desintegración al sulfato de sodio: no debe tener una pérdida de peso mayor del 15 % al ser sometidas a cinco ciclos en el ensayo AASHTO T-104.
- Caras fracturadas y partículas planas o alargadas: cuando se requiera trituración, no menos del 50 % en peso de las partículas retenidas en el tamiz Núm. 4, deben tener por lo menos una cara fracturada. En todo caso, no más del 20 % en peso pueden ser partículas delgadas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.

- Impurezas: el material no debe contener materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de base negra, puedan causar, a criterio profesional, fallas en el pavimento.
- Graduación: el material debe cumplir con los requisitos de graduación determinados según AASHTO T-27 y T- 11.
- Plasticidad: la porción de material que pasa el tamiz número 4, incluyendo el material de relleno, debe tener un índice de plasticidad no mayor de 4, determinado por el método AASHTO T-90 y un límite líquido no mayor de 25, determinado por el método AASHTO T-89, determinado ambos sobre muestra preparada en húmedo, de conformidad con AASHTO T-146. El equivalente de arena no debe ser menor de 25 según AASHTO T-176.
- Peso: el material debe ser razonablemente uniforme en calidad y densidad y el peso unitario según AASHTO T-19, no debe ser menor de 80 libras / pie cúbico.
- Resistencia al desvenimiento: las partículas de material deben ser de tal naturaleza, que al recubrirlas completamente con material bituminoso del tipo y grado a usarse en la capa de base negra, no presenten evidencia de desvenimiento, permaneciendo más del 70 % de las partículas perfectamente cubiertas con material bituminoso al efectuar el ensayo de inmersión en agua a 60 grados centígrados (ensayo de la Dirección General de Caminos). El uso de aditivos como agentes antidesvenimiento está condicionado a los resultados positivos del ensayo anteriormente indicado, usando los productos propuestos en las proporciones mínimas que satisfacen el mismo. Requisitos para el material de relleno: cuando se haga necesario agregar material de relleno

al que se encuentre en estado natural, éste debe estar libre de impurezas y consistir en polvo de roca, limo inorgánico, cal hidratada, cemento Portland u otro material mineral inerte con alto porcentaje de partículas que pasan el tamiz número 30.

- Requisitos para el material bituminoso: la temperatura de aplicación y la especificación que debe cumplir el material bituminoso, dependerá del tipo y grado de asfalto, por ejemplo, para las emulsiones asfálticas deben cumplir la especificación de AASHTO M-140, y M-208, con una temperatura de aplicación entre 24 a 55 grados centígrados.
- Requisitos para la mezcla: la mezcla de material pétreo y material bituminoso, debe de llenar los requisitos ya establecidos, dependiendo cuál método de diseño de mezclas se utilice.

3.6.5. Carpeta de rodadura

Es la capa que se coloca sobre la base. El objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

La capa de rodadura también contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si el espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros).

3.7. Ensayos de suelos para pavimentos

Para diseñar cualquier tipo de pavimentos necesario hacer un estudio completo de las características del suelo de la subrasante para determinar qué tan bueno o malo es el material que va a soportar el pavimento, cumpliendo con las normas establecidas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Los ensayos de suelos deben ejecutarse de acuerdo con la división siguiente:

- Para la clasificación del tipo de suelo
- Para el control de la construcción
- Para determinar la resistencia del suelo

3.7.1. Granulometría

La granulometría es la propiedad que tienen los suelos naturales de mostrar diferentes tamaños en composición. Este ensayo consiste en clasificar las partículas de suelo por tamaños, representándolos luego en forma gráfica.

El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso, sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos.

Para clasificar por tamaños las partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos el tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación.

Conocida la composición granulométrica del material se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo.

Como tamaño de las partículas puede considerarse el diámetro de ellas, cuando es indivisible bajo la acción de una fuerza moderada, como la producida por un mazo de madera golpeando ligeramente.

De los datos se calculan los siguientes coeficientes:

Coeficiente de Uniformidad, que indica la variación del tamaño de las partículas del suelo.

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Donde

C_u = coeficiente de uniformidad

D_{60} = diámetro máximo del 60 %

D_{10} = diámetro máximo del 10 %

Coeficiente de graduación, que indica una medida de la forma de la curva entre D_{10} y D_{60} .

$$C_g = (D_{30})^2 / D_{10} * D_{60}$$

Donde

Cg = coeficiente de graduación

D 30 = diámetro máximo del 30 %

D 10 = diámetro máximo del 10 %

D 60 = diámetro máximo del 60 %

Todo el análisis granulométrico deberá ser hecho por vía húmeda según lo descrito en AASHTO T 27. En la AASHTO se clasifica el suelo en siete grupos básicos mostrados en la tabla I.

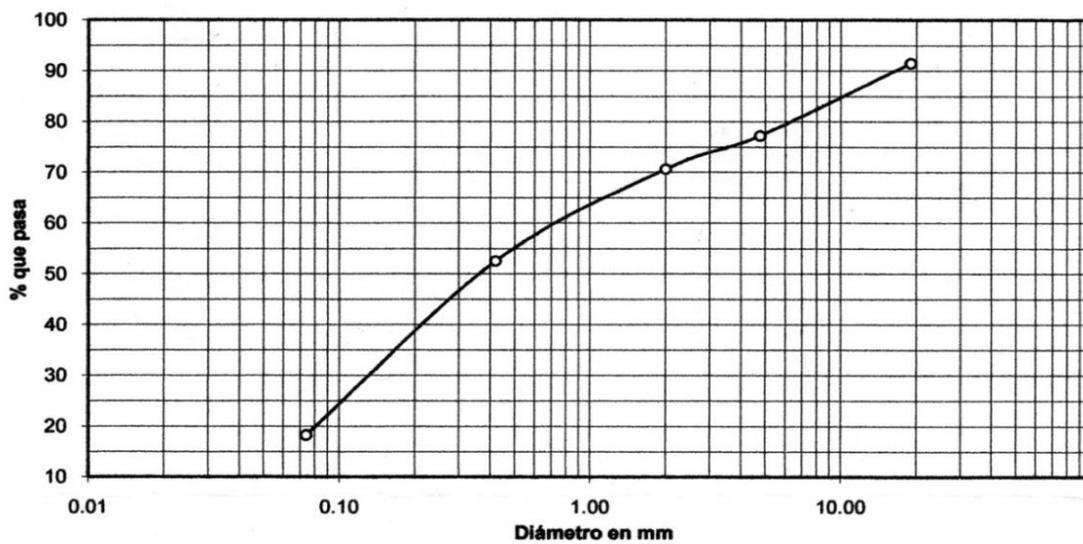
Tabla I. **Clasificación de suelos AASHTO**

CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO											
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz # 200)							Materiales limo arcillosos (más de 35% pasa el tamiz # 200)			
	A-1		A-3A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado % que pasa											
No. 10 (2.00 mm)	50 máx.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 min.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 min.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.
Consistencia											
Límite líquido	.....		.....	B				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		arena fina	Grava y arena limo arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

Fuente: BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis; BEVIÁ GARCÍA, José F. *Manual de carreteras*. p. 15

A continuación se presenta la curva granulométrica, figura 12 en donde se visualiza el porcentaje que pasa en cada tamiz. En la tabla II se encuentran los resultados del ensayo de análisis granulométrico realizado a la rasante existente en la calle de ingreso a Sector San Vicente aldea El Canchón.

Figura 12. **Curva granulométrica**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala. *Resultados de ensayos de Granulometría de suelo para el diseño del pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicente aldea El Canchón.*

Tabla II. **Resultado del ensayo de análisis granulométrico**

Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.			
Norma: AASHTO T-27, T-11			
Análisis con Tamices:			% de grava: 22,75 % de arena: 58,96 % de finos: 18,29
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa	
2"	50,8	100	
3/4"	19	91,53	
4	4,76	77,25	
10	2	70,68	
40	0,42	52,55	
200	0,074	18,29	
Descripción del suelo:		Arena limoso de color café claro	
Clasificación: S.C.U.: SM			P.R.A: A-2-6

Fuente: Norma: AASHTO T-27 Y T-1.1

De acuerdo a estos resultados, el suelo posee un 22,75 % de gravas, 5,96 % de arena y 18,29 % de finos. Con estos valores y los del ensayo anterior se clasifica el suelo como SM según el sistema de clasificación SUCS, y A-2-6 según el sistema de clasificación AASHTO, describiéndola como una arena limosa color café claro.

3.7.2. Límites de Atterberg

Sirven para determinar las propiedades plásticas de suelos arcillosos o limosos. Los límites de Atterberg de los suelos están representados por el contenido de humedad se conocen como: límite líquido y límite plástico. Un suelo arcilloso con un alto contenido de humedad posee una consistencia

semilíquida. Al perder agua por evaporación va aumentando la resistencia hasta alcanzar una consistencia plástica. Al continuar el secado, llega a adquirir un estado semisólido y se agrieta o desmorona al ser deformado. Al intervalo de contenido de humedad, en el cual un suelo posee consistencia plástica se le denomina intervalo plástico.

3.7.2.1. Límite líquido

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, respecto del peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia de estado líquido al estado plástico. El límite líquido debe determinarse con muestras del suelo que hayan cruzado la malla No. 40. Si el espécimen es arcilloso es preciso que nunca haya sido secado a humedades menores del límite plástico.

El límite líquido se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$L.L = \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Donde

L.L. = límite líquido

W = % de humedad

N = número de golpes

3.7.2.2. Límite plástico

Es el contenido de humedad expresado en porcentaje del peso secado al horno, que tiene el material cuando permite el arrollamiento en tiras de 1/8 de pulgada de diámetro sin romperse.

3.7.2.3. Índice de contracción

Representa la variación de humedad que puede tener un suelo que se conserva en estado plástico. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la calidad y del tipo de arcilla; sin embargo, el índice de plasticidad, depende, generalmente de la cantidad de arcilla del suelo.

Según Atterberg:

I.P. = 0 suelo no plástico

I.P. = 7 suelo con baja plasticidad

$7 \leq \text{I.P.} \leq 17$ suelo medianamente plástico

Tabla III. **Resultado de los ensayos de Límites de Atterberg**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
1	1	0	0	SM	Arena limosa color café claro

(*) C.S.U. = CLASIFICACIÓN SISTEMA UNIFICADO

Fuente: Norma AASHTO T-89 Y T-90.

3.7.3. Ensayo de compactación (Proctor modificado)

Permite conocer las características de compactación del suelo, que son humedad óptima y densidad máxima, con el fin de conseguir la mayor estabilidad mecánica posible en la construcción, para que las tensiones se transmitan uniforme y progresivamente y no se produzcan asentamientos excesivos o incluso el colapso del suelo, que sirve como cimiento del pavimento. Estos ensayos se dividen en proctor estándar y proctor modificado, la diferencia entre estos dos ensayos es la energía de compactación utilizada en cada uno de ellos, el modificado es 5 veces mayor que el estándar. Para el proyecto se utilizó el ensayo de proctor modificado.

Después de realizar los cálculos para los diferentes puntos ensayados se plotean en una gráfica los resultados del peso unitario seco o densidad seca, en el eje de las abscisas y el porcentaje de humedad, en el eje de las ordenadas, obteniendo así la densidad seca máxima y el porcentaje de humedad óptimo. Ver figura 13 y tabla IV.

Figura 13. Gráfica densidad seca-humedad



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala. *Resultados de ensayos de Compactación de suelo para el diseño del pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicente aldea El Canchón.*

Tabla IV. **Resultados del ensayo Proctor modificado**

ENSAYO DE COMPACTACIÓN	
Proctor modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180	
Descripción del suelo: Arena Limosa color café claro	
Densidad seca máxima: 1 408 kg/m ³ 87,9 lb/ft ³	
Humedad óptima Hop.: 21,2 %	

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala. *Resultados de ensayos de Proctor modificado para el diseño del pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicente aldea El Canchón.*

Estos resultados indican que con una humedad de 21,2 %, el suelo llega a la densidad seca máxima, que es de 1 408 kg/m³, al ser compactado.

3.7.4. Ensayo de la relación soporte California (CBR)

Fue creado como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo, para ser utilizado como subrasante o material de base en la construcción de carreteras. Mide la resistencia al corte de un suelo, bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El índice de CBR es la relación de la carga unitaria (en lb/pulg²) necesaria, para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (con área = 19,4 cm²), dentro de la

muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas, con respecto a la carga unitaria patrón requerida, para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. El CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón y se expresa de la siguiente manera.

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100$$

El número de CBR se basa usualmente en la relación de carga para una penetración de 2,5 mm, pero si el valor de CBR a una penetración de 5 mm es mayor se repite el ensayo y si al repetirse produce nuevamente un valor de CBR mayor se debe aceptar este último valor como el valor final del ensayo. Los valores de carga unitaria que deben utilizarse se muestran en la tabla II.

Tabla V. **Valores de carga unitaria para calcular el CBR**

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN	
mm	in	MPa	psi
2,5	0,1	6,9	1 000
5.00	0,2	10,3	1 500
7,5	0,3	13,00	1 900
10.00	0,4	16,00	2 300
12,7	0,5	18,00	2 600

Fuente: BOWLES, Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. p. 190.

A continuación, en la tabla VI se muestran los resultados obtenidos en el ensayo:

Tabla VI. **Resultados del ensayo de razón soporte California**

Resultados del ensayo de razón soporte California						
Ensayo de razón soporte California (C.B.R.)				Norma: A.A.S.H.T.O. T-193		
PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACIÓN		C (%)	EXPANSIÓN (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	d(lb/ft)			
1	10	19,00	75,3	85,7	0,13	20,3
2	30	19,00	79,5	90,5	0,17	54,2
3	65	19,00	85,0	96,6	0,15	105,2

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala. *Resultados de ensayos de Razón soporte California (C.B.R.) para el diseño del pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicente aldea El Canchón.*

Según los resultados, el suelo posee un índice de CBR, al 97 % de compactación, que se encuentra entre 55 y 105. Este valor es utilizado para determinar las propiedades mecánicas del suelo se emplea la capacidad soporte, obtenida mediante el índice de CBR.

3.8. Análisis de resultados del laboratorio de suelos

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados a la muestra representativa, así como las gráficas, pueden observarse en los anexos. De

estos resultados dependen los espesores de las diferentes capas que conforman el pavimento.

Clasificación PRA = A - 2 - 6

Clasificación S.C.U. = SM

Descripción del suelo = arena limosa de color café claro

Límite líquido = 0 %

Índice plástico = 0 %

Densidad seca máxima = 1 408 kg /m³ 87.9 lb /f³

Humedad óptima = 21,2 %

C.B.R. = al 97,00 % de compactación es de 105,1 % aproximadamente.

La determinación y cuantificación de las diferentes propiedades de un suelo, efectuadas mediante los ensayos vistos, tiene como objetivo último el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelo existentes atendiendo a la similitud de los caracteres físicos y las propiedades geomecánicas.

3.9. Evaluación de Impacto Ambiental

Se considera como el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad, causa sobre el medio ambiente, los objetivos generales de la EIA son:

- Proveer a los niveles decidores, información sobre los efectos ambientales del proyecto propuesto, para evaluar las distintas opciones sobre la ejecución.

- Producir, en la medida de lo posible, proyectos adecuados ambientalmente.

El proyecto de infraestructura para el drenaje pluvial no presentará impacto ambiental adverso de gran magnitud, que pudiera poner en riesgo la salud de las personas o el medioambiente, sino por el contrario se espera que tenga un efecto positivo en salud y en contaminación.

El proyecto del diseño del pavimento flexible no presentará grandes cambios para el medio ambiente, ya que la carretera a pavimentar existente es de terracería. Con este diseño se mejorarán las condiciones de esta para que se pueda transitar de una forma mejor. El manejo de la escorrentía superficial se hará procurando no alterar el entorno de la carretera.

El seguimiento lo darán los empleados de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, los cuales serán supervisados por el profesional a cargo.

La frecuencia del seguimiento se dará cuando las condiciones lo exijan, pero con un lapso de tiempo máximo de 6 meses.

3.9.1. Identificación de los factores que puedan causar impacto al medio ambiente y a qué parte está afectando

Al analizar el diseño del proyecto se determinó que los elementos bióticos, abióticos y socioeconómicos que serán impactados por el proyecto son:

3.9.1.1. El agua

Debido a que existen fuentes superficiales pequeñas, quebradas, ríos, que pueden contaminarse con el movimiento de tierra.

3.9.1.2. El suelo

Si impactaran negativamente el mismo si no se verifica los movimientos de tierra, los efectos son fácilmente prevenible.

3.9.1.3. El aire

Si no se verifican las fugas de aguas negras rápidamente hay peligro en el ambiente con malos olores.

3.9.1.4. La salud

Existe un impacto relativamente pequeño en la salud en la etapa de construcción que debido al movimiento de tierras se producirá polvo en las sucesivas etapas del proyecto.

3.9.2. Impactos negativos

Los impactos negativos del proyecto se dan solo en las etapas de construcción y operación del proyecto y la mayoría se da en la fase de construcción los elementos más impactado negativamente son:

- Suelo
- Agua

- Partículas en suspensión

3.9.2.1. Medidas de mitigación

Para evitar las polvaredas será necesario programar adecuadamente el horario de las labores de movimientos de tierra para evitar; el arrastre de partículas por el viento.

3.9.2.2. Plan de Contingencia

En áreas planas, ríos y riachuelos cercanos es común que en épocas de lluvia ocurran inundaciones con el consecuente arrastre de fango y otros materiales o cuerpos extraños que en un dado caso pudieran dañar el proyecto.

- Integrar un comité de emergencia contra inundaciones, azolvamiento en la comunidad beneficiada y además deben velar por que los lugares en donde se ubican las obras civiles se encuentran lo más despejado posible.
- Elaborar un programa de capacitación para prevención de accidentes.
- Capacitar al (o a los) trabajadores que se encargaran de darle mantenimiento al sistema especialmente sobre aspectos de limpieza de transversales y cajas de captación.
- Se debe velar porque los comunitarios no depositen la basura en las aguas superficiales para evitar obstaculizaciones al sistema.
- Para la disposición de desechos generados por las familias se debe contar con depósitos, distribuidos en lugares estratégicos.
- Capacitar al personal que laborará en el proyecto en el momento de entrar en operación para el mantenimiento y limpieza, así evitar la creación de basureros clandestinos.

3.9.2.3. Programa de Monitoreo Ambiental

- Supervisar periódicamente, si están siendo ejecutadas las medidas de supervisión y mantenimiento del sistema.
- Monitorear, si el personal utiliza el equipo necesario para la prevención de accidentes y de salud.
- Monitorear, si están organizada la comunidad de acuerdo en lo propuesto en las medidas o plan de contingencia.

3.9.2.4. Plan de Seguridad Humana

- El personal que trabajará en la ejecución del proyecto debe contar con el equipo adecuado, tal como mascarillas, guantes, overoles, botas, casco, etc., que minimicen los riesgos de accidentes de salud.
- Plan de capacitación al personal que laborará en la ejecución del proyecto sobre aspectos de salud y manejo del sistema y del equipo a utilizar.
- Mantener un lugar de fácil acceso, un botiquín con medicamentos de primeros auxilios.

3.9.2.5. Plan de Seguridad Ambiental

En el análisis de los impactos se observa que el proyecto tiene aspectos negativos al ambiente, solamente en la etapa de construcción, pero estos son fácilmente manejables mediante la implementación de las medidas de mitigación que se explicaron en el apartado de alternativas de ahí en adelante no se visualizan impactos que dañen el ambiente.

3.10. Parámetros de diseño del pavimento flexible para la calle de ingreso al Sector San Vicente

Los parámetros para la realización del diseño del proyecto son los que se describen a continuación:

3.10.1. Análisis del tránsito del Sector San Vicente

Es importante conocer el tránsito promedio diario anual que circula por la carretera existente, tomando en cuenta el porcentaje de tránsito pesado, de esta manera se conocerá la carga aproximada que debe resistir el pavimento y la acumulación de los efectos, durante el período de diseño. El tránsito promedio diario actual del camino existente es aproximadamente de 100 vehículos, con un tránsito pesado menor al 10 %.

3.10.2. Tipo de pavimento a utilizar

El tipo de pavimento a utilizar será el pavimento flexible también conocido como pavimento de asfalto es una estructura formada por varias capas como lo son la subrasante, la subbase, la base y la carpeta asfáltica; cada una con una función determinada.

Se utilizará el pavimento flexible específicamente debido a que el costo del pavimento rígido es más alto que el del pavimento flexible; en cuanto a ejecución se refiere. Para ello debe de tomarse en cuenta que se realizó la comparación tomando en consideración los mismos parámetros de diseño, en cuanto a cargas, tipo de subrasante especificaciones de materiales y tiempo.

3.10.3. Diseño geométrico del pavimento

Un diseño geométrico óptimo de carreteras es aquel que se adapta económicamente a la topografía del terreno y cumple a la vez con las características de seguridad y comodidad del vehículo; sin embargo, la selección de un trazo y la adaptabilidad al terreno depende de los criterios del diseño geométrico adoptado. Estos criterios a la vez dependen del tipo e intensidad del tráfico futuro, así como de la velocidad del proyecto

3.10.4. Diseño de localización

Consiste en diseñar la línea final de localización, la cual será definitiva. Se deben tomar en cuenta todas las normas y especificaciones técnicas que rigen las características geométricas de las carreteras del país. El diseño se estableció en la ruta la cual ya se encuentra establecida desde hace muchos años.

Primero se debe determinar el tipo de carretera para el proyecto. Esta información la brinda el TPDA (tránsito promedio diario anual), tomando en cuenta el tránsito y la velocidad a la cual se desea que viaje el vehículo como también dependiendo de otros factores como lo es la topografía del terreno, clima, etc.

Para este proyecto se tomó una carretera tipo E, ya que el tránsito promedio anual es de 100 vehículos diarios, aproximadamente. La topografía del terreno es en algunos tramos plana y en otros con una pendiente mínima, por lo que la velocidad de diseño será de 40 KPH, en la tabla VII se describen las características geométricas, que deben tener las diferentes clasificaciones de carreteras según el tránsito promedio diario y el tipo de región.

Tabla VII. **Características geométricas de la carretera en estado final**

TPD DE	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO	ANCHO DE CALZADA m	ANCHO DE TERRACERIA		Derecho de Via	Radio Minimo m	Pendiente Maxima %	Dist. Visib. de Parada		Dist. Visib. de Paso	
				CORTE m	RELENO m				Minima m	Recomendada m	Minima m	Recomendada m
3000 A 5000	TIPO 'A'		2 DE 7.20									
	REGIONES											
	LLANAS	100					375	3	175	200	700	750
	ONDULADAS	80					225	4	130	150	500	550
	MONTAÑOSAS	50					110	6	70	100	275	400
1500 A 3000	TIPO 'B'		7.2	13	12	25						
	REGIONES											
	LLANAS	80					225	6	130	150	500	550
	ONDULADAS	60					110	7	80	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	45	50	200	200
900 A 1500	TIPO 'C'		6.5	12	11	25						
	REGIONES											
	LLANAS	80					225	6	130	150	500	550
	ONDULADAS	60					110	7	80	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	45	50	200	200
500 A 900	TIPO 'D'		6.00	11	10	25						
	REGIONES											
	LLANAS	80					225	6	130	150	500	550
	ONDULADAS	60					110	7	80	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	45	50	200	200
100 A 500	TIPO 'E'		5.5	9.5	8.5	25						
	REGIONES											
	LLANAS	50					75	8	65	75	275	300
	ONDULADAS	40					47	9	45	50	200	200
	MONTAÑOSAS	30					30	10	35	40	125	150
50 A 100	TIPO 'F'		7.00 (c)	9.5	8.5	15						
	REGIONES											
	LLANAS	40					47	10	45	50	200	250
	ONDULADAS	30					30	12	35	40	125	200
	MONTAÑOSAS	20					18	14	20	25	100	150
0 A 50	TIPO 'G'		5.50 (c)	7.5	6.5	15						
	REGIONES											
	LLANAS	40					47	10	45	50	200	250
	ONDULADAS	30					30	12	35	40	125	200
	MONTAÑOSAS	20					18	14	20	25	100	150

Fuente: Departamento de carreteras, Dirección General de Caminos, *Secciones típicas*, datos generales de diseño. p. 34.

Datos generales de diseño

TPD: 100- 500 vehículos diarios

Período de diseño 20 años

Tasa de crecimiento anual de 2 %

Tasa de crecimiento vehicular 24,30 %

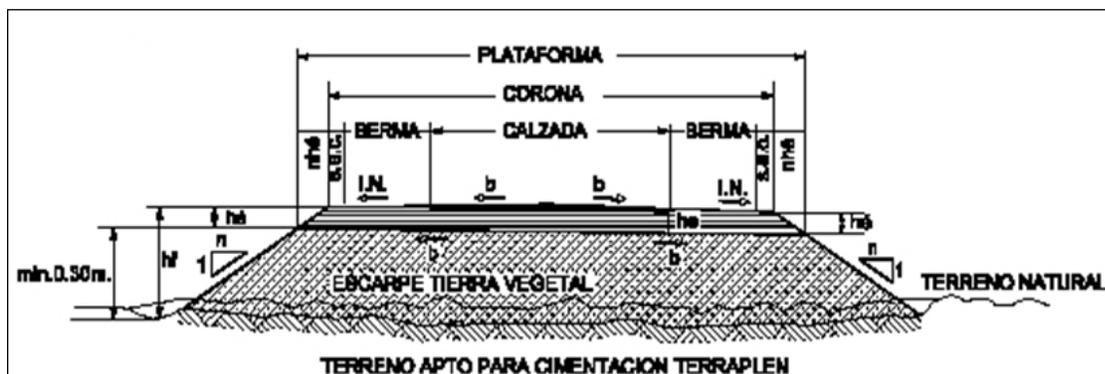
Tipo de carretera: tipo E según el TPDA
Ancho de calzada: 5,50 metros
El tipo de región de la carretera es ondulada

3.10.5. Sección transversal

La sección transversal de una carretera en un punto de estaes un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y la relación con el terreno natural.

La sección transversal de una carretera es la vista idónea para definir perfectamente los diferentes elementos que la componen: plataforma, calzada, carriles, berma, mediana, cuneta, etc., básicamente, la sección transversal proporciona información acerca de dos importantes aspectos de la vía: ancho y pendiente transversal.

Figura 14. Sección transversal



Fuente. AASHTO. *Guía para el diseño de estructuras de pavimentos*. p. 103.

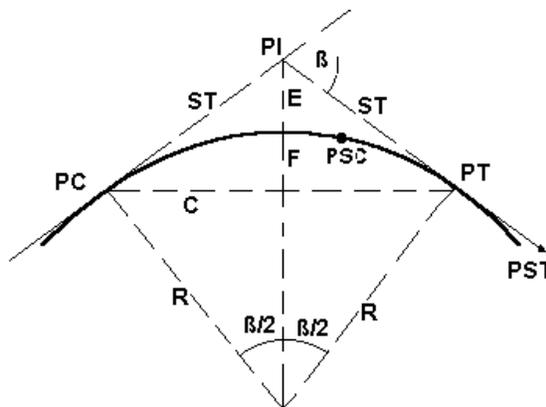
3.10.6. Diseño horizontal

El diseño horizontal es la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal. Los elementos que integran esta proyección son las tangentes y las curvas sean estas circulares o de transición. El establecimiento del alineamiento horizontal depende de la topografía y características hidrológicas del terreno, las condiciones del drenaje, las características técnicas de la subrasante y el potencial de los materiales locales.

3.10.7. Curva horizontal

La planta de una vía, al igual que el perfil de la misma está constituida por tramos rectos que se empalman por medio de curvas. Estas curvas deben tener características tales como: la facilidad en el trazo, economía en la construcción y regirse a un diseño acorde a indicaciones técnicas. Estas se calculan y se proyectan según las especificaciones del camino y requerimientos de la topografía.

Figura 15. Elementos de la curva horizontal



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Donde

PC = punto comienzo de curva

PT = punto término de curva

PI = punto de intersección de 2 alineamientos

ST = subtangente de curva

R = radio de la curva

C = longitud de curva, distancia desde el Pc al Pt

E = externa, distancia desde el PI al punto medio de la curva

Cm = cuerda máxima

Om = ordenada media es la distancia entre el punto medio de la curva al punto medio de la cuerda máxima

Δ = ángulo central de la curva, que es igual al ángulo de deflexión entre los dos alineamientos rectos y se puede calcular por la diferencia del azimut de llegada y el de salida

Donde

$$R = \frac{1\,145,9156}{G} = R = \frac{20 * 360}{2\pi G}$$

$$l_c = \frac{20 * \Delta}{G}$$

$$E = R * \left(\sec \frac{\Delta}{2} - 1\right)$$

$$C_m = 2R * \left(\sin \frac{\Delta}{2}\right)$$

$$OM = R(1 - \cos \frac{\Delta}{2})$$

$$T = R * \tan \frac{\Delta}{2}$$

$$PC_1 = POT + Tg_1$$

$$PT_1 = PC_1 + Lc_1$$

Para resolver de la siguiente manera:

Según las características geométricas de la carretera diseñada se tiene que el R mínimo de la curva es de 75, ya que es una carretera tipo E, ondulada.

$$R = \frac{1\ 145,9156}{G} = G = \frac{1\ 145,9156}{75} = 15.28 \text{ mts}$$

El PC=0+138,77

El valor Δ es 23°21'52"

$$St = 75 * \tan \frac{23^\circ 21' 52''}{2} = 15.51$$

Por lo tanto, la Lc, longitud de curva es de

$$Lc = \frac{20 * 23^\circ 21' 52''}{15.28} = 30.58$$

$$Cm = 2(15.28) * \left(\text{Sen} \frac{23^\circ 21' 52''}{2} \right) = 6.19 \text{ m}$$

$$OM = 75 \left(1 - \cos \frac{23^\circ 21' 52''}{2} \right) = 1.55 \text{ m}$$

$$E = 75 * \left(\sec \frac{23^\circ 21' 52''}{2} - 1 \right) = 1.58 \text{ m}$$

El estacionamiento principal será:

$$\text{Est. PT} = \text{Est. PC} + L_c = 0+ 169,35$$

Tabla VIII. **Tabulación de datos curvas horizontales**

Curva No.	PC		Δ	R	G	ST	Lc	Cm	Om	E	EST PT	e%	LS	SA
1	0+090,51	90,510	60°34'35"	18,920	60,566	19,089	29,888	26,876	5,601	7,957	91,731	8,700	31,000	1,380
2	0+139,77	138,770	23°21'52"	49,050	23,362	130,392	118,799	91,818	31,780	90,262	276,136	4,200	14,960	0,660
3	0+224,58	224,580	48°09'51"	49,070	23,353	-119,705	192,338	90,807	67,682	-178,442	475,998	9,400	36,000	1,090
4	0+548,30	548,300	15°41'46"	34,960	32,778	-481,821	334,555	-69,737	32,430	448,127	668,768	7,000	27,000	0,750
5	0+735,80	735,800	07°48'38"	43,560	26,307	6,044	559,403	11,974	0,413	0,417	920,953	7,500	29,000	0,800

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII se encuentran los radios que deben tener las curvas horizontales según el grado de curvatura escogido, además de otros elementos que son: peralte, sobre ancho y longitud de espiral. Se debe tomar en cuenta que la carretera será tipo E, por lo que en teoría, el radio, mínimo utilizado deberá ser de 47 m, pero habrá dificultad en algunas curvas para utilizar este radio, ya que los puntos obligados no lo permitirán.

Además de los elementos descritos anteriormente, las curvas horizontales deben contar con:

- Peralte (e %): es la sobre elevación que se le da a las curvas horizontales para contrarrestar una parte de la fuerza producida en el vehículo en

movimiento alrededor de la curva. Este está en función de la velocidad del vehículo y del radio de la curva.

- Sobre ancho (SA): ancho adicional proporcionado en las curvas, para mantener al vehículo en el centro del carril, debido a que al circular en ellas los vehículos ocupan mayor espacio que el ocupado en tangente.
- Corrimiento: se utiliza para convertir curvas espiraladas a partir de curvas circulares.
- Curvas de transición: es un tramo en forma de espiral que se localiza entre las tangentes y las curvas horizontales. Se utilizan para que el vehículo pase de forma gradual de la tangente a la curva circular, tanto en la dirección como en la sobre elevación y ampliación necesaria de la curva. La característica principal de las curvas de transición es que a través de la longitud se efectúa de manera continua el cambio en el valor de radio de curvatura, desde el infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular. A la longitud de las curvas de transición se le llama longitud de espiral (LS) y a lo largo de esta se realiza el cambio de radio, peralte, sobre ancho y corrimiento. La curva de transición más utilizada es la clotoide o espiral de Euler, que cumple con la condición de que el producto del radio y la longitud a un punto cualquiera es constante.
- Las curvas usadas en planos horizontales para conectar dos secciones tangentes rectas se llaman curvas horizontales. Se usan dos tipos: arcos circulares y espirales. Los tramos rectos (llamados tangentes) de la mayor parte de las vías terrestres de transporte, tales como carreteras están conectados por curvas en los planos tanto horizontal como vertical.

- Las curvas compuestas, mixtas e inversas no son apropiadas para las carreteras modernas de alta velocidad, los sistemas de transporte rápido; deberían evitarse si es posible. Sin embargo, en ocasiones son necesarias, como en terreno montañoso para evitar pendientes excesivas o cortes y rellenos muy grandes. El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por curvas.
- Las curvas espirales se usan en sistemas de vías férreas y de tránsito rápido, ya que funcionan como curvas de alivio. En las carreteras, rara vez se usan las espirales porque los conductores pueden dominar los cambios direccionales bruscos. Las espirales se utilizan para unir una tangente con una curva circular, una tangente con otra tangente y una curva circular con otra circular.
- Las curvas circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Son las curvas más usadas.
- La curva circular compuesta está constituida con una o más curvas simples, dispuestas una después de la otra las cuales tienen arcos de circunferencia distintos.

Tabla IX. Especificaciones para curvas circulares

C	RADIO	20 K.P.H.				30 K.P.H.				40 K.P.H.			
		DB = 10				DB = 11				DB = 12			
		e%	LS	Δ	SA	e%	LS	Δ	SA	e%	LS	Δ	SA
1	1145.92	0.20	11	0.60	0.00	0.50	17	0.80	0.00	0.80	22	1.10	0.00
2	572.96	0.40	11	1.10	0.00	0.90	17	1.70	0.00	1.60	22	2.20	0.00
3	381.97	0.60	11	1.70	0.00	1.30	17	2.50	0.00	2.30	22	3.30	0.60
4	286.48	0.80	11	2.20	0.00	1.70	17	3.30	0.60	3.00	22	4.40	0.60
5	229.18	1.00	11	2.80	0.00	2.10	17	4.20	0.60	3.70	22	5.60	0.60
6	190.99	1.20	11	3.30	0.60	2.50	17	5.00	0.60	4.40	22	6.70	0.60
7	163.70	1.30	11	3.90	0.60	2.90	17	5.80	0.60	5.00	22	7.80	0.60
8	143.24	1.50	11	4.40	0.60	3.30	17	6.70	0.60	5.50	22	8.90	0.60
9	127.32	1.70	11	5.00	0.60	3.70	17	7.50	0.60	6.10	24	10.60	0.65
10	114.59	1.90	11	5.60	0.60	4.00	17	8.30	0.61	6.60	25	12.70	0.70
11	104.17	2.10	11	6.10	0.60	4.40	17	9.20	0.65	7.00	27	15.00	0.75
12	95.49	2.20	11	6.70	0.60	4.70	17	10.10	0.70	7.50	29	17.40	0.80
13	88.15	2.40	11	7.20	0.64	5.00	18	11.70	0.74	7.90	31	19.80	0.85
14	81.85	2.60	11	7.80	0.68	5.40	19	13.40	0.79	8.20	32	22.40	0.90
15	76.39	2.70	11	8.30	0.72	5.70	20	15.10	0.83	8.60	33	24.90	0.95
16	71.62	2.90	11	8.90	0.76	6.00	21	17.00	0.87	8.90	34	27.50	0.99
17	67.41	3.10	11	9.40	0.80	6.20	22	18.90	0.92	9.10	35	30.10	1.04
18	63.66	3.20	11	10.00	0.84	6.50	23	20.90	0.96	9.40	36	32.60	1.09
19	60.31	3.40	11	10.60	0.88	6.80	24	22.90	1.00	9.50	37	35.20	1.13
20	57.30	3.60	12	11.70	0.92	7.00	25	25.00	1.05	9.70	38	37.60	1.18
21	54.57	3.70	12	12.80	0.95	7.30	26	27.20	1.09	9.80	38	40.00	1.23
22	52.09	3.90	13	14.00	0.99	7.50	27	29.40	1.13	9.90	38	42.30	1.27
23	49.82	4.00	13	15.20	1.03	7.70	28	31.70	1.17	10.00	39	44.50	1.32
24	47.75	4.20	14	16.40	1.07	7.90	28	33.90	1.22	10.00	39	46.50	1.36
25	45.84	4.30	14	17.70	1.11	8.10	29	36.20	1.26				
26	44.07	4.50	15	19.10	1.15	8.30	30	38.60	1.30				
27	42.44	4.60	15	20.40	1.19	8.50	30	40.90	1.34				
28	40.93	4.80	16	21.90	1.23	8.70	31	43.30	1.38				
29	39.51	4.90	16	23.30	1.27	8.80	31	45.70	1.42				
30	38.20	5.10	17	24.80	1.30	9.00	32	48.00	1.47				
31	36.97	5.20	17	26.30	1.34	9.10	33	50.40	1.51				
32	35.81	5.30	17	27.90	1.38	9.30	33	52.80	1.55				
33	34.72	5.50	18	29.50	1.40	9.40	33	55.10	1.59				
34	33.70	5.60	18	31.10	1.46	9.50	34	57.40	1.63				
35	32.74	5.70	19	32.80	1.50	9.60	34	59.70	1.67				
36	31.83	5.90	19	34.50	1.53	9.70	34	62.00	1.71				
37	30.97	6.00	20	36.20	1.57	9.80	35	64.20	1.75				
38	30.16	6.10	20	38.00	1.61	9.80	35	66.40	1.79				
39	29.38	6.20	20	39.70	1.65	9.90	35	68.50	1.83				
40	28.65	6.40	21	41.50	1.69	9.9	35	70.60	1.87				
41	27.95	6.50	21	43.40	1.73	10.00	35	72.60	1.92				
42	27.28	6.60	22	45.20	1.76	10.00	36	74.60	1.96				
43	26.65	6.70	22	47.10	1.80	10.00	36	76.50	2.00				

Fuente: Dirección General de Caminos.

Cálculo de peralte y sobre ancho: en la tabla IX se especifican los valores máximos de peralte y sobre ancho para cada curva según el grado de curvatura y radio. Ambos son repartidos proporcionalmente en la longitud de espiral (LS), también especificada en la tabla, tomándose la mitad a partir del PC y PT hacia fuera y la otra mitad hacia dentro de la curva, hasta que la curva se vuelve circular en el centro. Ya que se reparte proporcionalmente en el PC y

PT, el peralte y sobre ancho tendrán la mitad del valor máximo en dichos puntos. Y en el inicio de la curva de transición el valor será cero.

Para determinar la longitud de las tangentes se debe tomar en cuenta la longitud de espiral, ya que la tangente debe tener la longitud suficiente para las curvas de transición que se encuentran antes y después de ellas, por lo que la longitud de tangente mínima debe ser igual a la suma de la mitad de longitud de espiral de la curva que la precede y la mitad de la longitud de espiral de la curva posterior.

También se debe de tomar en cuenta que la longitud de la curva horizontal debe ser como igual a la longitud de tangente.

Para calcular los peraltes y sobre anchos hay que tomar en cuenta lo siguiente: se escoge el grado de curvatura para la curva, esto se hace por medio del ángulo de deflexión Δ que se tiene, en este caso para la curva No. 3 se tiene un $\Delta=48^\circ 09' 51''$ se busca un valor en la tabla IX que se aproxime a este y se escoge el posible valor de G.

Se calculan los peraltes, sobre anchos y corrimientos para la curva, estos cambian proporcionalmente con la longitud de espiral, para esta curva la longitud de espiral (LS) es 39 m (según tabla IX). Entonces los cambios en el peralte, sobre ancho y corrimiento empezarán en la estación:

$$PC - LS/2 = 224,58 - 24 = 200,58$$

y terminarán en la estación:

$$PT + LS/2 = 309,58 + 24 = 333,58.$$

Como estos elementos se reparten proporcionalmente, tomando como punto intermedio el PC y PT, el peralte, sobre ancho y corrimiento tendrán la mitad del valor máximo en estos puntos; y en los puntos:

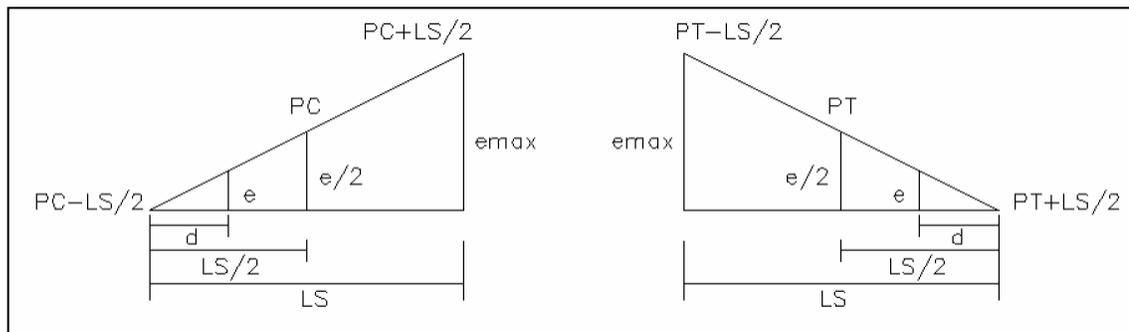
$$PC + LS/2 = 224,58 + 12 = 236,58$$

y

$$PT - LS/2 = 309,58 - 12 = 297,58$$

Tendrán el valor máximo cuando alcancen el valor máximo se mantiene este valor hasta que empiece a decrecer, no puede existir un valor mayor. En la figura 4 se ilustra el cambio proporcional del peralte, cuando se entra y sale de la curva horizontal.

Figura 16. **Cambio proporcional del peralte**



Fuente: elaboración propia con programa de AutoCAD.

Por medio de relación de triángulos se calcula el peralte a una distancia cualquiera (d).

$$\frac{e}{d} = \frac{emax}{LS}$$

$$e = \frac{d * e_{max}}{LS}$$

Para el cálculo de sobre ancho se tiene la misma relación de triángulos, entonces, para una distancia cualquiera (d) se tiene un sobre ancho:

$$\frac{SA}{d} = \frac{S_{amax}}{LS}$$

$$SA = \frac{d * S_{amax}}{LS}$$

Lecturas de corrimiento: por facilidad, los corrimientos son leídos en tablas o gráficas hechas por la Dirección General de Caminos según las velocidades de diseño y la distancia a que esté la estación deseada del PC o PT.

Tabla X. **Cálculo de elementos de curva horizontal**

No. Curva	G	RADIO	VEL. KPH	ESPECIFICACIONES				LS/2	e%/LS	SA/LS
				e%	LS	Δ	SA			
3	25	48,16	40	10	39	46	1	24	0,256	0,03

Fuente: elaboración propia.

3.11. **Proyección vertical longitudinal**

Si se proyecta sobre un plano vertical el desarrollo del eje (línea central) de la carretera se obtiene el alineamiento vertical o perfil. En esta proyección

se representa el perfil del terreno natural y el perfil del eje de la carretera, el cual se llama subrasante.

En el alineamiento vertical, todas las distancias se miden horizontalmente y todas las ordenadas desde las tangentes a la curva se miden verticalmente, así la longitud de una curva vertical es la proyección horizontal, siendo despreciable el error que resulta de esta suposición en la práctica.

La proyección vertical longitudinal está compuesta por tangentes y curvas.

3.11.1. Tangentes verticales

La longitud de una tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente; la pendiente de la tangente es la relación entre la diferencia de nivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma, expresándose en porcentaje.

3.11.1.1. Clasificación de las pendientes

- Pendiente gobernadora:
- se le llama así a la pendiente media; teóricamente se le puede dar a la línea subrasante para salvar un desnivel determinado, en función de las características del tránsito y de la configuración del terreno; para cada caso, la mejor pendiente gobernadora será aquella que permita obtener el menor costo de construcción, operación y mantenimiento.

- Pendiente máxima: se emplea para salvar ciertos obstáculos con economía en el movimiento de tierras, pero la longitud en la que se aplique no deberá ser mayor que la longitud crítica.

Según las características geométricas de la presente pavimentación, la pendiente máxima que deberá utilizarse es del 9 % según las características geométricas, tipo E, ondulada. Pero como se observará en los planos, en algunas secciones no fue posible cumplir con esta pendiente, ya que debido a los puntos obligados (casas e intersecciones) y a los cortes excesivos y peligrosos fue necesario utilizar pendientes mayores, hasta del 15 %. En los tramos en donde se presenta una pendiente grande es recomendable que se deje la mayor pendiente al principio de la cuesta, para tratar de suavizarla en el final, evitando que los vehículos pierdan velocidad al estar cargados. Si la pendiente es larga se recomienda hacer un descanso en medio de tangentes, para lograr avance; además es recomendable usar pendientes máximas en tramos cortos.

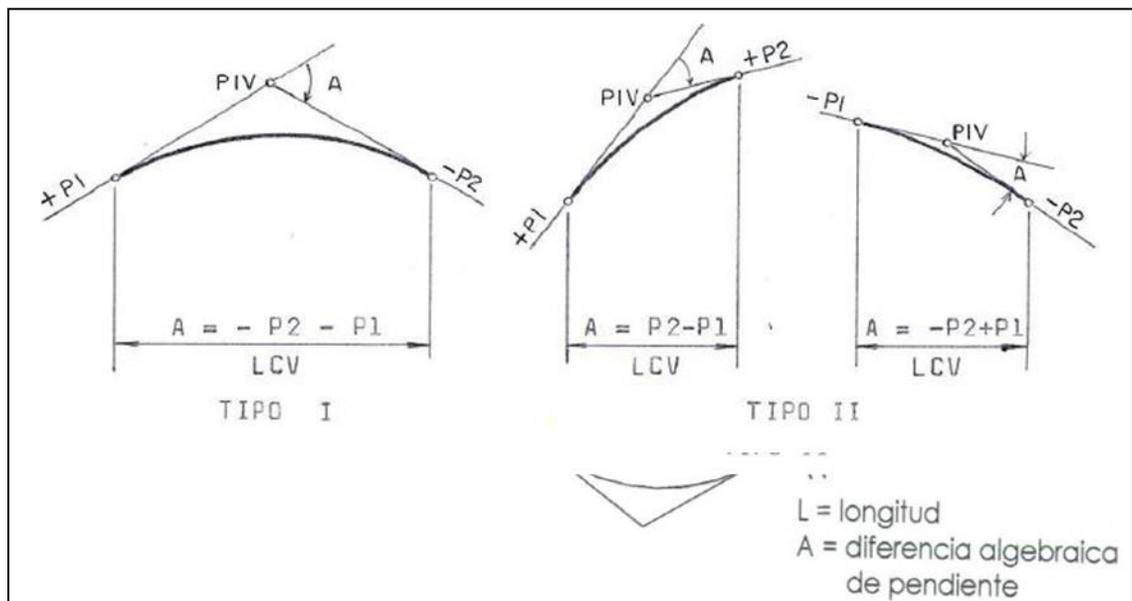
- Pendiente mínima: se fija para permitir un drenaje adecuado. En los tramos en relleno puede ser nula, pero en los tramos en corte se recomienda usar 0,5 % para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas.

3.12. Curva vertical

Tiene por objetivo suavizar los cambios en el alineamiento vertical; en la longitud se ha de efectuar el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada, a la de tangente de salida, debiendo dar por resultado un camino de operación segura y confortable, agradable apariencia y características adecuadas de drenaje.

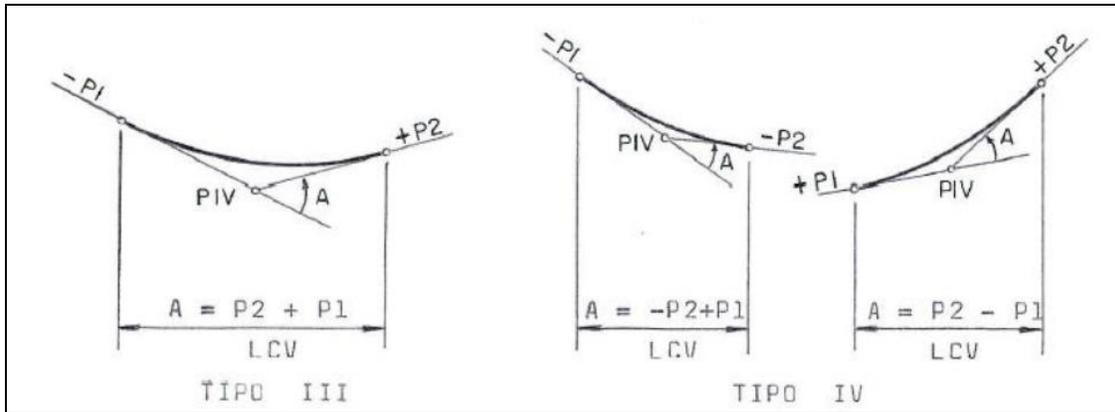
Generalmente, la curva vertical es el arco de una parábola, ya que se adapta bien al cambio gradual de dirección y permite el cálculo rápido de las elevaciones sobre la curva. Cuando las dos pendientes forman una especie de colina, la curva se llama convexa y cuando forman una depresión se llama cóncava.

Figura 17. **Curva convexa o cresta**



Fuente: CASTELAN SAYAGO, Eduardo. *Trazo y diseño de una carretera*. p. 39.

Figura 18. Curva cóncava o columpio



Fuente: CASTELAN SAYAGO, Eduardo. *Trazo y diseño de una carretera*. p. 39.

Donde

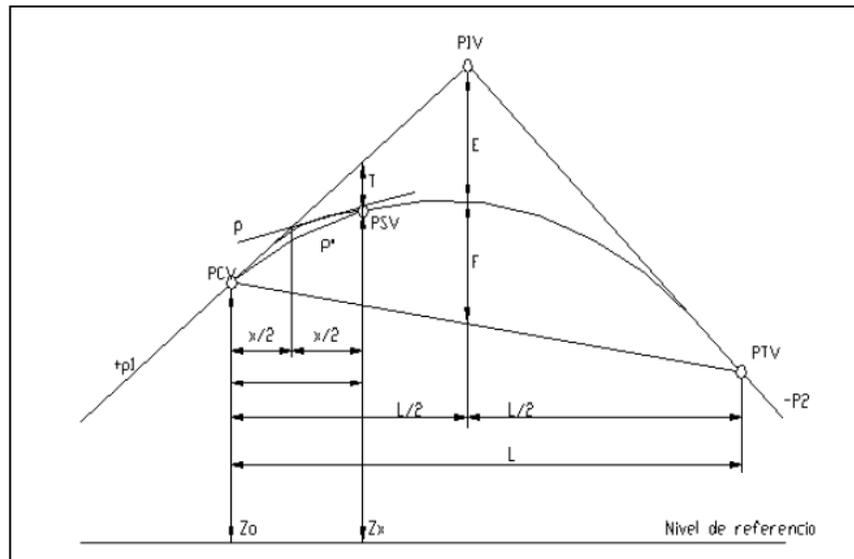
P_1 = pendiente de entrada

P_2 = pendiente de salida

A = diferencia de pendientes

LCV = longitud de curva vertical

Figura 19. Elementos de la curva vertical



Fuente: CASTELAN SAYAGO, Eduardo. *Trazo y diseño de una carretera*. p. 41.

PIV = punto de intersección de las tangentes verticales

PCV = punto en donde comienza la curva vertical

PTV = punto en donde termina la curva vertical

PSV = punto cualquiera sobre la curva vertical

p_1 = pendiente de la tangente de entrada, en m/m

p_2 = pendiente de la tangente de salida, en m/m

A = diferencia algebraica de pendientes

L = longitud de la curva vertical, en metros

K = variación de longitud por unidad de pendiente (parámetro)

X = distancia del PCV a un PSV, en metros

P = pendiente en un PSV, en m/m

P = pendiente de una cuerda, en m/m

E = externa, en metros

F = flecha, en metros

T = desviación de un PSV a la tangente de entrada, en metros

Zo = elevación del PCV, en metros

Zx = elevación de un PSV, en metros

La distancia de parada sobre una alineación recta de pendiente uniforme se calcula mediante la expresión:

$$D_p = \frac{V * t_{pr}}{3,6} = \frac{V^2}{254 * (f \pm i)}$$

Donde

Dp = distancia de visibilidad de parada(m)

V = velocidad de diseño de la carretera (Kph)

Tpr = tiempo de percepción + reacción (seg)

F = coeficiente de fricción, pav. húmedo

I = pendiente longitudinal (decimal)

+i = subida respecto al sentido de circulación

- i = bajada respecto al sentido de circulación

Tabla XI. **Valores de coeficiente de fricción y tiempo de percepción en función de la velocidad**

V	F	Tpr (s)
25	0.536	3
30	0.528	3
35	0.520	3
40	0.512	3
45	0.504	3
50	0.496	3
60	0.480	2.833
70	0.464	2.666
80	0.448	2.50
90	0.432	2.333
100	0.416	2.167
110	0.40	2.00

Fuente: CASTELÁN SAYAGO, Eduardo. *Trazo y diseño de una carretera*. p. 33.

El diseño de la pavimentación según las características geométricas, para carretera tipo E llana, la distancia de visibilidad de parada mínima es de 65 metros y la recomendada es de 75 metros.

3.12.1. Cálculo para las curvas verticales

Para calcular las longitudes de las curvas verticales se utilizó la siguiente fórmula:

$$L = A * K$$

Donde

L = longitud mínima de la curva vertical

A = diferencia algebraica de pendientes

K = constante que depende de la velocidad de diseño

Tabla XII. **Valores de la constante K**

Velocidad KPH	Valores de K según curva	
	CÓNCAVA	CONVEXA
10	1	0
20	2	1
30	4	2
40	6	4
50	9	7
60	12	12
70	17	19
80	23	29
90	29	43
100	36	60
110	81	43
120	104	50

Fuente: CASTELAN SAYAGO, Eduardo. *Trazo y diseño de una carretera*. p. 46.

La velocidad de diseño para la carretera del presente proyecto es de 40 km/h según el tipo de carretera y el TPDA.

Por lo tanto, los valores de K correspondientes para curva ya sea cóncava o convexa son:

Para cóncava es: 6 y convexa: 4.

3.12.2. Criterio para el diseño de curvas verticales

Para determinar la longitud de la curva vertical se aplican varios criterios:

3.12.2.1. Criterio de comodidad

Se aplican en curvas verticales cóncavas, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección se suma el peso propio del vehículo; el cálculo es:

$$k = \frac{L}{A} > \frac{V^2}{395}$$

Donde

K = relación entre la longitud de la curva y la diferencia algebraica de pendientes.

V = velocidad del vehículo

3.12.2.2. Criterio de apariencia

Se aplica al proyecto en curvas verticales con visibilidad completa, o sea a las curvas cóncavas, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente. Empíricamente la AASHTOO ha determinado:

$$k = \frac{L}{A} \geq 30$$

Donde

L = longitud mínima de la curva vertical

A = diferencia algebraica de pendientes

K = constante que depende de la velocidad de diseño

3.12.2.3. Criterio de drenaje

Se aplica al proyecto en curvas verticales cóncavas o convexas cuando están en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente. La AASHTO ha determinado:

$$k = \frac{L}{A} \leq 43$$

Donde

L = longitud mínima de la curva vertical

A = diferencia algebraica de pendientes

K = constante que depende de la velocidad de diseño

3.12.2.4. Criterio de seguridad

Se aplica al proyecto en curvas verticales cóncavas o convexas. La longitud de curva debe ser mayor o igual a la distancia de visibilidad de parada.

Distancia de visibilidad de parada: es la mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja, antes de que alcance un objeto inmóvil que se encuentra en la trayectoria. Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor a 0,15 m, estando situados los ojos del conductor a 1,15 m, sobre la rasante del eje de la pista de circulación.

Para realizar las correcciones máximas en las curvas verticales se debe calcular la ordenada media de la siguiente manera:

$$OM = \frac{Ps - Pe}{800} * LCV$$

Donde

OM = ordenada media

Pe = pendiente de entrada

Ps = pendiente de salida

LCV = longitud de curva vertical

Para corregir cualquier punto en una curva vertical se utiliza la fórmula siguiente:

$$Y = \frac{OM}{\left(\frac{LCV}{2}\right)^2} * D^2$$

Donde

Y = corrección en cualquier punto de la curva

D = distancia del punto intermedio de la curva (PIV) a la estación deseada.

Para la curva vertical No. 9, en donde se escogió una longitud de curva vertical LCV = 60m (ver tabla XII) se tiene un $\Delta = Ps - Pe = 6,67 \% - 2,00 = 4,67$ %. Entonces la ordenada media es:

$$OM = \frac{4,67}{800} * 60 = 0,35$$

Las correcciones se calculan de la siguiente manera (tomando como ejemplo la estación 0+700):

$$Y = \frac{0,35}{\left(\frac{60}{2}\right)^2} * (750 - 720)^2 = 0,35$$

Subrasante corregida = subrasante + Y

Subrasante corregida = 122,65 + 0,35 = 123

Tabla XIII. **Tabulación de curvas verticales**

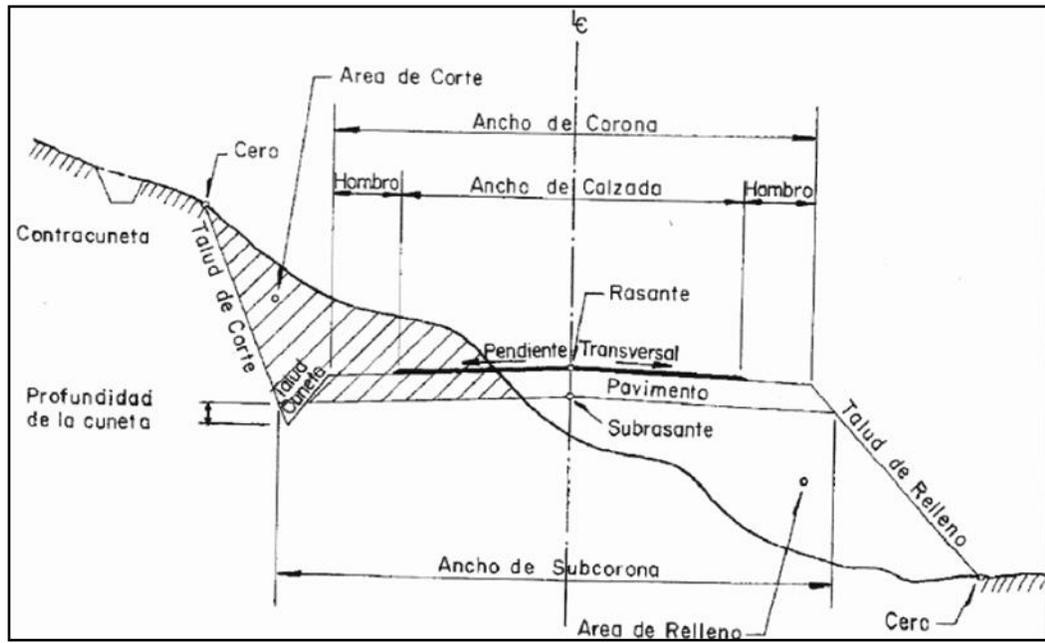
No. Curva	Pe	Ps	K	Δ	LCV	OM	Est	Est PIV	D ²	(LCV/2) ²	Corrección (Y)	SUNRASANTE	SUBRASANTE CORREGIDA
1	1.70	-32.00	0.593	-13.40	20	-0.33	10.00	20	100	100	-0.3345	100.15	998.155
2	-32.00	-11.68	0.459	-13.40	20	0.335	30.00	40	100	100	0.33455	93.90	9.423.455
3	-11.68	7.62	4.144	19.30	80	-1.93	80.00	120	1600	1600	-1.929	84.55	82.621
4	7.62	2.44	11.594	-5.17	60	0.388	180.00	210	900	900	0.38775	91.41	9.179.775
5	2.44	13.47	3.629	11.00	40	0.551	320.00	340	400	400	0.551	94.59	95.141
6	13.47	1.16	6.501	-12.30	80	1.23	390.00	430	1600	1600	1.230	106.71	107.94
7	1.16	15.30	4.245	14.10	60	-1.06	530.00	560	900	900	-105.975	108.21	10.715.025
8	15.30	2.00	6.018	-13.30	80	1.329	600.00	640	1600	1600	1.329	120.45	121.779
9	2.00	6.68	12.831	4.67	60	0.35	720.00	750	900	900	0.35025	122.65	123.00

Fuente: elaboración propia.

3.13. Secciones transversales

La sección transversal de una carretera se concibe como la solución a los diferentes estudios que engloban aspectos relativos a la capacidad de la vía, a la seguridad y al coste económico. Se describirán los elementos de la sección transversal normalizando las dimensiones e inclinaciones, donde sea procedente.

Figura 20. **Sección transversal en tangente**



Fuente: CASTELAN SAYAGO, Eduardo. *Trazo y diseño de una carretera*. p. 54.

3.13.1. Elementos de una sección transversal

- Corona: es la superficie de la carretera que queda comprendida entre las aristas del relleno y/o las interiores de las cunetas. Los elementos que definen la corona son: la rasante, la pendiente transversal, el ancho de calzada y los hombros.
- Rasante: es la línea que se obtiene al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo de la corona del camino. En la sección típica está representada por un punto.
- Pendiente transversal: es la pendiente que se da a la corona en dirección perpendicular al eje de la carretera.

- Bombeo: es la pendiente que se le da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad. Los siguientes son los valores recomendables según el tipo de superficie:

Tabla XIV. **Valores del bombeo dependiendo la superficie**

TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO	CONDICIÓN	BOMBEO
Superficie de concreto hidráulico o asfáltico tendido con extendedoras mecánicas	Muy buena	1,0% a 2,0%
Superficie de mezclas asfálticas tendidas con conformadoras. Carpetas de riego asfáltico.	Buena	1,5% a 3,0%
Superficie de tierra o grava	Regular a mala	2,0% a 4,0%

Fuente: OCAMPO RODRÍGUEZ, Hugo. *Normas de diseño geométrico sección transversal*. p. 46

- Peralte o sobre elevación: es la inclinación que se le da a la corona de una carretera en los tramos en curva del alineamiento horizontal para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento.
- Transición del bombeo al peralte: en el alineamiento horizontal al pasar de un tramo en tangente a otro en curva se requiere cambiar la pendiente de la corona desde el bombeo hasta el peralte que le corresponde a la curva.

- Distancia de bombeo: en esta distancia se hace girar el carril contrario al sentido de la curva desde el bombeo correspondiente a la tangente hasta 0 %.
- Distancia de transición: esta distancia puede ser la espiral de transición, en ella se continúa girando el carril hasta ser colineal con el otro carril, aplicándose luego el giro a toda la sección hasta alcanzar el peralte que le corresponde a la curva.
- Ancho de calzada en tangente: este ancho se determina después de establecer el nivel de servicio al final del período de diseño de la carretera; con este dato y los estudios económicos de la región se puede determinar el ancho y el número de carriles necesarios, de tal manera que el volumen de tránsito al final del período de diseño no exceda el volumen correspondiente al nivel de servicio previamente establecido.
- Ancho de calzada en curva: cuando un vehículo circula por una curva del alineamiento horizontal, ocupa un ancho mayor que cuando circula en tangente. Ello es debido a que las ruedas traseras del vehículo siguen una trayectoria distinta a la de las ruedas delanteras ya que los conductores tienen generalmente dificultad en mantener el vehículo en el centro del carril correspondiente, por lo que se necesita proporcionar un ancho adicional a la calzada respecto al ancho en tangente, llamándosele sobreamcho a este ancho adicional.
- Hombros: se le llama así al área o superficie adyacente a ambos lados de la calzada. Tiene como ventajas principales que:

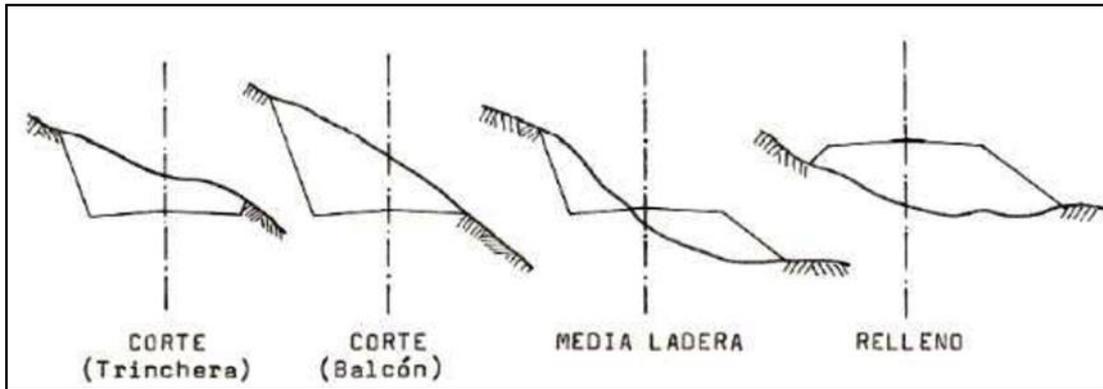
- Protegen contra la humedad y posibles erosiones a la calzada y le proporciona mejor confinamiento al pavimento.
- Proporcionan seguridad al usuario de la carretera, al tener a la disposición un ancho adicional fuera de la calzada para eludir accidentes potenciales o reducir la severidad y para estacionamiento de vehículos en casos obligados.
- Le dan mejor apariencia a la carretera y facilitan los trabajos de conservación.
- Subcorona: es la superficie que limita a la terracería y sobre la que se apoyan las capas del pavimento; entendiéndose por terracería al volumen de material que hay que cortar o rellenar para formar el camino hasta la subcorona.
- Subrasante: se refiere a la proyección del eje de la subcorona en el alineamiento vertical. Es la línea que se presenta en el diseño vertical; en la sección transversal está representada por un punto.
- Cunetas: las cunetas son canales que se construyen a ambos lados y paralelamente a la carretera, con el fin de drenar el agua de lluvia que cae sobre la misma y sobre las aéreas de los taludes. La sección transversal de las cunetas es variable siendo las más comunes las formas triangulares, trapezoidales y cuadradas. La pendiente longitudinal de las cunetas, generalmente es la misma de la carretera, pero puede variarse si las condiciones de drenaje así lo requieren.

- **Contracunetas:** son canales que se construyen en uno o en ambos lados de la carretera, paralelamente a ella y fuera de los límites de construcción, con el fin de drenar el agua de lluvia que cae sobre las áreas contiguas a dichos límites.
- **Rodadura:** es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.
- **Partes complementarias:** son aquellos elementos de la sección típica que se usan ocasionalmente y que sirven para mejorar la operación y conservación de las carreteras. Esos elementos son los bordillos, banquetas y fajas separadoras (arriates). Las defensas y los dispositivos para el control del tránsito también pueden considerarse como partes de la sección típica.

3.14. Cálculos para los movimientos de tierra

De acuerdo con la topografía, predominará un tipo de sección transversal que será típica para ese tramo, así, hay carreteras cuya sección está toda en corte y tramo, entonces se dice que está en trinchera; otras veces, el tramo es de relleno y sección, y se dice que está en relleno. Cuando se combina transversalmente el corte y el relleno, la sección es en media ladera, y si esta toda en corte, con el borde exterior de la subcorona coincidiendo con el terreno, la sección está en ladera o en balcón. Estos tipos de sección se muestran en la siguiente figura 21.

Figura 21. **Secciones transversales típicas**



Fuente: CASTELAN SAYAGO, Eduardo. *Trazo y diseño de una carretera*. p. 25.

El volumen de material que hay que cortar o rellenar para construir una carretera hasta la subcorona se le conoce como terracería; la subcorona es la superficie que limita la terracería y sobre la que se apoyan las capas del pavimento o estructura de la carretera.

La diferencia de cotas entre el terreno natural y la subcorona, define los espesores de corte o de relleno en el eje de la carretera. A los puntos intermedios en donde esta diferencia es nula se les llama puntos de paso. A los puntos extremos de la sección transversal donde los taludes cortan al terreno natural se les llama ceros y, a las líneas que los unen a lo largo de la carretera, líneas de pie de talud.

Para proyectos de carreteras ha sido práctica común utilizar taludes de corte y relleno que se han fijado de acuerdo con la altura, debido a que el cálculo del movimiento de tierras es estimativo; sin embargo, para la construcción de la carretera, el talud no se debe fijar arbitrariamente, sino que se debe tomar en cuenta la naturaleza del material que lo forma, por lo que es

necesario realizar estudios con el detalle suficiente, a fin de fijar de un modo racional, los taludes y los procedimientos de construcción.

Para proyectos los taludes usuales son los siguientes:

Tabla XV. **Inclinación de taludes**

TALUD DE CORTE			TALUD DE RELLENO		
h en m	Horizontal	Vertical	h en m	Horizontal	Vertical
0 a 3	1	1	0 a 3	1	1
3 a 7	1	2	mas de 3	1	2
mas de 7	1	3			

Fuente: Departamento de Carreteras, Dirección General de Caminos.

Los taludes son los planos inclinados de la terracería que delimitan los volúmenes de corte o relleno. El talud es la inclinación del parámetro de los cortes o de los rellenos se expresa numéricamente por el recíproco de la pendiente.

El diseño de los taludes está influenciado por diversas consideraciones, tales como: la estabilidad estructural, las causas climáticas y la apariencia. La estabilidad del talud depende de la naturaleza del material que se ha encontrado y del método de construcción que se utilice.

Dibujada la sección se procede a sacar las áreas que pueden ser encontradas de las siguientes maneras:

- Por medio del planímetro
- Descomposición en figuras, métodos geométricos o gráficos

- Método matricial (coordenadas)
- AutoCAD

Una vez obtenida el área se procede a la cubicación, esto es, el cálculo de los volúmenes de corte y relleno.

3.15. Consideraciones de diseño del pavimento flexible según la ASSHTO 93

El actual método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos de carreteras. En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito.

El diseño de pavimentos constituye por tanto la aplicación práctica de lo que ha dado a llamar mecánica de pavimentos; la cual tiene como objetivo definir los materiales y espesores de las capas que lo constituyen, siendo ambos aspectos los que determinarán las características estructurales a corto y largo plazo.

El fin que se persigue no es otro que proyectar una estructura multicapa económicamente satisfactoria que sea capaz de servir como soporte a la rodadura de los vehículos durante un tiempo mínimo adecuado y previsto el período de proyecto, sin que los materiales que la constituyen ni las capas de suelo subyacentes se deformen excesivamente.

3.16. Factores a considerar en el cálculo y diseño

El proyecto de un pavimento debe perseguir una optimización resistente y funcional de la estructura, con un coste global mínimo que incluya los costes de construcción, conservación y rehabilitación en un período comprendido entre los 30 y 50 años, denominado período de proyecto.

A continuación se describen las variables que se deben tomar en cuenta en el diseño de pavimentos flexibles según la AASHTO-93

Período de diseño

Tránsito

Confiabilidad

Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad

Propiedades de los materiales

Drenaje

3.17. Período de diseño

Un pavimento debe ser diseñado para soportar los efectos acumulados del tránsito para cualquier período de tiempo; el período seleccionado, en años se define como Período de diseño. Al término de este se espera que el pavimento requiera alguna acción de rehabilitación mayor, como puede ser una sobre carpeta de refuerzo para restaurar la condición original. La vida útil del pavimento o Período de Análisis, puede ser extendida indefinidamente, a través de sobre carpetas u otras acciones de rehabilitación, hasta que la carretera sea obsoleta por cambios significativos en pendientes, alineamiento geométrico y otros factores.

Es importante hacer notar que la metodología original de AASHTO usualmente consideraba períodos de diseño de 20 años; en la versión actual de 1993, recomienda los siguientes períodos de diseño en función del tipo de carretera:

El período de diseño será de 15-25 años.

Tabla XVI. **Períodos de diseño en función del tipo de carretera**

TIPO DE CARRETERA	PERÍODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30-50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20-50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15-25 años
Revestida con bajos volúmenes de tránsito	10-20 años

Fuente: SIECA. *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales*. p. 24.

3.18. Tránsito

El tránsito es una de las variables más significativas del diseño de pavimentos y sin embargo, es una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse. Es importante hacer notar que se debe contar con la información más precisa posible del tránsito para el diseño, ya que de no ser así se podrían tener diseños inseguros o con un grado importante de sobre diseño.

La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada el número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para el camino.

3.18.1. Vehículos de diseño

La tipología de los vehículos automotores que circulan por las carreteras regionales de Centroamérica admite que, en primer término se ubiquen en un extremo los vehículos livianos que son los más numerosos en la corriente vehicular e incluyen los automóviles compactos y subcompactos, los jeeps, las camionetas agrícolas y los pickups, mientras que los vehículos pesados, en el otro extremo de la clasificación, no admiten una sola representación, sino que requieren ser desglosados para la correcta identificación como elementos condicionantes de algunos aspectos del diseño geométrico de las carreteras.

En correspondencia con la simbología que utiliza la AASHTO en el manual de diseño geométrico, cabría seleccionar cinco vehículos para el diseño de las carreteras regionales. El vehículo tipo P corresponde a la categoría de vehículos livianos, que representa el automóvil. El vehículo representativo de las unidades de transporte colectivo es el autobús sencillo, corresponde al tipo BUS. El camión de tres ejes no aparece en la clasificación de la AASHTO, pero puede asimilarse al camión sencillo de dos ejes identificado como SU, por ser más restrictivo que los vehículos articulados.

3.18.2. Volumen de tránsito

Al proyectar una calle o carretera, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de la variación de tasa de crecimiento y de la composición.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos sobre

puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Estos datos de volúmenes de tránsito son expresados respecto del tiempo y del conocimiento se hace posible el desarrollo de estimaciones razonables de la calidad de servicio prestado a los usuarios.

3.18.3. Tránsito promedio diario anual, TPDA

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición.

El TPDA es de 100-500; el mismo fue establecido después de realizar un aproximado de la cantidad de personas que este medio de transporte.

3.19. Ejes equivalentes

El método AASHTO utiliza en la formulación el número de repeticiones esperadas de carga de ejes equivalentes; se deberá contemplar el crecimiento del tráfico durante la vida útil, que depende en gran medida del desarrollo económico y social de la zona en cuestión; del mejoramiento de las características del pavimento se puede generar tráfico atraído e igualmente se debe considerar la capacidad de tráfico de la vía.

El factor equivalente de carga es un valor que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una carga dada de un tipo de eje y la producida por el eje equivalente. Este factor cambia de acuerdo con el tipo de

pavimento flexible, debido a que cada uno responde de manera diferente a una carga aplicada

Para el cálculo del tránsito el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb (8.2 ton) acumulados durante el período de diseño,

Teniendo ya la distribución de los vehículos en circulación y ya realizado el cálculo del TPDA se obtiene entonces el total de vehículos distribuidos por tipo, los vacíos, los cargados y los pesos de los ejes en los diferentes tramos de carga.

Los pesos que se encuentran en esta estratigrafía requieren ser expresados en términos de un denominador común, por lo que se usan factores de equivalencia que permiten transformar los pesos de los diferentes estratos a un solo eje equivalente.

Para obtener los ejes equivalentes por tipo de vehículo y de estrato se amplifica cada uno de los valores por la proyección del crecimiento y se obtiene posteriormente el total de los ejes equivalentes por estrato, como la suma de los diferentes períodos y del mismo modo los ejes equivalentes totales que solicitarán el pavimento durante la vida de diseño.

3.20. Serviciabilidad

La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía se mide en una escala del 0 al 5 en donde 0 (cero) significa una calificación para pavimento intransitable y 5 (cinco) para un pavimento excelente. La serviciabilidad es una

medida subjetiva de la calificación del pavimento, sin embargo la tendencia es poder definirla con parámetros medibles como: el índice de perfil, índice de rugosidad internacional, coeficiente de fricción, distancias de frenado, visibilidad, etc.

Mientras mejor se construya inicialmente un pavimento o bien, mientras mejor índice de serviciabilidad inicial tenga, mayor será la vida útil; esto es debido a que las curvas de deterioro se comportan de manera paralela o con el mismo gradiente para unas condiciones determinadas.

Índice de serviciabilidad inicial:

$P_o = 4,2$ para pavimentos flexibles

Índice de serviciabilidad final:

$P_t = 2,0$ para caminos de tránsito menor

3.21. Confiabilidad

La confiabilidad está definida como la probabilidad de que un pavimento desarrolle la función durante la vida útil en condiciones adecuadas para la operación"

Otra manera de entender la confiabilidad, por ejemplo es: si se considera una confiabilidad R del 80 % se estaría permitiendo que el 20 % del pavimento alcance al final de la vida útil una serviciabilidad igual a la final seleccionada en el diseño.

También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad y ante esa situación es necesario reflexionar sobre los valores de

confiabilidad que se deben utilizar en Guatemala, con el mejor de los criterios, al hacer un diseño para un pavimento.

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro R de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden a obras o caminos locales y secundarios. El valor de la confiabilidad siendo la presente pavimentación una red secundariaes de 80.

Tabla XVII. **Valores de r de confiabilidad con diferentes clasificaciones funcionales**

Niveles de Confiabilidad	
Clasificación Funcional	Nivel Recomendado por AASHTO
Carretera Interestatal o Autopista	80 – 99,9
Red Principal	75 - 95
Red Secundaria	75 - 95
Red Rural	50 - 80

Fuente: SIECA. *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales*. p. 58.

3.22. Diseño de la estructura de pavimento flexible

El Sector San Vicente, de la aldea El Canchón es una de las aldeas más transitadas del municipio de Santa Catarina Pinula. Por lo cual se realiza el diseño de la carretera basándose en un T.P.D en un aproximado de 100-500.

Tabla XVIII. **Clasificación de carreteras**

Tipo de carretera	Ancho de calzada
Tipo A	2 X 7.20 m
Tipo B	7.20 m
Tipo C	6.50 m
Tipo D	6.00 m
Tipo E	5.50 m
Tipo F	5.50 m

Fuente: Departamento de Carreteras, Dirección General de Caminos. *Secciones típicas*. p. 45.

Tabla XIX. Factores de crecimiento de tránsito

Período de análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de crecimiento anual (g) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Fuente: Tabla D-20 AASHTO. *Guía para el diseño de estructuras de pavimento.*

La tasa de crecimiento es anual es del 2 %, el período de análisis es de 20 años de diseño se trabaja con un factor de crecimiento de tránsito del 24,30 %.

Teniendo definido el tipo de TPDA y la carretera se puede mediante el cuadro de características geométricas, determinar los siguientes valores:

- Velocidad de diseño 40 km/h
- Derecho de vía es de 25 m
- Radio mínimo es de 47 m
- Pendiente máxima de 8 %.

Distribución de tránsito para el diseño de la carretera:

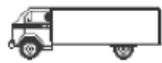
- Tipo de vehículo = Ap
 - Peso del vehículo = 2,0 Toneladas
 - % de vehículos= 18,44 %
 - Cantidad de vehículos= 95

- Tipo de vehículo = AC
 - Peso de vehículo = 4,9 Toneladas
 - % de vehículo= 23,30 %
 - Cantidad de vehículos= 120

- Tipo de vehículo= B
 - Peso de vehículo= 12,5 Toneladas
 - % de vehículo = 53,40 %
 - Cantidad de vehículos= 275

- Tipo de vehículo = C2
 - Peso de vehículo= 15,5 Toneladas
 - % de vehículos= 5 %
 - Cantidad de vehículos= 25
 - Total de vehículos cargados= 515

Figura 22. Tipo de vehículo

TIPO DE VEHICULO		Núm. de Ejes	ESQUEMAS		
			PERFIL	PLANTA	
VEHICULOS LIGEROS	Automoviles	2			Ap
	Camionetas				Ap
VEHICULOS PESADOS	Autobuses	2			B
	Camiones	2			C2
		3			C3
					T2 - S1
		4			T2 - S2
		5			T3 - S2
					T2 - S1 R2

Fue

nte: Secciones típicas. Departamento de Carreteras, Dirección General de Caminos.

Tabla XX. **Calculo de ejes equivalentes de 18 kips. en carga simple**

Tipo de vehiculo	Cantidad de vehiculos diarios "A"	Factor de crecimiento "B"	Transito de diseño "C"	ESAL's Factor "D"	ESAL's de diseño "E"
Vehiculos sencillos		6%			2,00
Autos	115	36,79	1 544 260,25	0,003	4 632,78
Camiones eje simple	B	2%			
Pick-ups	98	24,3	869 211,00	5,21	4 528 589,31
Otros vehiculos 2 ejes y cuatro ruedas (agricola)	56	24,3	496 692,00	5,21	2 587 765,32
Camiones de 2 ejes 6 ruedas	35	24,3	310 432,50	11,3	3 507 887,25
Total de vehiculos	304			ESAL's de diseño	10 628 876,66

Fuente: elaboración propia.

Factor de dirección 0,5

Factor de carril: 0,9

ESAL's por carril de tránsito $0,5 \times 0,9 \times 10,628\ 876,66 = 4\ 782,99$

En la columna A de la tabla XX se pondrá la cantidad diaria de cada tipo de vehículo especificado y del cual se tenga el conteo correspondiente.

En la columna B de la tabla XX se colocará el correspondiente factor de crecimiento para cada tipo de vehículo, el cual depende de la tasa de

crecimiento asumida para cada tipo de vehículo y el período de diseño considerado, cada tipo de vehículo puede tener una tasa de crecimiento distinta según la tabla XX.

En la columna C se coloca el producto de las columnas A y B multiplicado por 365 (días del año).

En la columna D se coloca el factor de ESAL's, que depende de cada peso y configuración o tipo de camión (ejes simples, tándem o tridem) y los valores asumidos de índice de serviciabilidad final y el número estructural (SN para pavimentos flexibles).

La columna E es el producto de la C por la D y la suma de esta columna E es el número total de ESAL's para el diseño del pavimento considerado y el cual debe afectarse por el factor de distribución por dirección y el factor de distribución por carril.

Tabla XXI. **Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2,0**

Carga p/eje (kips) ^o	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Fuente: Manual Centroamericano de Pavimentos.

3.23. Espesores de diseño

Los métodos para el diseño de este tipo de carretera:

- Método de AASHTO, 1993 y método del Instituto de Asfalto. En los pavimentos de mezclas asfálticas por medio de la fórmula de diseño se obtiene el número estructural (SN) y en función del mismo se determinan los distintos espesores de las capas que conforman el paquete estructural; el diseño está basado en la identificación del número estructural del pavimento flexible y la cantidad de ejes de carga transitando.

En la figura 23 se ilustra el ábaco por medio del cual se obtiene el número estructural. Las variables para determinar el número estructural de diseño requerido son las siguientes:

- La cantidad estimada de ejes equivalentes (ESAL's) por carril, para el período de diseño.
- ESAL's de diseño 10 628 876,66.
- La confiabilidad (R).
- El conjunto total de las desviaciones estándar (So) se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:
 - Para pavimentos flexibles 0,40 . 0,50
 - En construcción nueva 035 . 040
 - En sobre-capas 0,50

El módulo de resiliencia efectivo (que tome en cuenta las variaciones a lo largo del año) de la subrasante (Mr). El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a la vez las características no lineales del comportamiento. Convenientemente se han reportado factores que pueden ser usados para estimar el módulo de resiliencia (Mr) con el CBR, el valor R y el índice de suelo. Se han dado correlaciones para encontrar el valor del módulo de resiliencia (Mr) como la siguiente relación:

$$Mr = B \times CBR$$

Ensayo de razón Soporte California C.B.R, al 97 % de compactación es de 105,1 %

$$\text{La pérdida de serviciabilidad } PSI = Po . Pt$$

La fórmula general que relaciona el número estructural (SN) con los espesores de capa es la siguiente:

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

Donde

a_1, a_2, a_3 = son los coeficientes estructurales o de capa, de la superficie de rodadura, base y subbase respectivamente.

m_2, m_3 = son los coeficientes de drenaje para base y subbase.

D_1, D_2, D_3 = son los espesores de capa en pulgadas para la superficie de rodadura, base y subbase.

Datos para el cálculo

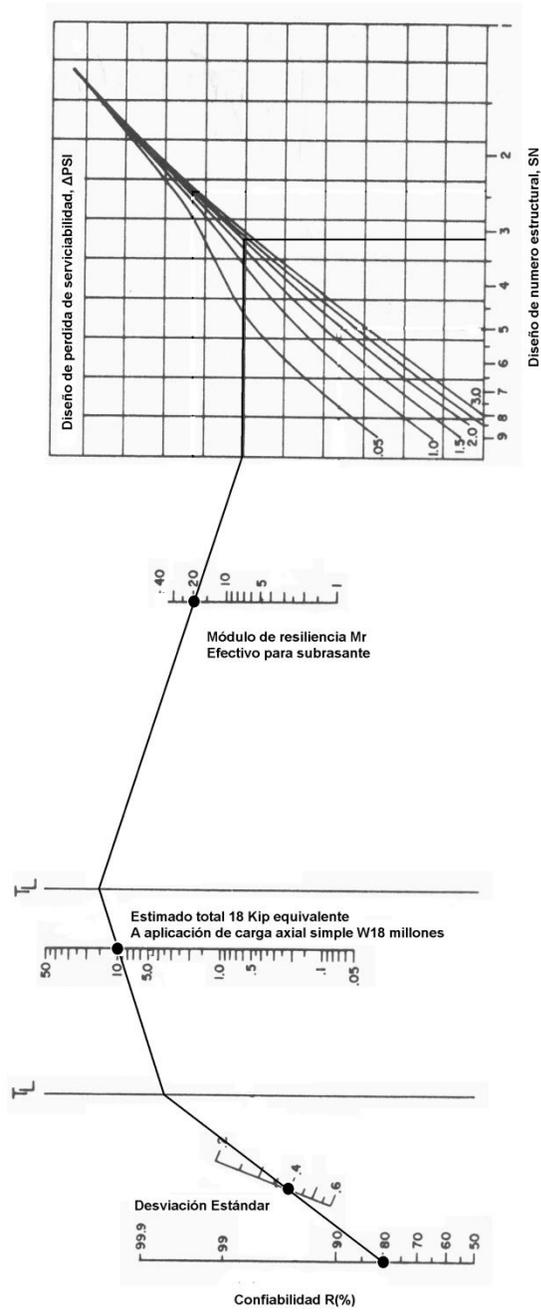
- La cantidad estimada de ejes equivalentes (ESAL's) 10 628 876,66
- La desviación estándar pavimentos flexibles: 0,4
- La confiabilidad (R) 80 %
- La pérdida de serviciabilidad PSI: 2.2
- Módulo de resiliencia con ayuda de la tabla XXII

Tabla XXII. **Valor del módulo de resiliencia de los materiales**

Material	Mr
Capa asfáltica	4000
Base	35
Subbase	24
Subrasante	20

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

Figura 23. **Diseño de número estructural**



Fuente: AASHTO. *Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos.*

De acuerdo a los Módulos de Resiliencia (M_r) se obtienen los números estructurales de diseño (SN), utilizando el ábaco de la figura 23, de la siguiente forma:

- Comenzando en el lado izquierdo del ábaco, en donde dice Confiabilidad R (%) se inicia con valor de $R = 0,8$.
- En la siguiente línea inclinada que dice Desviación Standard S_o . se marca el valor de $S_o = 0,4$ y uniendo este punto con el de $R = 0,80$ del punto anterior se traza una línea que intercepte la siguiente línea en un punto que va a servir de pivote.
- En la siguiente línea vertical dice. No. total de ESAL's aplicados W18 (millones). en esta se encuentra el valor de 10×10^6 ESAL's = $10\ 628\ 876,66 = 10$ en el ábaco; entonces uniendo el punto de pivote de la línea anterior con este nuevo punto se encuentra otro punto pivote en la siguiente línea vertical T_L .
- En la siguiente línea vertical que dice Módulo Resiliente efectivo de la subrasante (ksi) se encuentra el valor de M_r (Mpa-psi) = $20\ 000 = 20$, que está en la tabla XXIII para la subrasante se une el último punto pivote encontrado anteriormente y el valor de 20 en esta línea hasta encontrar la primera línea vertical izquierda del cuadro situado a la extrema derecha.
- De este punto de intersección se continúa horizontalmente hasta encontrar la línea inclinada que corresponde a un valor de $\Delta PSI = 2,0$ que es pérdida de serviciabilidad de diseño o ΔPSI ., de este punto se baja a la línea inferior del cuadro en donde se encuentra el número estructural de diseño SN.,

que para el caso es 3,2 (para proteger la subrasante) que es el número estructural requerido para proteger toda la estructura del pavimento.

Tabla XXIII. **Valor del número estructural**

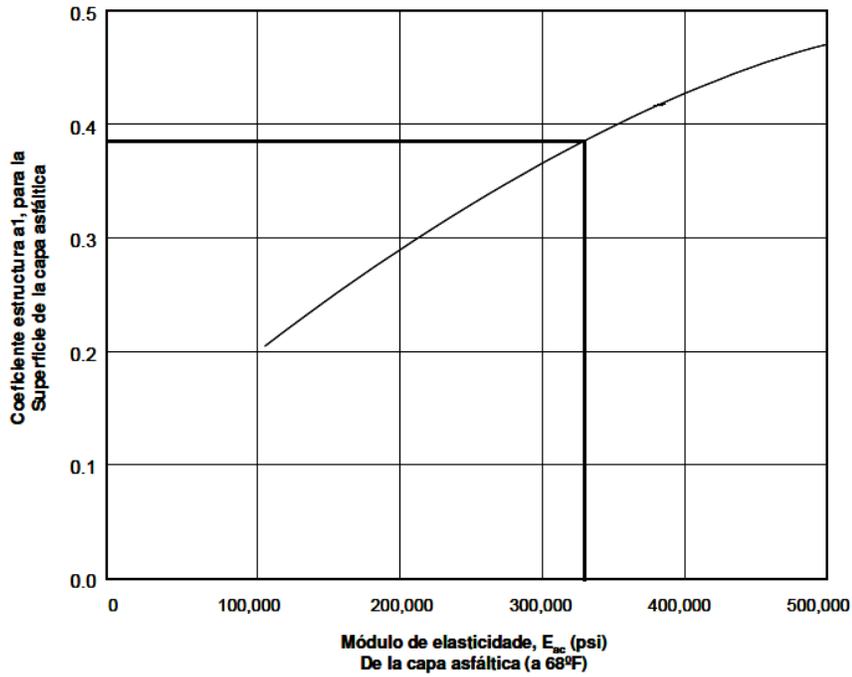
Material	SN
Capa Asfáltica	2.50
Base	2.60
Subbase	2.90
Subrasante	3.20

Fuente: elaboración propia.

Para encontrar los valores de los coeficientes estructurales de capa (a_x) se hace uso de las figuras siguientes en función del módulo elástico del concreto asfáltico y los módulos de resiliencia de la base y la subbase.

Para tener el coeficiente estructural de capa a_1 se hace uso de la figura 13, conociendo el valor de 400,000, de la capa asfáltica se procede a encontrar el valor correspondiente en la gráfica, $a_1 = 0.39$ 0,39

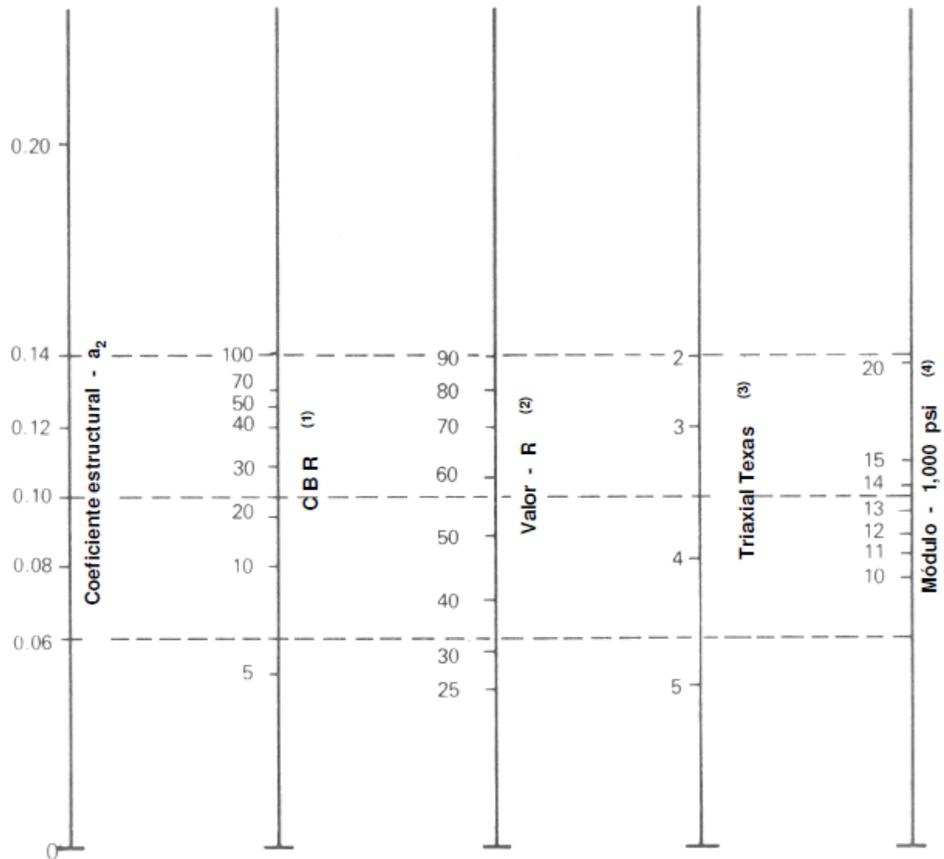
Figura 24. **Coefficiente estructural a partir del módulo elástico del concreto asfáltico**



Fuente. AASHTO. *Guía para el diseño de estructuras de pavimentos.*

Para tener el coeficiente de capa a_2 de las bases trituradas se usa la figura 25, donde con los valores que se tienen se traza una línea de derecha a izquierda hasta encontrar la línea vertical del coeficiente.

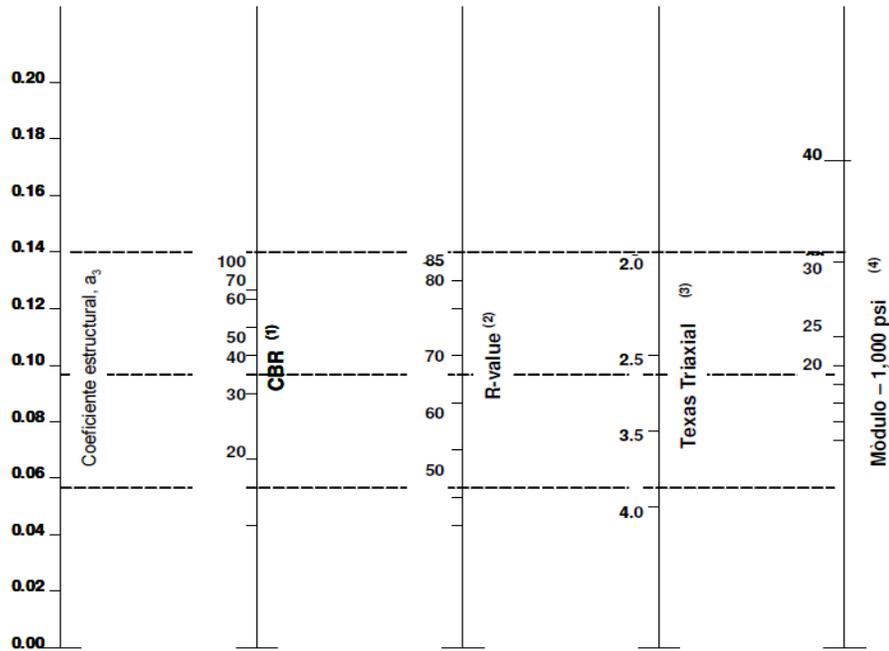
Figura 25. Variación en el coeficiente estructural de la capa base



Fuente: AASHTO. *Guía para diseño de estructuras de pavimentos.*

Para encontrar el coeficiente de capa a₃ de la subbase se hace uso de la figura 26, al igual que en el caso anterior se traza una línea horizontal del extremo derecho al izquierdo hasta encontrar la vertical.

Figura 26. Variación en el coeficiente estructural de la capa subbase



- (1) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de Illinois
- (2) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de California, New México y Wyoming
- (3) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de Texas
- (4) La escala derivó en el proyecto NCHRP (3)

Fuente: AASHTO. *Guía para diseño de estructuras de pavimentos.*

Tabla XXIV. Resumen de datos

Material		SN		ax		Mi
Capa asfáltica		2,5	a_1	0,39		
Base	SN ₁	2,6	a_2	0,15	m ₁	1,4
Subbase	SN ₂	2,9	a_3	0,17	m ₂	0,8
Subrasante	SN ₃	3,2				

Fuente: elaboración propia.

Se calcula el espesor de capa asfáltica, suponiendo un Mr igual al de la base; así se calcula el SN1 que debe ser absorbido por el concreto asfáltico conforme la siguiente fórmula:

$$D1 \geq \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2,6}{0,39} = 6,66, \text{ adoptar } 7 = 17,7 \text{ cm}$$

Entonces el SN1*absorbido por el concreto asfáltico

$$SN_1 * = a_1 \times D1 * = 0,39 \times 7 = 2,7$$

Después de calcula el espesor mínimo de la capa base,

$$D2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \times m_2}$$

$$D2 \geq \frac{2,9 - 2,6}{0,15 \times 0,8} = 2,5" \text{ adoptar } 3" = 7,62 \text{ cm}$$

Entonces el SN2* absorbido por la base

$$SN2 * = a_2 \times m_2 \times D2 *$$

$$SN2 * = 0,15 \times 0,8 \times 2,5 = 0,3$$

Después de calcula el espesor de la subbase, conforme la fórmula

$$D3 * \geq \frac{SN_3 - (SN_2 + SN_1)}{A_3 \times m_1}$$

$$D3 * \geq \frac{3,2 - (0,3 + 2,7)}{0,17 * 1,4} = 0,84 \text{ utilizar } 1 = 2,54 \text{ cm}$$

Tabla XXV. **Valores de los espesores calculados**

CAPA	ESPESOR EN PULGADAS	ESPESOR EN CENTIMETROS
SUBBASE	1"	2,54 cm.
BASE	3"	7,62 cm.
CARPETA	7"	17,7 cm.

Fuente: elaboración propia.

En la práctica no deben colocarse capas con espesores menores a los mínimos requeridos, pues las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Frecuentemente se especifica un valor mayor en el espesor de capas, con el fin de mantener la estructura de pavimento en mejores condiciones.

En la siguiente tabla se dan valores de los espesores mínimos sugeridos para capas asfálticas y base granular en función del tránsito.

Tabla XXVI. **Espesores mínimos sugeridos**

Número de ESAL's	Capas Asfálticas	Base Granular
Menos de 50,000	3,0 cm.	10 cm.
50,000-150,000	5,0 cm.	10 cm.
150,000-500,000	6,5 cm.	10 cm.
500,000-2,000,000	7,5 cm.	15 cm.
2,000,000-7,000,000	9,0 cm.	15 cm.
Más de 7,000,000	1,.0 cm.	15 cm.

Fuente: AASHTO. *Guía para el diseño de estructuras de pavimentos*. p. 45.

Tabla XXVII. **Espesores mínimos de capas asfálticas sobre bases**

Cantidad de ejes equivalentes	Condición del tránsito	Espesores mínimos de la capa asfáltica, en cm.
Hasta 10 000	Ligero	7,50
Entre 10 000 y 1 000,000	Mediano	10,0
Mayor de 1 000 000	Pesado	12,5 o más

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos. p. 56.

Dentro del contexto del diseño de pavimentos se acepta que el dimensionamiento de estas estructuras permite que se establezcan las características de los materiales de las distintas capas del pavimento y los espesores, de tal forma que el pavimento mantenga un índice de servicio aceptable durante la vida de servicio estimada, tomando en cuenta que existen varios parámetros para espesores mínimos y según el diseño de la AASHTO que se resolvió anteriormente se determinó que los espesores que benefician el proyecto tanto económicamente como en diseño son los siguientes:

Tabla XXVIII. **Espesores a utilizar**

Capa	Espesor cm.
Subrasante	35,00
Subbase	25,00
Base	15,00
Carpeta	12,50
Total	52,50

Fuente: elaboración propia.

En el caso del pavimento flexible

- Ancho de terracería de 6,50 metros.
- Bombeo de 2 %.
- Reacondicionamiento de subrasante: se reacondicionará la subrasante existente, escarificando 0,35 centímetros.
- Espesor de capa subbase de 0,25 metros según diseño y especificaciones.
- Espesor de capa de base de 0,15 metros según diseño y especificaciones.
- Capa de rodadura de concreto asfáltico en caliente según diseño y especificaciones de la DGC, 12,5 centímetros de espesor, en un ancho total de 5,50 metros.

Es importante señalar también, que el método incluye factores de medioambiente y diferentes clases de tipos de asfalto; para tal caso se consideran tres diferentes temperaturas, dependiendo de la región en donde se

pretenda construir el pavimento: climas fríos (7 °C), templados (15,5 °C) y cálidos (24 °C); en los cuales se utilizan cementos asfálticos desde el AC-5 hasta el AC- 40; por lo que se recomienda la siguiente clasificación:

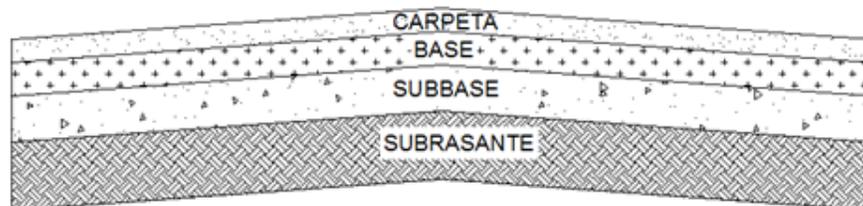
Tabla XXIX. **Grados de asfalto de acuerdo con el tipo de clima**

Clima	Temperatura media anual del aire	Grado de asfalto
Frío	Menor o igual a 7 °C	AC-5, AC-10
Templado	Entre 7 y 24 °C	AC-10, AC-20
Cálido	Mayor de 24 °C	AC-20, AC-40

Fuente: Instituto del Asfalto (ms-1), 1991.

El grado de asfalto a utilizar es de AC-20, AC-40. El diseño se realizará con AC-20.

Figura 27. **Detalle de garabito**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.23.1. 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 tener secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor del pavimento dependerá, en buena parte, de la calidad de la subrasante, por lo que es recomendable que sea resistente, incompresible e inmune a cambios por humedad. Son ideales los materiales granulares, con porcentajes de hinchamiento que cumplan con AASHTO T 193. Durante la construcción, un espesor equivalente a la subrasante deberá escarificarse, homogeneizarse, mezclarse, conformarse y compactarse totalmente.

3.23.1.1. Materiales adecuados para la subrasante

El área de trabajo tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, de lo contrario, el material deberá reemplazarse por material adecuado para subrasante en el tramo correspondiente o considerar la estabilización de los suelos subyacentes.

En general, los materiales apropiados para capa de subrasante son los suelos de preferencia granulares o con porcentajes de hinchamiento según ensayo AASHTO T-193 y que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo. Según AASHTO M-145, los suelos clasificados como A-8 son materiales inadecuados para la capa de subrasante, ya que son suelos orgánicos constituidos por materiales vegetales o fangosos. Estos suelos, generalmente tienen textura fibrosa, color café oscuro y olor a podredumbre y son altamente compresibles con muy baja resistencia.

En las áreas en que se necesita reacondicionar la subrasante se debe de proceder a escarificar el suelo hasta una profundidad de 200 milímetros.

Los materiales que se van a estabilizar, deben ser los existentes en la subrasante y no contener partículas mayores de 70 milímetros, materias vegetales o basura.

Los materiales que deberán utilizarse para la estabilización de la subrasante pueden ser, cal hidratada, cal viva, granza de cal, lechada de cal o compuestos estabilizadores químicos orgánicos e inorgánicos, cemento y otros materiales procedentes de préstamo.

El agua que se usará en las operaciones debe de ser clara, libre de aceites, sales, ácidos, álcalis, azúcar, materia vegetal y demás sustancias que afecten el desempeño de la subrasante.

Cuando en la subrasante aparezcan áreas con este tipo de material, deberá reemplazarse por otro que llene los requisitos para subrasante, haciendo previamente la remoción del material inapropiado.

Como puede apreciarse este material que se encuentra en el área de trabajo cumple con los requisitos de subrasante, debido a que el límite líquido no es mayor del 50 %; el 95 % de compactación se alcanzará con la humedad óptima de 18,5 % según el ensayo de próctor modificado y el CBR es mayor que el 5 %.

Tabla XXX. **Características del material de la subrasante**

Características	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Tolerable
Tamaño máximo (mm)	76	76	76
% de finos	-----	-----	-----
Límite líquido %	30 Max	40 Max	50 Max
Índice plástico %	10 Max	20 Max	25 Max
Compactación	100 Min	100 Min	95 Min
CBR %	30 Min	20 Min	15 Min

Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. p. 234.

3.23.1.2. Colocación

La subrasante deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. Se deberá verificar, además, que:

- La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa no sea inferior a la señalada en los planos o la definida por él.
- La cota de cualquier punto de la subrasante, conformada y compactada, no varíe en más de treinta milímetros (30 mm.) de la cota proyectada.
- Asimismo, adelantará las siguientes comprobaciones:

- Se debe efectuar un ensayo de valor soporte del suelo por cada quinientos metros cúbicos producidos, al iniciar la explotación de cada banco; hasta llegar a tres mil metros cúbicos y posteriormente un ensayo por cada tres mil metros cúbicos colocados.
- Después de haberse colocado y tendido el material, cuando no se use maquinaria especial esparcidora y conformadora, debe procederse a la homogenización, mezclando el material en todo el espesor mediante la utilización de equipo apropiado, pudiéndose efectuar con moto niveladora u otro método que produzca una mezcla homogénea.

3.23.2. 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. Se utiliza además, como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que, generalmente se usan materiales granulares.

La subbase varía de acuerdo con las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante, pero suele considerarse entre 12 a 15 cm. Como la dimensión mínima constructiva. El espesor que se colocará será de 20 cm. ya que las características del suelo y del material de la subrasante proporcionan suficiente soporte, para trabajar de acuerdo con este espesor.

3.23.2.1. Materiales adecuados para la subbase

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante; el espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

Los materiales de subbase deben ser suelos del tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

- El tamaño de las piedras que contenga el material de subbase no debe ser mayor de 2/3 del espesor de y los porcentajes que pasan los tamices No. 40 y No. 200.
- El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otra materia que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

Tabla XXXI. Características del material de la subbase

Características	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Tolerable
Tamaño máximo (mm)	51	51	76
% de finos	15 Max	25 Max	10 Max
Límite líquido %	25 Max	30 Max	40 Max
Índice plástico %	6 Max	10 Max	15 Max
Compactación	100 Min	100 Min	95 Min
Equivalente de arena	45 Min	30 Min	
CBR %	40 Min	30 Min	30 Min

Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. p. 256.

3.23.2.2. Colocación

La construcción de una subbase comprende las siguientes operaciones repetidas cuantas veces sea necesario: extensión y humedecimiento de una capa, conformación, compactación y acabado de la misma.

La subbase se colocará en capas no mayores de 20 cm de espesor, medida antes de la compactación; mantendrá un contenido de humedad cercano al óptimo para compactarse a un mínimo del 95 % de la densidad máxima obtenida en el ensayo Próctor modificado. Este debe homogeneizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en la totalidad. En ningún caso se permitirá colocar la capa superior de subbase sin que la capa inferior cumpla las condiciones de nivelación, espesor y densidad exigidas. Simultáneamente con estas operaciones se procederá a conformar las bermas permanentes las cuales se compactarán en todo el ancho y en el espesor total de la capa para que sirva de contención lateral a la zona central.

3.23.3. Base

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de esta a la subrasante; es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

Esta capa permite reducir los espesores de carpeta, dada la función estructural importante al reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores. Además, cumple una función drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento.

El espesor requerido para cada tramo correspondiente es el resultante indicado por el encargado del diseño del pavimento. Los espesores de las bases son muy variables, pero suele considerarse que 12 o 15 centímetros es el espesor mínimo que conviene aplicar.

3.23.3.1. Materiales adecuados para la base

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en estado natural. La estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, la forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión; todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos respecto del agregado grueso. El material debe estar libre de impurezas y residuos orgánicos.

La porción de agregado retenida en el tamiz No. 4 no debe tener un porcentaje de desgaste, por abrasión mayor de 50 – 500 revoluciones y no más del 25 % deben de ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces del espesor promedio de las mismas.

Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, este debe ser libre de impurezas y consistir en suelo arenoso, limo orgánico, polvo de roca u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen por el tamiz No. 10.

Tabla XXXII. **Características de los materiales de la base**

Características	Calidad	
	Deseable	Adecuada
Tamaño máximo (mm)	38	51
% de finos	10 Max	25 Max
Limite líquido %	25 Max	30 Max
Índice plástico %	6 Max	10 Max
Compactación	100 Min	100 Min
Equivalente de arena	45 Min	30 Min
CBR %	40 Min	80 Min

Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. p. 258.

3.23.3.2. Colocación

Antes de tender el material de base, el material de subbase debe cumplir con las especificaciones mencionadas.

Se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre las capas y evitar deslizamientos; cuando el espesor de base sea mayor de 20 centímetros se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que estas no sean mayores de 20 ni menores de 10 centímetros cubriendo distancias no mayores de cuatro kilómetros, medidas desde el extremo anterior de la capa terminada.

Al compactar el material debe ser homogéneo y estar humedecido, esto se puede efectuar en la planta, antes de ser acarreado y tendido, procediendo en este caso con la compactación inmediata. En el caso de que el material se humedezca después de tendido, debe mezclarse hasta lograr un humedecimiento homogéneo, que permita la compactación del mismo; el riego del agua puede efectuarse simultáneamente al momento de realizar la mezcla

del material, si este se encuentra en óptimas condiciones se logra la densidad especificada. La capa de base ya terminada, tiene que quedar lo más uniforme posible para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura, al estar el pavimento ya dispuesto para la circulación de vehículos.

3.23.4. Carpeta de rodadura

También conocida como carpeta asfáltica, la carpeta de rodadura es la capa de la estructura del pavimento flexible elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico, que protege la base, impermeabilizando la superficie, evitando de esta manera posibles infiltraciones del agua de lluvia, que podría saturar parcial o totalmente las capas inferiores que conforman la estructura del pavimento flexible.

Los materiales pétreos son suelos inertes que se consiguen en ríos, arroyos o depósitos naturales. Para ser empleados en la carpeta asfáltica deben cumplir con ciertas características dadas por la granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con un espesor suficiente para resistir los elementos del interperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad.

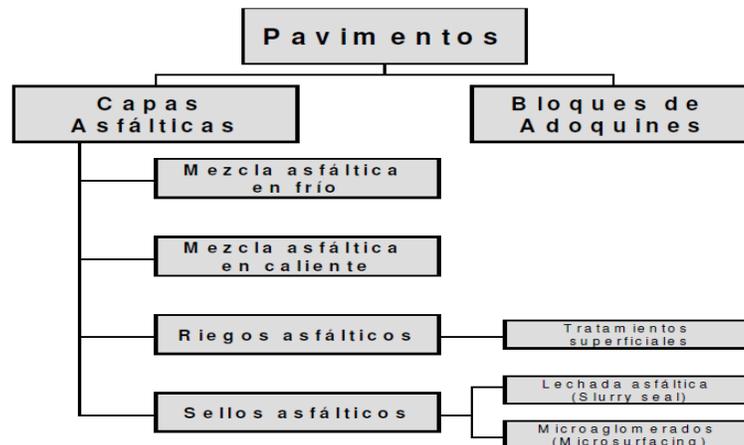
Las funciones de la carpeta de rodadura son las siguientes:

- Proporcionar una superficie de rodamiento que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos.

- Impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores.
- Resistir la acción de los vehículos, las presiones verticales de contacto, las tensiones tangenciales de frenado, las succiones debidas al comportamiento de los neumáticos, etc.

Desde el punto de vista general, la rodadura debe ser cómoda segura, duradera, poco ruidosa, producir un desgaste mínimo en los vehículos y facilitar la evacuación del agua en la zona de contacto con el neumático.

Figura 28. **Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles**



Fuente: SIECA, *Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*. p. 104.

3.23.4.1. Características de la capa de rodadura

El concreto asfáltico mezclado en vía consiste en una o varias capas compactadas de una mezcla de agregados minerales y asfalto líquido, producido en la vía por medio de plantas viajeras, motoniveladoras, arados agrícolas o cualquier otro tipo capaz de mezclar agregados y asfalto sobre la

superficie de la vía. Este tipo de concreto asfáltico se puede emplear como capa de rodamiento para tráfico liviano y mediano, como base de pavimentos flexibles para tráficos mediano y pesado o como capa intermedia.

El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente es el pavimento asfáltico de mejor calidad y se compone de una mezcla de agregados y asfalto, realizada a una temperatura aproximada de 150 °C colocada y compactada en caliente. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de calentar y secar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportados, que a la vez la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después de lo cual se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva alta.

La capa de rodadura, también contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si el espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros).

3.23.4.2. Material adecuado para la capa de rodadura

Superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para pasar minimizados los esfuerzos hacia las tracerías. Pueden ser materiales granulares con o sin liga o más comúnmente de concreto asfáltico o hidráulico, en las diferentes variantes. Constituye el área propiamente dicha por donde circulan los vehículos y peatones.

El material asfáltico, tipo grado, y especificación del cemento asfáltico, debe ser uno de los establecidos en la tabla XXXIII

Tabla XXXIII. **Especificaciones del cemento asfáltico**

Tipo y grado de cemento asfáltico	Especificación
Graduación por viscosidad <ul style="list-style-type: none"> • AC - 10 • AC - 10 • AC - 10 • AC - 10 	AASHTO M 228
Graduación por penetración <ul style="list-style-type: none"> • 40 - 50 • 60 -70 • 85 - 100 • 120 - 150 	AASHTO M 20
Graduación PG <ul style="list-style-type: none"> • 22 - 64 • 22-70 • 22-76 • 22-82 	AASHTO MP 1

Fuente: Dirección General de Caminos. *Especificaciones Generales para la construcción de carreteras y puentes.* p. 276.

3.23.4.3. Colocación de la carpeta de concreto asfáltico

Este tipo de carpetas, deben ser construidas sobre bases hidráulicas o sobre bases asfálticas impregnadas. Si se llegan a construir sobre bases naturales con módulos de elasticidad bajos, sufrirán deformaciones ante las cargas del tránsito, la resistencia no será la deseada y la ruptura será frágil. Para los requerimientos de la mezcla asfáltica se adoptará el método Marshall

según AASHTO T-245, que sirve para verificar las condiciones de vacíos y estabilidad que deben satisfacer los valores indicados en el *Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales*, SIECA, 2004.

Para construir las carpetas de concreto asfáltico se deben de seguir los siguientes pasos:

- Elegir los bancos de material pétreo y llevarlos al laboratorio para seleccionar el banco adecuado.
- Hacer el proyecto granulométrico en el laboratorio para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico.
- Extraer el material.
- Proporcionar pétreos en frío a la planta de mezclado.
- Transportar el material al cilindro de calentamiento y secado donde alcanzará una temperatura entre 150 °C y 170 °C.
- Alcanzada la temperatura deseada, el material pétreo se sube a la unidad de mezclado, donde se mezcla con el cemento asfáltico que se encuentra entre los 130 °C y 140 °C.
- Llevar la mezcla al tramo con una temperatura mínima entre 110 °C y 120 °C. La mezcla debe descargarse en la *finisher* que se encarga de extenderlo y darle una ligera compactación.

- La compactación debe iniciarse a una temperatura mayor a los 90 °C. Con un rodillo de 7 ton, para dar un primer armado y evitar desplazamiento de la mezcla. Después con uno de 15 ton, el grado mínimo de compactación es de 95 % del peso volumétrico del proyecto.

Una carpeta que tiene menos asfalto del necesario se desgranará, en el caso contrario, el asfalto brotará a la superficie haciéndola lisa y resbaladiza.

3.23.5. Sistema de drenaje

El sistema de drenaje de una vía es el dispositivo específicamente diseñado para la recepción, canalización y evacuación de las aguas, que puedan afectar directamente a las características funcionales de cualquier elemento integrante de la carretera. Dentro de esta amplia definición se distinguen diversos tipos de instalaciones encaminadas a cumplir tales fines, agrupadas en función del tipo de aguas que pretendan alejar o evacuar o de la disposición geométrica con respecto al eje de la vía:

3.23.5.1. Drenaje superficial

Conjunto de obras destinadas a la recogida de las aguas pluviales o de deshielo, la canalización y evacuación a los cauces naturales, sistemas de alcantarillado o a la capa freática del terreno. Se divide en dos grupos:

- Drenaje longitudinal: canaliza las aguas caídas sobre la plataforma y taludes de la explanación de forma paralela a la calzada, restituyéndolas a los cauces naturales. Para ello se emplean elementos como las cunetas, cauces, colectores, sumideros, arquetas y bajantes.

- Drenaje transversal: permite el paso del agua a través de los cauces naturales bloqueados por la infraestructura vial, de forma que no se produzcan destrozos en esta última. Comprende pequeñas y grandes obras de paso como puentes y viaductos.

3.23.5.2. Criterios de diseño

A la hora de proyectar el drenaje de una carretera se debe tener presente una serie de factores que influyen directamente en el tipo de sistema más adecuado, así como la posterior funcionalidad. Los más destacables son:

- Factores topográficos: dentro de este grupo se engloban circunstancias de tipo físico, tales como la ubicación de la carretera respecto del terreno natural contiguo, la tipología del relieve existente o la disposición de las pendientes en referencia a la vía.
- Factores hidrológicos: hacen referencia al área de la cuenca de recepción y aporte de aguas superficiales que afectan directamente a la carretera, así como a la presencia, nivel y caudal de las aguas subterráneas que puedan infiltrarse en las capas inferiores del pavimento.
- Factores geotécnicos: la naturaleza y características de los suelos existentes en la zona, condicionan la facilidad con la que el agua puede llegar a la vía desde el punto de origen, así como la posibilidad de que ocasione corrimientos o una erosión excesiva del terreno. Las propiedades a considerar son aquellas que afectan la permeabilidad, homogeneidad estratificación o compacidad, influyendo también, la existencia de vegetación.

Una vez sopesados estos factores se procede al diseño de la red de drenaje, que deberá cumplir los siguientes objetivos:

- Evacuar de manera eficaz y lo más rápidamente posible el agua caída sobre la superficie de rodadura; se deberá evitar la inundación de los tramos más deprimidos de la vía.
- Alejar del firme el agua freática, así como los posibles acuíferos existentes.
- Prestar especial atención a los cauces naturales, tales como barrancos, disponiendo obras de fábrica que no disminuyan la sección crítica.
- Cuidar el aspecto ambiental, procurando que produzca el menor daño posible al entorno.

Todos los anteriores puntos están como siempre supeditados a la economía de la hora, por lo que la solución adoptada debe tener en cuenta dos condicionantes adicionales:

- El coste inicial de construcción e implantación del sistema de drenaje.
- Los costes de reparación y mantenimiento de la infraestructura de drenaje a lo largo de la vida útil de la carretera.

3.23.6. Drenaje longitudinal

El drenaje longitudinal deberá recoger el agua de escorrentía superficial procedente de la plataforma de la carretera y de los márgenes que viertan hacia

ella y la conduzcan hasta un punto de desagüe, restituyéndolas al cauce natural.

- Elementos de canalización: recogen las aguas pluviales.
- Elementos de desagüe: alivian el caudal de los anteriores, facilitando la salida de las aguas.
- Elementos de evacuación: conducen las aguas hasta la evacuación en un cauce natural.

3.23.6.1. Elementos de canalización

A continuación se describe la tipología y dimensionamiento de los diferentes elementos que se encargan de la canalización de las aguas en un drenaje longitudinal.

3.23.6.2. Cunetas

Se definen como elementos longitudinales situados en el extremo de la calzada y que discurren paralelos a la misma; principales misiones son:

- Recibir y canalizar las aguas pluviales procedentes de la propia calzada y de la escorrentía superficial.
- En determinados casos, recoger las aguas infiltradas en el firme y terreno adyacente.
- Ayudar a controlar el nivel freático del terreno.

También es importante que la geometría de las cunetas no suponga un peligro añadido para los vehículos que eventualmente se salgan de la calzada.

Las cunetas pueden construirse de diferentes materiales en función de la velocidad de circulación del agua en el seno, magnitud que depende directamente de la inclinación longitudinal de la cuneta, que suele coincidir con la adoptada para la vía. Una velocidad superior a la tolerable por el material causaría arrastres y erosiones del mismo, reduciendo la funcionalidad de la cuneta. Si fuera necesario, esta puede revestirse con un material hidráulicamente más competente, generalmente hormigón especialmente en las siguientes situaciones:

Es importante que la cuneta se halle lo suficientemente alejada del pavimento como para que la sección no produzca inundación superficial o infiltraciones en las capas del pavimento. En este sentido es recomendable dejar un resguardo de al menos 50 cm, entre la superficie de rodadura y el máximo nivel de lámina libre; así como impermeabilizar la cuneta para evitar filtraciones o distanciarla de las capas resistentes del pavimento si estas no están protegidas.

3.23.6.3. Determinación del caudal de referencia

Para proyectar un sistema de drenaje el primer paso es estimar el máximo caudal que va a tener que desaguar. Para ello se aplicará el método hidrometeorológico.

- Método hidrometeorológico: basado en la aplicación de una intensidad media de precipitación, obtenida de los mapas pluviométricos en toda la

superficie de la cuenca, realizando una estimación de la escorrentía superficial. Da buenos resultados en cuencas pequeñas.

Una de las aplicaciones más sobresalientes de este tipo de análisis lo constituye el diseño hidráulico de diferentes obras, para la evacuación segura de la escorrentía originada por eventos de lluvias, en áreas urbanas y rurales. Normalmente este tipo de aplicaciones requiere de eventos de lluvias intensas asociados a una duración y a una frecuencia de ocurrencia. Las curvas de duración-intensidad-frecuencia (DIF), ofrecen dicha relación.

En Guatemala este tipo de curvas se encuentran reducido para cierto número de estaciones, para diferentes épocas y en documentos dispersos.

Para la estimación de caudales (Q) de diseño, asociados a determinados períodos de retorno, para cuencas tributarias pequeñas se usa el método racional.

$$Q = \frac{CiA}{360}$$

Donde

Q = caudal pico [m³/s]

C = coeficiente de escorrentía [-]

I = intensidad de precipitación [mm/hr], con una duración igual a tc

A = área de la cuenca tributaria [ha]

tc = tiempo de concentración de la cuenca [min]

El tiempo de concentración del área tributaria, definido como el necesario para que el agua precipitada en el punto más alejado de la sección de desagüe de una cuenca, en el presente caso, el sistema de drenaje llegue a dicha sección; este puede estimarse mediante fórmulas que se basan en parámetros morfométricos de las cuencas o con base en aspectos hidráulicos de las corrientes. Una de las fórmulas utilizadas en el medio es la de KIRPICH, que usa el desnivel y longitud del cauce.

$$t_c = \frac{3L^{1.15}}{154H^{0.38}}$$

Donde

L [m] es la longitud del cauce desde la cabecera de la cuenca tributaria

H[m] es el desnivel de dicho cauce

El coeficiente de escorrentía C se estima con base en las características hidrogeológicas de las cuencas. En la literatura especializada de hidrología se publican tablas con valores de C en función, generalmente, de tres aspectos que se consideran determinantes en la generación de escorrentía como consecuencia de tormentas de lluvias: la cobertura, el tipo de suelo y las pendientes del terreno.

Tabla XXXIV. Valores indicativos del coeficiente de escorrentía

Uso del suelo	Pendiente del terreno	Capacidad de infiltración del suelo		
		Alto (suelos arenosos)	Medio (suelos francos)	Bajo (suelos arcillosos)
Tierra agrícola	<5 %	0,3	0,5	0,6
	5-10 %	0,4	0,6	0,7
	10 -30 %	0,5	0,7	0,8
Potreros	<5 %	0,1	0,3	0,4
	5-10 %	0,15	0,35	0,55
	10 -30 %	0,2	0,4	0,6
Bosques	<5 %	0,1	0,3	0,4
	5-10 %	0,25	0,35	0,5
	10 -30 %	0,3	0,5	0,6

Fuente: National Engineering Handbook sec. 4 *Hydrology*, USDA. p. 345.

Una vez conocido el tiempo de concentración este valor se usa para estimar la intensidad de lluvia para el período de retorno deseado. Conociendo los parámetros de las ecuaciones respectivas, para el sitio de interés, simplemente se ingresa en la ecuación el valor de t_c como t .

Considerar que se desea estimar la magnitud de la intensidad de lluvia para un período de retorno de 20 años, debido al TPDA y tipo de la carretera. Asumir además que, la longitud del cauce más largo, L , de la cuenca de interés es de 380 m y el desnivel es de 13.47 m.

Aplicando la ecuación del tiempo de concentración se obtiene lo siguiente.

Con datos obtenidos en el INSIVUMEH se puede calcular la intensidad de lluvia que se recibe en el área de Santa Catarina Pinula. Ya obtenidas las curvas DIF, el tipo de modelo para representar matemáticamente las curvas tiene la forma de:

$$i_{Tr} = \frac{A}{(B + t)^n}$$

Donde

I = la intensidad de lluvia [mm/hr], asociada a una frecuencia de ocurrencia, representada por el período de retorno (Tr), t es la duración [min] A, B y n son parámetros de ajuste.

Estos parámetros se obtienen mediante regresión no lineal. Los períodos de retorno analizados son: 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años.

Tabla XXXV. Parámetros A, B y n de las ecuaciones de la forma de la Es 1 obtenidos en los análisis Tr = período de retorno (años) R2 = coeficiente de determinación

Tc	2,00	5,00	10,00	20,00	25,00	30,00	50,00	100,00
A	5 843,00	1 991,00	1 150,00	1 321,00	1 315,00	1 221,00	1 215,00	1 217,00
B	25,00	14,00	11,00	12,00	13,00	12,00	12,00	12,00
N	1,04	0,77	0,62	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61
R2	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97

Fuente: *informe de intensidad de lluvia*, INSIVUMEH.

$$i_{Tr} = \frac{1\ 321}{(12 + 5)^{0,63}} = 222\ mm/hr$$

Una vez conocidos la intensidad media (I) y el coeficiente de escorrentía (C), únicamente resta aplicar la expresión del Método Hidrometeorológico aplicando el área de la cuenca (A),

$$A = (380\text{m} * 13,47\text{m}) / 10000 \text{ m}^2$$

Aplicando el área de la cuenca (A),

$$A = 0,512 \text{ ha}$$

$$Q = \frac{222 * 0,30 * 0.512}{360} = 0.095 \text{ m}^3/\text{s}$$

El dimensionamiento de este tipo de elementos de drenaje se realiza mediante la fórmula Manning-Strickler, cuya expresión matemática es:

$$Q = V * S = K * S * R^{2/3} * J^{1/2}$$

Donde

Q = caudal desaguado por la cuneta en m³/s

V = velocidad media de la corriente en m/s

K = coeficiente de rugosidad de Manning

S = es la sección mojada en m², variable con el calado (h)

R = radio hidráulico en m. [sección mojada (S)/ perímetro mojado (P)]

J = pendiente de la línea de energía

Tabla XXXVI. **Coefficiente de rugosidad K**

Material	Características	k(m^{1/3}/s)
Tierra desnuda	Superficie uniforme	40-50
	Superficie irregular	30-50
Tierra genérica	Ligera vegetación	25-30
	Vegetación espesa	20-25
Encachado		35-50
Revestimiento bituminoso		65-75
Hormigón proyectado		45-60
Tubo corrugado	Sin revestir	30-40
	Revestido	35-50
Tubo fibrocemento	Sin juntas	100
	Con juntas	85
Tubo o cuneta de hormigón		60-75

Fuente: Dirección General de Caminos, *especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. 2000. p. 295.

Tanto la sección (S) como el perímetro mojado (P) que define el radio hidráulico pueden ponerse en función del calado (H) de la corriente. Se elige una altura H; que sea menos de 0,60 m. H=0,55 m.

$$R_h = \frac{H * 5^{1/2}}{6} = R_h = \frac{(0,55) * 5^{1/2}}{6} = 0,20 \text{ m}$$

$$A = \frac{5H^2}{4} = A = \frac{5(0,55)^2}{4} = 0,37 \text{ m}^2$$

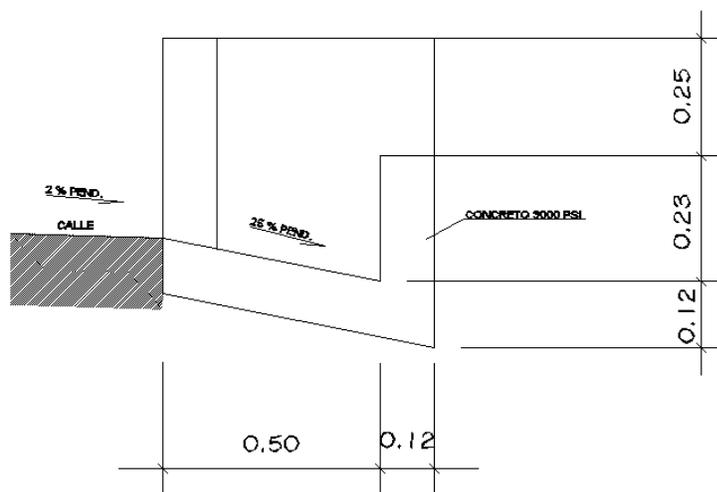
Si $Q_{\text{Manning}} > Q_{\text{diseño}}$ la altura de cuneta cumple.

$$Q_{\text{Manning}} = (70)(0,115)(0,20)^{\frac{2}{3}}(25)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_{\text{Manning}} = 13,60$$

$$Q = 31,63 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{\text{diseño}} = 0,095 \text{ m}^3/\text{s}$$

Figura 29. Dimensiones de cuneta



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Los principales elementos de drenaje superficial empleados en carreteras son los sumideros, estos permiten el desagüe de los dispositivos superficiales de drenaje, en este caso cunetas, bien directamente al exterior o por medio de un colector. De esta forma, las aguas vuelven a reintegrarse al cauce natural, o son desviadas a sistemas subterráneos de recogida, como la red de alcantarillado.

En la elección del tipo y diseño de estos elementos deberán tenerse en cuenta, aún por encima de las consideraciones hidráulicas, factores de seguridad en la circulación y el posible peligro de la obstrucción y acumulación de sedimentos térreos lo que haría totalmente inútil la presencia.

Elaboración de la cuneta: concreto de calidad especificada para uso de cunetas; que el resultado de la mezcla combinada con cemento hidráulico, agregados, agua y aditivos tenga las proporciones adecuadas. Utilizar la proporción 1:2:3, con la resistencia ya indicada.

3.23.7. Drenaje transversal

Son tuberías que se colocan para aliviar el agua que viene de las cunetas o de arroyos. Se encuentran a lo largo de la carretera son necesarias en tramos de corte y sirven para conducir agua al otro lado de la carretera. Se compone de las siguientes partes: caja recolectora de caudal, que recibe el agua proveniente de la ladera de la carretera para trasladarla a la tubería; muro cabezal de salida, protege la tubería y el relleno de la carretera, para que no se erosione y si la pendiente del terreno en corte es muy fuerte se colocan, adicionalmente, disipadores de energía al final de la tubería que servirán para que el agua que desfoga no erosione el suelo y provoque hundimientos. En los planos se encuentran las secciones típicas de los drenajes transversales a utilizar.

Para el cálculo del caudal con el que se diseñan los drenajes transversales se utilizó el método racional, donde se asume que el caudal máximo, para un punto dado se alcanza cuando el área tributaria está contribuyendo con la escorrentía superficial durante un período de precipitación máxima. Para lograr esto, la tormenta máxima (de diseño) debe prolongarse

durante un período igual o mayor que el que necesita la gota de agua más lejana, para llegar hasta el punto considerado (tiempo de concentración). Las fórmulas a utilizar son las siguientes:

$$Q = \frac{CiA}{3,6}$$

Donde

Q = caudal pico [m³/s]

C = coeficiente de escorrentía [-]

i = intensidad de precipitación [mm/hr], con una duración igual a t_c

A = área de la cuenca tributaria [km²]

Se tomará el valor más alto de precipitación el cual se presentó en agosto de 2010 y es de 470,8 mm/hora.

Para calcular el diámetro de los drenajes transversales se utiliza la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde

V = velocidad

R = radio hidráulico

S = pendiente

$$Q = V * A \rightarrow Q = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde

Q = caudal

A = área de tubería circular (m²)

n = coeficiente de rugosidad

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

D = diámetro

$$R = \frac{D}{4}$$

Coeficiente de rugosidad para tuberías de concreto n=0,013 $\phi > 24''$,
n=0,015 $\phi < 24''$. Coeficiente de rugosidad para tuberías de P.V.C. n=0,009.

$$Q = 9,76 \text{ m}^3/\text{s}$$

El diámetro de la tubería necesario para desfogar el caudal es el siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} * A = \frac{1}{n} * \frac{D^{2/3}}{4^{2/3}} * S^{1/2} * \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \left[\frac{Q + 4^{5/3} * n}{S^{1/2} * \pi} \right] = \left[\frac{9,76 * 4^{5/3} * 0,009}{0,3^{1/2} * \pi} \right]^{3/8} = 0,77 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,78)^2}{4} = 0,46 \text{ m}^2$$

El área necesaria para drenar la cuenca es de 0,15 m², se utilizaría tubería de 30", pero para asegurar que las tuberías no trabajen a sección llena se utilizarán tuberías de 42" de PVC.

3.24. Evaluación de Impacto Ambiental

Se debe de establecer las características ambientales del área de influencia, los componentes del proyecto y la definición de las áreas sensibles, para proceder entonces a realizar la Evaluación de Impacto Ambiental, aplicando el siguiente marco metodológico:

- Establecimiento de las acciones del proyecto susceptibles de generar impactos ambientales y selección de los componentes ambientales con posibilidad de ser impactados.
- Selección de indicadores ambientales biofísicos y socioeconómicos y culturales.
- Identificación y selección de medidas de impacto cualitativas y cuantitativas.
- Determinación de los parámetros de calificación numéricos y cualitativos, los mismos que como principales variables tiene al carácter genérico, a la reversibilidad del impacto y a la magnitud.
- Calificación y predicción de los impactos para cada una de las principales actividades, aplicando el método matricial de interacción entre los componentes socio-ambientales y los diferentes parámetros de calificación de impactos.

- Descripción de los impactos según la jerarquización: significativo y no mitigable (impacto crítico); significativo y mitigable (impacto severo); poco insignificante y mitigable (impactos moderados) e insignificante y beneficioso (impactos compatibles).

3.24.1. Impactos deducidos del estudio

Los impactos generados en la zona de estudio se producen como consecuencia de las obras de construcción de la carretera, cuando entre en funcionamiento o simplemente por la existencia de una nueva estructura lineal que se convierte en una barrera entre ambos lados de la nueva vía.

Entre las acciones que generan impactos durante la fase de obra está el movimiento de tierras por maquinaria pesada, la alteración de la cubierta vegetal y el drenaje natural.

3.24.1.1. Impactos sobre el agua

Posiblemente habrá cierta alteración de los cursos de agua en la fase de obras. Sin embargo, está previsto respetar los cursos de agua intermitentes existentes en las zonas por donde discurre la carretera en la zona de estudio. No parece que se alteren de forma significativa los cursos naturales ni el drenaje superficial. En cuanto a la afección de las aguas subterráneas, puede haber cierto peligro de contaminación por vertidos durante la fase de obras que se evitan con medidas preventivas. Una vez construida la autovía habrá una zona de impermeabilización del suelo (zona asfaltada) que impida la filtración aumentando el drenaje superficial.

3.24.1.2. Impactos en la atmosfera: calidad del aire y ruido

Se debe valorar el impacto sobre la calidad del aire en relación con los contaminantes y con la energía disipada en forma de ruido.

3.24.1.3. Impactos en la calidad del aire

La calidad de aire, que es excelente en estos momentos se modificará tanto en la fase de obras como en la de funcionamiento de la autovía. En la fase de obras se producirán partículas en suspensión que afectarán a zonas próximas. La afección dependerá principalmente del régimen de vientos y puede llegar a tener importancia en la zona urbana de las cercanías.

En la fase de funcionamiento de la carretera se producirán emisiones de contaminantes que podrán a la vez, generar otros compuestos (contaminantes secundarios) afectando a las zonas más cercanas a la carretera; también la extensión de los contaminantes estará regulada por los vientos. Los metales pesados quedarán cerca de la vía pudiendo afectar a los suelos y la vegetación de las zonas próximas.

3.24.1.4. Contaminación sonora

Habrà un incremento de ruido en la zona en la fase de obras, pero el impacto por ruido será muy importante en la fase de funcionamiento de la autovía.

3.24.1.5. Impacto sobre el medio biótico

El aspecto que afectará directamente a la fauna es el ruido; tanto en la fase de construcción como posteriormente.

En la fase de obra, la maquinaria y las voladuras, si las hubiera, afectan en general a toda la fauna, pero sobre todo se ven más afectados en primer lugar las aves y en segundo lugar los mamíferos. Los gases contaminantes de los carros también afectan la fauna.

3.24.1.6. Impacto sobre la vegetación

Gases contaminantes: el impacto mayor está constituido por el aumento de gases emitidos por los vehículos al circular por el nuevo acceso.

3.24.2. Medidas correctoras

Como consecuencia de la construcción del segundo acceso se generarán importantes impactos negativos en el medio físico, tanto en la fase de obras como en la de funcionamiento de la autovía. Se destacan como especialmente graves, los impactos sobre el paisaje, la atmósfera (ruido y contaminación) y sobre los usos del suelo. La modificación en el medio físico (contaminación, ruido, efecto barrera) producirá a la vez efectos negativos en el medio biótico (vegetación y fauna) difíciles de evaluar.

Las medidas correctoras de impactos que afecten al medio físico serán al mismo tiempo eficaces para reducir impactos sobre el medio biótico, aunque se deberán arbitrar medidas concretas de corrección de efectos negativos sobre la fauna y la vegetación. A continuación se indican medidas correctoras a los

efectos negativos más importantes que se han detectado, dando mayor importancia a la corrección de los impactos generados por el futuro tránsito de automóviles que a los producidos en la fase de obra, considerando que los efectos de estos últimos no serán permanentes.

Los suelos por los que discurrirá la carretera dejarán de ser de cultivos, ganaderos y recreativos, para convertirse en un corredor por donde pasará una vía de circulación ajardinada en los márgenes. Aunque no se recuperaría el uso agrario o ganadero, sí podría rescatarse el uso recreativo actual como zona de campo donde pasear, para ello la replantación se debería llevar a cabo con plantas autóctonas, de modo que pueda convertirse en una zona urbana ajardinada.

La vegetación con plantas autóctonas que a largo plazo pueden llegar a regenerar un encinar, beneficiaría a la fauna, aumentando los hábitats disponibles. Se pueden llevar a cabo otras acciones compensatorias: introducir casetas de nidificación, facilitar la alimentación de las aves.

3.25. Presupuesto

Para el cálculo del presupuesto se consideraron los siguientes aspectos: materiales, mano de obra, maquinaria, combustible, transporte de materiales, prestaciones, factores de gastos indirectos como utilidad, administración e impuestos.

Tabla XXXVII. Presupuesto de pavimento flexible en quetzales (Q)

PRESUPUESTO DEL PROYECTO						
DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHON SANTA CATRINA PINULA						
PRESUPUESTO DEL PROYECTO						
PROYECTO:			DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHON SANTA CATRINA PINULA			
No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL	
1	Replanteo y Levantamiento Topográfico para construcción	1,70	Km	Q 5.325,00	Q	9.052,50
2	Reacondicionamiento de Sub-Rasante Existente. (e = 0,35m)	297,85	m ²	Q 73,50	Q	21.891,98
3	Capa de Subbase Comun (e = 0,25m)	1.382,88	m ³	Q 8,86	Q	12.252,32
4	Capa de Base estabilizada (e = 0,15m)	829,73	m ³	Q 172,44	Q	143.077,78
5	Riego de imprimación con liquido MC-70 a razon de 0,30 gal/m2	1.855,00	Galones	Q 30,68	Q	56.911,40
6	Colocación de carpeta de rodadura con mezcla asfáltica, de un espesor de 0.125 m.	6.108,79	m ²	Q 257,94	Q	1.575.701,29
7	Alcantarilla de tubo PVC de 42" de diámetro	24,00	m	Q 1.326,83	Q	31.843,92
8	Cajas y cabezales para alcantarillas de concreto ciclopeo	12,00	m ³	Q 2.116,78	Q	25.401,36
9	Construcción de cuneta revestida	1.410,00	m	Q 107,31	Q	151.307,10
10	Construcción de bordillo de concreto simple	350,00	m	Q 84,91	Q	29.718,50
11	Señalización horizontal con pintura termoplástico para línea central de 0.10m de ancho y 0.002m de espesor color amarillo.	844,37	m	Q 33,22	Q	28.049,97
12	Señalización horizontal con marcadores retroreflectivos de pavimento de doble cara color amarillo.	18,00	Unidades	Q 46,51	Q	837,18
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		Q2.086.045,30				

Fuente: elaboración propia.

3.26. Análisis socioeconómico

El estudio socioeconómico trata del tiempo en el cual será reembolsado el costo del proyecto, el tiempo de reembolso debe ser el menor que se pueda para que empiece a generar ganancias. Por medio de este estudio se puede conocer la rentabilidad del proyecto, en este caso se analizó el Valor Presente Neto y la comparación con la Tasa Interna de Retorno.

3.27. Valor Presente Neto

Al investigar diferentes situaciones económicas se observa que el tiempo es un factor continuo indispensable. Las escalas de tiempo son frecuentemente necesarias para visualizar el flujo previsto de efectivo resultante de una inversión propuesta. A sí las cantidades que se indiquen sobre la escala de tiempo se consideran como desembolso o ingresos. Es decir, que el valor del dinero cambia conforme el tiempo, debido a diferentes factores tales como inflación, mercado, etc.

Dicho valor se utiliza para comparar alternativas de inversión. Consiste en transformar la inversión inicial, los ingresos y egresos anuales, así como valores futuros de rescate de un proyecto a un valor presente, a manera de determinar si este es rentable al término del período de funcionamiento para el presente proyecto se determina el VPN con una tasa de interés igual a la tasa de rendimiento mínima atractiva que en el mercado actual es de 12,77 %.

4. RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA

4.1. Descripción del proyecto

Este proyecto consiste en el diseño del sistema de alcantarillado pluvial para la zona 1 de la cabecera municipal de Santa Catarina Pinula. Dicha necesidad se identificó investigando la problemática que viven los pobladores a raíz de la falta de este elemental servicio. La red a diseñar presenta una longitud de 3 001,73 metros lineales y 30 pozos de visita, los cuales se construirán de acuerdo a las especificaciones del reglamento de construcción del municipio, tales como las alturas mínimas, cotas Invert, etc.

La tubería a utilizar será de concreto y tendrá un diámetro mínimo de 21” pulgadas. Las pendientes de la tubería se tomaron de acuerdo a las pendientes del terreno, evitando rebasar las velocidades y caudales permitidos. El desfogue se realizará en la línea de conducción principal hacia un zanjón que conducirá las aguas pluviales hacia el río Pinula.

4.2. Bases de diseño

Las características básicas para la realización del diseño son las siguientes:

4.2.1. Diámetros mínimos

El diámetro mínimo a utilizar en los alcantarillados pluviales es de 10" en tubería de PVC y 12" en tubería de concreto, como lo indica el INFOM.

4.2.2. Velocidades mínimas y máximas

La velocidad mínima con el caudal de diseño es de 0,60 m/s.

La velocidad máxima con el caudal de diseño es de 3,00 m/s.

4.3. Diseño hidráulico

Las condiciones siguientes son consideradas para la realización del diseño hidráulico.

4.3.1. Coeficiente de escorrentía

Es el porcentaje de agua total llovida tomada en consideración, puesto que no todo el volumen de precipitación pluvial drena por medio de la alcantarilla natural o artificial. Esto se debe a la evaporación, infiltración, retención en oquedades del suelo, etc. Por lo que existirá diferente tipo de coeficiente para cada tipo de terreno, el cual será mayor cuanto más impermeable sea la superficie.

El coeficiente de escorrentía promedio se calculará así:

$$C = \frac{\Sigma(c * a)}{\Sigma a}$$

Donde

C = coeficiente de escorrentía de cada una de las áreas parciales

A = áreas parciales (hectáreas)

C = coeficiente de escorrentía promedio del área drenada

Tabla XXXVIII. **Valores indicativos del coeficiente de escorrentía**

Valores de C para superficies	Capacidad de infiltración del suelo		
	Mínimo	Máximo	Adoptado
Techos impermeables	0.70	0.95	0.80
Pavimento de asfalto en buen estado	0.85	0.90	0.90
Superficie sin pavimentos, patios y lotes sin construir	0.10	0.30	0.30

Fuente: Instituto de Fomento Municipal. *Normas generales para diseños de alcantarillados, 2001.* p.28.

4.3.2. Intensidad de lluvia

Es el espesor de lámina de agua por unidad de tiempo, producida por esta; suponiendo que el agua permanece en el sitio donde cayó. Se mide en milímetros por hora. La intensidad de lluvia se determinó de acuerdo con las curvas de intensidad elaboradas por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, con base en estaciones pluviométricas ubicadas en el departamento de Guatemala.

Para el presente trabajo se utilizó la estación ubicada en el INSIVUMEH, por ser la más cercana a Santa Catarina Pinula. Se tomará la probabilidad de ocurrencia de 10 años, dada por la ecuación siguiente:

$$I = \frac{A}{(B + tc)^n}$$

Donde

$$A = 1,345$$

$$B = 9$$

Tc = tiempo de concentración hasta el tramo considerado.

$$n = 0,791$$

Según tabla obtenida por el método estándar de cálculo de curvas de duración – intensidad- frecuencia del INSIVUMEH Informe técnico No 4 – 88.

4.3.3. Áreas tributarias

El área a drenar, generalmente se calcula como áreas tributarias, expresadas en hectáreas. La capacidad de descarga de las alcantarillas pluviales depende del área individual de drenaje de cada registro y de las entradas pluviales.

4.3.4. Tiempo de concentración

Definimos el tiempo de concentración como el tiempo necesario para que la escorrentía de una tormenta fluya desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje a la salida de la misma. La escorrentía queda definida asimismo como la parte de la precipitación que fluye por la superficie del terreno.

Se divide en tiempo de entrada y tiempo de flujo dentro de la alcantarilla. En tramos consecutivos, el tiempo de concentración se estimara con la siguiente ecuación:

$$t_n = t_{n-1} + \frac{L}{60 (V_n - 1)}$$

Donde

t_n = tiempo de concentración hasta el tramo considerado

t_{n-1} = tiempo de concentración hasta el tramo anterior

L = longitud del tramo anterior

$V_n - 1$ = velocidad a sección llena en el tramo anterior

4.3.5. Pendiente de diseño

Se calcula de la siguiente forma:

$$S = \frac{\text{Cota de terreno final} - \text{cota de terreno inicial}}{\text{Longitud del tramo}} * 100$$

4.3.6. Caudal de diseño

Para la determinación del caudal pluvial se utilizará el Método Racional, cuya fórmula general es la siguiente:

$$q_{\text{diseño}} = \frac{CIA}{360}$$

Donde

$Q_{\text{diseño}}$ = caudal pluvial, en m³/ s

C = coeficiente de escorrentía

I = intensidad de lluvia

A = área tributaria en hectáreas

4.3.7. Velocidad de flujo a sección llena

La velocidad de flujo se calculará con la fórmula de Manning:

$$V = \frac{0.003429 * D^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde

V = velocidad a sección llena en m/s

D = diámetro de la sección circular en pulgadas

S = pendiente del terreno en m/m

N = coeficiente de rugosidad de Manning

n = 0,015 para tubos de 24 pulgadas y menores

n = 0.013 para tubos mayores de 24 pulgadas

4.3.8. Diámetro de la tubería

En este proyecto de alcantarillado sanitario, el diámetro mínimo establecido por el Reglamento de Construcción de Alcantarillados de la Municipalidad de Guatemala es de 10" para tubería de PVC y 12", para tubería de concreto. Se utilizarán diámetros mayores cuando sea necesario según el caudal de diseño estimado. En este proyecto se puede observar varios tipos de diámetros, desde el caudal de inicio que exige 21", hasta el lugar de desfogue donde se presenta un diámetro de 42".

4.4. Obras complementarias

Se diseñan para garantizar el buen funcionamiento del sistema de drenaje.

4.4.1. Pozos de visita

Sirven para verificar el buen funcionamiento de la red de tubería, así como para efectuar operaciones de limpieza y mantenimiento; se pueden construir de cualquier material, siempre que sea impermeable y duradero, dentro del período de diseño. Se diseñan en los siguientes casos:

Cambio de diámetro

- Cambio de pendiente.
- Cambios de dirección horizontal, para diámetros menores de 24”.
- Las intersecciones de dos o más tuberías.
- Los extremos superiores de ramales iniciales.
- A distancias no mayores de 100 metros en línea recta, en diámetros de hasta 24”.
- A distancias no mayores de 300 metros en diámetros superiores a 24”.

La diferencia de cotas Invert entre las tuberías que entran y salen de un pozo de visita será como mínimo de 0,03 m.

Cuando el diámetro interior de la tubería que entra a un pozo de visita sea menor que el diámetro interior de la que sale, la diferencia de cotas Invert será, como mínimo, la diferencia de dichos diámetros.

Cuando la diferencia sea mayor que 0,70 metros, deberá diseñarse un accesorio especial que encauce el caudal con un mínimo de turbulencia.

4.4.2. Tragantes

Estos pueden ser ubicados en los siguientes casos:

- En las partes bajas, al final de cada cuadra a 3,00 metros antes de la esquina.
- En puntos intermedios de las cuadras, cuando el caudal acumulado provoque un tirante superior a 0,10 metros.
- Únicamente en aquellas calles que cuenten con pavimento, que hayan recibido o que vayan a recibir algún tipo de tratamiento para estabilizar la superficie.
- Únicamente cuando las calles cuenten con bordillo o que se conozcan las cotas definitivas de la rasante.

4.5. Localización de la descarga

El cuerpo de descarga del drenaje pluvial será en una planta de tratamiento la cual se ubicará en un predio aledaño al río Pinula.

4.6. Ejemplo de cálculo

Tramo: PV0 – PV1

- La tubería a colocar será de concreto para tráfico pesado
- Por ser un tramo inicial el tiempo de concentración (t_c) será de 12 minutos

- Pendiente de terreno

$$S = \frac{\text{Cota PV0} - \text{Cota PV 1}}{\text{DH}} * 100$$

Donde

Cota PV0 = 91,04m

Cota PV1 = 89,90m

DH= 57,18m

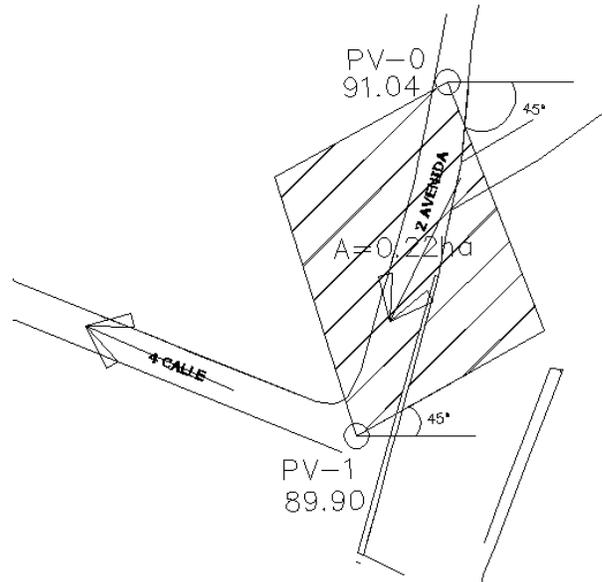
$$S = \frac{91.04 - 89.90}{57.18} * 100$$

$$S = 1,99 \%$$

- Área tributaria

Con la topografía tomada de la zona 1 de la cabecera municipal y el apoyo de la OMP se determinó el plano de densidad de vivienda el cual indica y facilita la ubicación de pozos de visita, trazando líneas a 45 grados entre cada pozo se puede determinar el área tributaria, tomando la medida en forma digital con la colaboración de un programa de computadora.

Figura 30. **Determinación de área tributaria**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

El área tributaria del tramo 0-1 es de:

$$\text{Área tributaria local: } 2\,199,59 \text{ m}^2 * (1\text{ha} / 100\,000 \text{ m}^2) = 0,22 \text{ ha}$$

$$\text{Área tributaria acumulada: } 0 + 0,22 \text{ ha} = 0,22 \text{ ha}$$

$$A = 0,22 \text{ ha}$$

- Intensidad de lluvia:

$$I = \frac{A}{(B + tc)^n}$$

Donde

$$A = 1\,345$$

$$B = 9$$

tc = por ser un tramo inicial el tiempo de concentración se toma de 12'

$$n = 0,791$$

Datos tomados según tabla obtenida por el método estándar de cálculo de curvas de duración – intensidad- frecuencia del INSIVUMEH Informe técnico No 4 – 88.

$$I = \frac{1,345}{(9 + 12)^{0,791}}$$

$$I = 121,02 \text{ mm/h}$$

- Coeficiente de escorrentía

Tabla XXXIX. **Integración de coeficientes de escorrentía**

% De Áreas	C	a	C*a
Casas 45%	0.7	0.009	0.06
Areas verdes 20%	0.3	0.04	0.012
Calles 35%	8.85	0.07	0.06
Σ		0.22	0.132

Fuente: Instituto de Fomento Municipal, *Normas generales para diseños de alcantarillados*.

$$C = \frac{0.132}{0.22}$$

$$C = 060$$

- Caudal de diseño:

$$q_{\text{diseño}} = \frac{CIA}{360}$$

Donde

$$C = 0,6$$

$$I = 121,02 \text{ mm/h}$$

$$A = 0,22 \text{ ha}$$

$$q_{\text{diseño}} = \frac{(0.6)(121.02)(0.22)}{360}$$

$$q_{\text{diseño}} = 0.044 \text{ m}^3/\text{s} * (1000 \text{ lts/ } 1\text{m}^3) = 44.43 \text{ lts/s}$$

$$q_{\text{diseño}} = 44.43 \text{ lts/s}$$

Iniciando con un diámetro de tubería de 24" y un pendiente de tubería de 2,10 % se calcula la velocidad de flujo y el diámetro a sección llena:

- Velocidad de flujo a sección llena:

$$V = \frac{0.003429 * D^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde

$$D = 24"$$

$$S = 2,10 \%$$

$$V = \frac{0.003429 * (24)^{2/3} * (0.021)^{1/2}}{0.013}$$

$$V = 3.18 \text{ m/s}$$

- Área a sección llena:

$$A = (5.067 * 10^{-4})(\phi)^2$$

Donde:

$$\phi = 24 \text{ "}$$

$$A = (5.067 * 10^{-4})(24)^2$$

$$A = 0,29 \text{ m}^2$$

- Caudal a sección llena:

$$Q = A * V$$

Donde

$$A = 0,29 \text{ m}^2$$

$$V = 3,18 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.29 * 3.18$$

$$Q = 0,92 \text{ m}^3/\text{s} * (1 \text{ 000 lts}/1 \text{ m}^3)$$

$$Q = 922,20 \text{ lts/s}$$

Se obtiene la relación q / Q :

Donde

q = caudal de diseño

Q = caudal a sección llena

$$44,43/922,2 = 0,04818$$

Después se busca este valor en las tablas de diseño hidráulico, así como la relación v/V correspondiente.

Se tiene que $q/Q = 0,04818$ $v/V = 0,517$

En la velocidad de diseño, que está dada por:

$$v = \frac{v}{V} * V$$

Donde

$v/V = 0,517$ según tabla de diseño

V = velocidad a sección llena

$$v = 0.517 * 3.18$$

$$v = 1,64 \text{ m/s}$$

Chequeo de velocidad:

$$v = 1,64 \text{ m/s}$$

Se observa que está dentro del rango permitido de $0,6 \leq v \leq 3,00 \text{ m/s}$,

$$0,6 \leq 1,64 \leq 3,00 \text{ m/s} \text{ por lo tanto chequea}$$

- Cálculo de tirantes:

A partir de la relación q/Q se puede obtener el valor del tirante de agua, para que no exista taponamiento en la tubería ni se sobrepase la capacidad del tubo; el tirante debe cumplir con la siguiente condición:

$$0.10 \leq \frac{d}{D} \leq 0.90$$

Entonces:

$d/D = 0,20$ según tabla de diseño hidráulico

$$0.10 \leq 0.15 \leq 0.90$$

La relación d/D esta dentro del rango permitido, por lo tanto chequea.

Se observa que la velocidad y el diámetro chequean, con esto se concluye el cálculo del caudal de diseño; este mismo modelo se adoptó para todos los tramos.

- Cálculo de cotas Invert:

Cota Invert de salida (Cis):

$$\text{Cis} = \text{Cota PV0} - \text{Hmin}$$

Donde

Cota PV0 = cota de terreno inicial

Hmin = profundidad mínima a la que debe ir colocada la tubería según el diámetro.

$$\text{Cis} = 91,04 \text{ m} - 1,86 \text{ m}$$

$$\text{Cis} = 89,18 \text{ m}$$

Cota Invert de entrada (Cie):

$$\text{Cie} = \text{Cis} - \frac{\text{Stub} * (\text{D. H.} - \phi\text{PV})}{100}$$

Donde

Cis = cota Invert de salida

Stub = pendiente de colocación de la tubería

Cis = cota Invert de salida

Stub = pendiente de colocación de la tubería

Cis = cota Invert de salida

D.H. = distancia horizontal entre cada pozo de visita

ϕPV = diámetro de pozo de visita se toma 1.20m para tubería de diámetro menor o igual a 24 pulgada

$$Cie = 89.18 - \frac{2.10 * (57.18 - 1.20)}{100}$$

$$Cie = 88.00 \text{ m}$$

- Cálculo de altura de pozos de visita:

Altura de pozo de visita inicial (Hinicial):

$$Hinicial = Cota - Cis$$

Donde

Cota = cota del terreno

Cis = cota Invert de salida

$$Hinicial = 91.04\text{m} - 89.18\text{m}$$

$$Hinicial = 1,86 \text{ m}$$

Altura de pozo de visita final (Hfinal):

$$Hfinal = Cota - Cie$$

Donde

Cota = cota del terreno

Cie = cota Invert de entrada

$$Hfinal = 89.90 - 88.00$$

$$Hfinal = 1.90\text{m}$$

4.7. Estudio de Impacto Ambiental

En sentido estricto, la ecología ha definido al ambiente como el conjunto de factores externos que actúan sobre un organismo, una población o una comunidad. Estos factores son esenciales para la supervivencia, el crecimiento y la reproducción de los seres vivos e inciden directamente en la estructura y dinámica de las poblaciones y de las comunidades. Sin embargo, la naturaleza es la totalidad de lo que existe. Dentro de ella, también, entra lo que la sociedad construye a través del accionar. Generalmente esto es lo que se identifica como ambiente.

Podría definirse el Impacto Ambiental (IA) como la alteración, modificación o cambio en el ambiente o en alguno de los componentes de cierta magnitud y complejidad originado o producido por los efectos de la acción o actividad humana. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan o una disposición administrativo-jurídica con implicaciones ambientales.

Debe quedar explícito, sin embargo, que el término impacto no implica negatividad, ya que este puede ser tanto positivo como negativo. Se puede definir el Estudio de Impacto Ambiental como el estudio técnico de carácter interdisciplinario, que incorporado en el procedimiento de la EIA está destinado a predecir, identificar, valorar y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y el entorno. Es un documento técnico que debe presentar el titular del proyecto y sobre la base del cual se produce la Declaración o Estimación de Impacto Ambiental.

4.7.1. Identificación de los factores que puedan causar impacto al medio ambiente y a que parte está afectando

Al analizar el diseño del proyecto se determinó que los elementos bióticos, abióticos y socioeconómicos que serán impactados por el proyecto son.

4.7.1.1. El agua

Debido a que existen fuentes superficiales pequeñas, quebradas, ríos, que pueden contaminarse con el movimiento de tierra.

4.7.1.2. El suelo

Si impactaran negativamente el mismo si no se verifica los movimientos de tierra, los efectos son fácilmente prevenible.

4.7.1.3. El aire

Si no se verifican las fugas de aguas negras rápidamente hay peligro en el ambiente con malos olores.

4.7.1.4. Salud

Existe un impacto relativamente pequeño en la salud en la etapa de construcción que debido al movimiento de tierras se producirá polvo en las sucesivas etapas del proyecto.

4.7.2. Impactos negativos

Los impactos negativos del proyecto se dan solo en las etapas de construcción y operación del proyecto y la mayoría se da en la fase de construcción los elementos más impactado negativamente son:

- El suelo
- El agua
- Las partículas en suspensión

4.7.2.1. Medidas de mitigación

Para evitar las polvaredas será necesario programar adecuadamente el horario de las labores de movimientos de tierra para evitar; el arrastre de partículas por el viento.

4.7.2.2. Plan de Contingencia

En áreas planas, ríos y riachuelos cercanos es común que en épocas de lluvia ocurran inundaciones con el consecuente arrastre de fango y otros materiales o cuerpos extraños que en un dado caso pudieran dañar el proyecto.

- Integrar un comité de emergencia contra inundaciones, involucramiento en la comunidad beneficiada y además deben velar por que los lugares en donde se ubican las obras civiles se encuentran lo más despejado posible.
- Elaborar un programa de capacitación para prevención de accidentes.

- Capacitar al (o a los) trabajadores que se encargara de darle mantenimiento al sistema especialmente sobre aspectos de limpieza de transversales y cajas de captación.
- Se debe velar porque los comunitarios no depositen la basura en las aguas superficiales para evitar obstaculizaciones al sistema.
- Para la disposición de desechos generados por las familias se debe contar con depósitos, distribuidos en lugares estratégicos.
- Capacitar al personal que laborara en el proyecto en el momento de entrar en operación para el mantenimiento y limpieza, así evitarnos la creación de basureros clandestinos.

4.7.2.3. Programa de Monitoreo Ambiental

- Supervisar periódicamente, si están siendo ejecutadas las medidas de supervisión y mantenimiento del sistema.
- Monitorear, si el personal utiliza el equipo necesario para la prevención de accidentes y de salud.
- Monitorear, si están organizada la comunidad de acuerdo en lo propuesto en las medidas o plan de contingencia.

4.7.2.4. Plan de Seguridad Humana

- El personal que trabajará en la ejecución del proyecto debe contar con el equipo adecuado, tal como mascarillas, guantes, overoles, botas, casco, etc., que minimicen los riesgos de accidentes de salud.
- Plan de capacitación al personal que laborará en la ejecución del proyecto sobre aspectos de salud y manejo del sistema y del equipo a utilizar.
- Mantener un lugar de fácil acceso, un botiquín con medicamentos de primeros auxilios.

4.7.2.5. Plan de Seguridad Ambiental

- En el análisis de los impactos se observa que el proyecto tiene aspectos negativos al ambiente, solamente en la etapa de construcción, pero estos son fácilmente manejables mediante la implementación de las medidas de mitigación que se explicaron en el apartado de alternativas de ahí en adelante no se visualizan impactos que dañen el ambiente.

Al analizar el diseño del proyecto se determinó que los elementos bióticos, abióticos y socioeconómicos que serán impactados por el proyecto son.

- El agua: debido a que existen fuentes superficiales pequeñas, quebradas, ríos, que pueden contaminarse con el movimiento de tierra, al momento del zanjeo.
- El suelo: si impactarán negativamente el mismo si no se verifica la etapa del zanjeo porque habrán movimientos de tierra por el mismo solamente se dará en la etapa de construcción y los efectos son fácilmente prevenible.
- El aire: si no se verifican las fugas de aguas negras rápidamente hay peligro en el ambiente con malos olores.
- Salud: hay un impacto relativamente pequeño en la salud en la etapa de construcción que debido al movimiento de tierras se producirá polvo en las sucesivas etapas del proyecto.

4.8. Planos constructivos

Se elaboraron los siguientes planos

- Curvas de nivel: contienen las curvas de nivel que permitieron dar dirección al caudal de diseño del proyecto.
- Densidad de vivienda: Indican el tipo de pavimento, la cantidad de viviendas y las estaciones.
- Red General: indican la localización de pozos de visita, dirección de flujo, longitud, tipo de tubería y diámetro de tubería a utilizar.
- Planta – perfil: dibujo de la planta y el perfil del drenaje pluvial, indicando alturas de pozos de visita, dirección de flujo y pendientes de terreno y de colocación de tubería.
- Tablas y detalles: se dibujaron los detalles de drenaje y pozos de visita.

4.9. Presupuesto de drenaje pluvial

Para el cálculo del presupuesto se consideran los siguientes rubros: Mano de obra, materiales, maquinaria, combustible, transporte de materiales y factores de gastos indirectos como utilidad, administración e impuestos.

Tabla XL. Presupuesto de drenaje pluvial en quetzales (Q)

PRESUPUESTO DEL PROYECTO					
RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA					
PRESUPUESTO DEL PROYECTO					
PROYECTO:		RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA DE SANTA CATARINA PINULA			
No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	TRABAJOS PRELIMINARES	3.001,73	m	Q 10,00	Q 30.017,30
1.1	Replanteo y Levantamiento Topográfico, trazo y estaqueado.	3.001,73	m	Q 10,00	Q 30.017,30
2	DRENAJE PLUVIAL	3.001,73	m	Q 1.398,97	Q 933.186,73
2.1	Colector de concreto de 24" diámetro	2.632,44	m	Q 277,65	Q 730.896,97
2.2	Colector de concreto de 36" diámetro	196,91	m	Q 366,76	Q 72.218,71
2.3	Colector de concreto de 42" diámetro	172,38	m	Q 754,56	Q 130.071,05
3	POZOS DE VISITA	30,00	Unidades	Q 14.251,43	Q 427.542,90
3.1	Construcción de pozos de visita, con base y tapadera	30,00	Unidades	Q 14.251,43	Q 427.542,90
5	CONSTRUCCION DE TRAGANTES	30,00	Unidades	Q 6.453,86	Q 193.615,80
5.1	Construcción de tragantes	30,00	Unidades	Q 6.453,86	Q 193.615,80
6	LIMPIEZA	1,00	Global	Q 9.500,00	Q 9.500,00
6.1	Limpieza y retiro de material sobrante	1,00	Global	Q 9.500,00	Q 9.500,00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		Q1.593.862,73			

Fuente: elaboración propia.

4.10. Análisis socioeconómico

La Municipalidad de Santa Catarina Pinula pretende invertir Q 1 593 862,73 en la ejecución del proyecto de la red de drenaje pluvial en la cabecera municipal.

El estudio socioeconómico trata del tiempo en el cual será reembolsado el costo del proyecto, el tiempo de reembolso debe ser el menor que se pueda para que empiece a generar ganancias. Por medio de este estudio se puede conocer la rentabilidad del proyecto, en este caso se analizó el valor presente neto y la comparación con la Tasa Interna de Retorno.

4.10.1. Valor Presente Neto

Al investigar diferentes situaciones económicas se observa que el tiempo es un factor continuo indispensable. Las escalas de tiempo son frecuentemente necesarias para visualizar el flujo previsto de efectivo resultante de una inversión propuesta. Así las cantidades que se indiquen sobre la escala de tiempo se consideran como desembolso o ingresos es decir, que el valor del dinero cambia conforme el tiempo, debido a diferentes factores tales como inflación, mercado, etc.

Dicho valor se utiliza para comparar alternativas de inversión, consiste en transformar la inversión inicial, los ingresos y egresos anuales, así como valores futuros de rescate de un proyecto a un valor presente, a manera de determinar si este es rentable al término del período de funcionamiento para el presente proyecto se determina el VPN con una tasa de interés igual a la tasa de rendimiento mínima atractiva que en el mercado actual es de 12,77 %.

CONCLUSIONES

1. La planificación y diseño de la red de alcantarillado pluvial para la zona 1 de la cabecera municipal de Santa Catarina Pinula ayudará resolver la necesidad de saneamiento, beneficiará a 16,190 habitantes del municipio.
2. El costo monetario de construir la red de alcantarillado pluvial para la zona 1 de la cabecera municipal de Santa Catarina Pinula, el cual cuenta con 3 001,73 m de construcción es de Q 3 637 022,20, lo cual indica que el precio por m del drenaje es de Q 829,70, ubicando esta cantidad en el promedio del costo de obras de este tipo en el municipio de Santa Catarina Pinula.
3. Para el diseño del pavimento flexible se seleccionó una sección típica E, de las especificaciones para carreteras de la Dirección General de Caminos de Guatemala.
4. Para el diseño del pavimento flexible se utilizaron métodos conocidos en relación a la información de las características del tránsito promedio diario anual. Estos métodos, basados en la experiencia son útiles cuando no se cuentan con los recursos necesarios para realizar conteos de tránsito en donde se especifiquen los pesos de los ejes de los vehículos.

RECOMENDACIONES

A la Municipalidad de Santa Catarina Pinula

1. Garantizar la supervisión técnica, a la hora de ejecución de los proyectos, para que se cumplan con todas las especificaciones contenidas en los planos.
2. Organizar a los vecinos, para proveerle mantenimiento necesario a la red de alcantarillado pluvial y evitar así el colapso de esta por acumulación de basura.
3. En caso de existir discrepancia en los planos generales de construcción, entre estos y los planos de detalle de trabajo, o bien entre los planos y especificaciones se aplicarán las siguientes reglas:
 - Los planos se regirán sobre las especificaciones
 - Los dibujos de detalle o de trabajo a tamaño natural o escala mayor sobre los de escala menor.
 - Las medidas señaladas por cotas, regirán sobre las tomadas a escala

BIBLIOGRAFÍA

1. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5a ed. México: Limusa. 2004. 82 p.
2. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, República de Guatemala. *Especificaciones Técnicas para diseño de carreteras*. Departamento técnico de ingeniería, Guatemala: MICIVI, 1985 78 p.
3. Instituto Nacional de Fomento Municipal. *Normas generales para diseños de alcantarillados*. Guatemala: INFOM, 2001. 30 p.
4. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología. *Mapas de duración-intensidad-frecuencia de precipitación para la república de Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH, 2002. 61 p.
5. ——— . *Informe técnico No.4-88 Método estándar de cálculo de curvas de duración-intensidad-frecuencia*, Guatemala: INSIVUMEH, 1988. 77 p.
6. Secretaria de Integración Económica Centroamericana. *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*, Guatemala: SIECA, 2010. 380 p.

APÉNDICES

APÉNDICE A

**RESULTADOS DE LABORATORIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR
SAN VICENTE DE LA ALDEA EL CANCHÓN SANTA CATARINA PINULA,
GUATEMALA**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 15872

INFORME No. 0404 S.S.

O.T. No.: 28,754

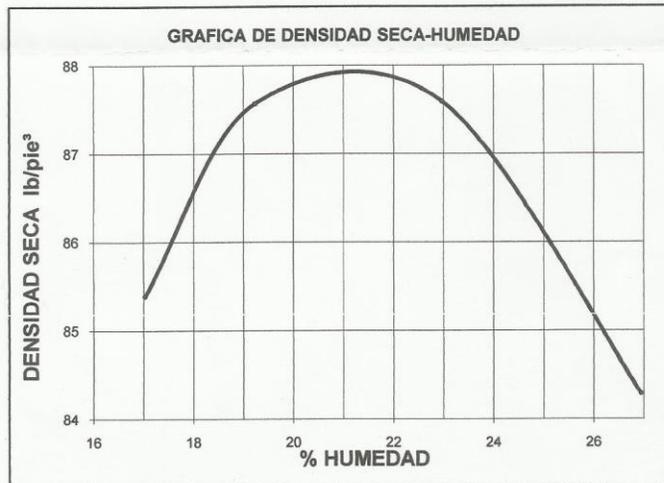
Interesado: Raul Edgardo Rosales Bautista
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: () Norma:
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: EPS-Diseño del Pavimento Flexible para la Calle de Ingreso al Sector San Vicente
de la Aldea El Canchon

Ubicación: San Vicente de Aldea El Canchon

Fecha: 23 de septiembre de 2011



Descripción del suelo: Arena limosa color café claro.
Densidad seca máxima γ_d : 1,408 Kg/m³
Humedad óptima Hop.: 21.2 %
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

87.9 lb/ft³

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Meltrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



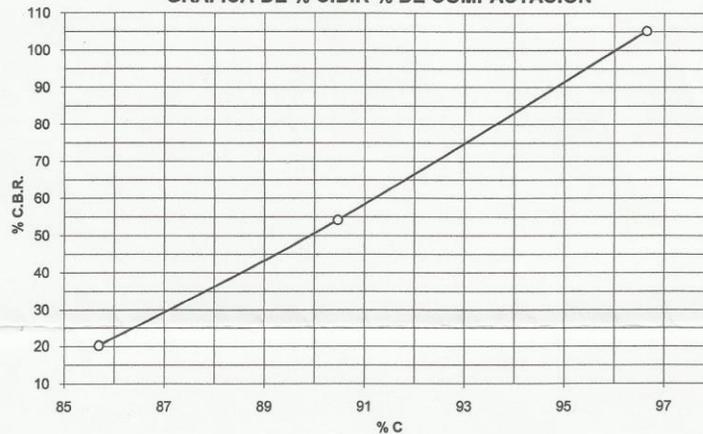
Nº 15889

INFORME No.: 0405 S.S. O.T. No.: 28,754
 Interesado: Raul Edgardo Rosales Bautista
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: EPS-Diseño del Pavimento Flexible para la Calle de Ingreso al Sector San Vicente de la Aldea El Canchon
 Ubicación: San Vicente de Aldea El Canchon
 Descripción del suelo: Arena limosa color café claro.

Fecha: 23 de septiembre de 2011

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d b/pe ³			
1	10	19.00	75.3	85.7	0.13	20.3
2	30	19.00	79.5	90.5	0.17	54.2
3	65	19.00	85.0	96.6	0.15	105.2

GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION



Atentamente,

Vo. Bo.:

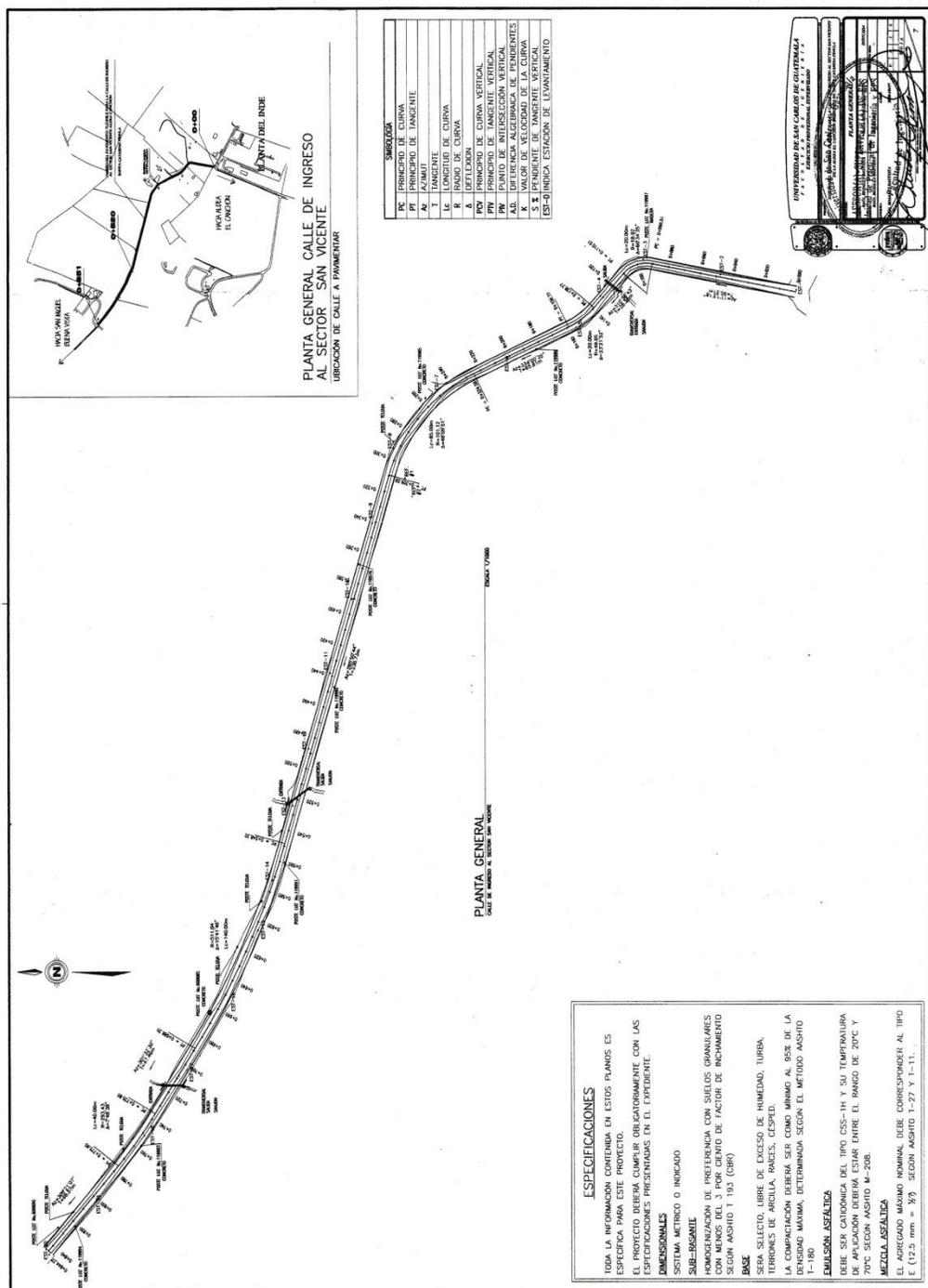
Inga. Telma Marcela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



APÉNDICE B
PLANOS CONSTRUCTIVOS DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
PARA LA CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE DE LA ALDEA
EL CANCHÓN SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA



PLANTA GENERAL CALLE DE INGRESO AL SECTOR SAN VICENTE UBICACION DE CALLE A PAVIMENTAR

SIMBOLOGIA	
PC	PRINCIPIO DE CURVA
PT	PRINCIPIO DE TANGENTE
T	TANGENTE
LC	LONGITUD DE CURVA
R	RADIO DE CURVA
PCV	PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
PVI	PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL
PV	PUNTO DE INTERSECCION VERTICAL
AV	VALOR DE VELOCIDAD EN PUNTO DE INTERSECCION VERTICAL
S	PENDIENTE DE TANGENTE VERTICAL
EST-0	INDICA ESTACION DE LEVANTAMIENTO

ESPECIFICACIONES
 TODA LA INFORMACION CONTENIDA EN ESTOS PLANOS ES ESPECIFICA PARA ESTE PROYECTO. EL PROYECTO DEBERA CUMPLIR OBLIGATORIAMENTE CON LAS ESPECIFICACIONES PRESENTADAS EN EL EXPEDIENTE.

DIMENSIONALES
 SISTEMA METRICO O INDICADO

SUB-BASANTE
 HOMOLOGACION DE PREFERENCIA CON SUELOS GRANULARES SEGUN TABLA DE FACTOR DE INCORPORACION SEGUN ASHITO T 183 (CBR)

BASE
 SERA SELECCIONADO LIBRE DE EXCESO DE HUMEDAD, TURBA, TERRONES DE ARCILLA, RAICES, CESPED.
 LA COMPACTACION DEBERA SER COMO MINIMO AL 95% DE LA DENSIDAD MAXIMA, DETERMINADA SEGUN EL METODO ASHITO 1-180

EMULSION ASFALTICA
 DEBE SER CATIONICA DEL TIPO CSS-1H Y SU TEMPERATURA DE APLICACION DEBERA ESTAR ENTRE EL RANGO DE 20°C Y 70°C SEGUN ASHITO M-208.

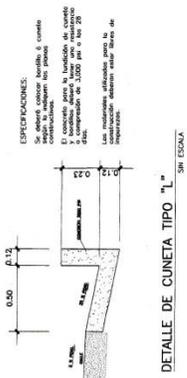
MEZCLA ASFALTICA
 EL AGREGADO MAXIMO NOMINAL DEBE CORRESPONDER AL TIPO E (12.5 mm. = 3/8) SEGUN ASHITO 1-271 Y 1-11.

UNA VEZ REVISADO POR ESTE CAMBIO DE DISEÑO Y APROBADO POR EL INGENIERO EN JEFE DEL AREA DE DISEÑO Y PLANIFICACION DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA.

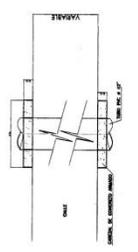
INGENIERO EN JEFE DEL AREA DE DISEÑO Y PLANIFICACION DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

INGENIERO EN JEFE DEL AREA DE DISEÑO Y PLANIFICACION DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

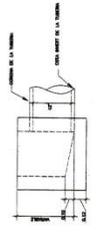
INGENIERO EN JEFE DEL AREA DE DISEÑO Y PLANIFICACION DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA



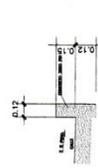
DETALLE DE CUNETA TIPO "L"
 SIN ESCALA



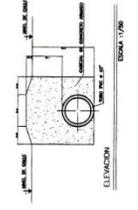
PLANTA DE TRANSVERSAL
 SIN ESCALA



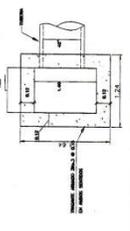
ELEVACION CABEZAL DE ENTRADA
 SIN ESCALA



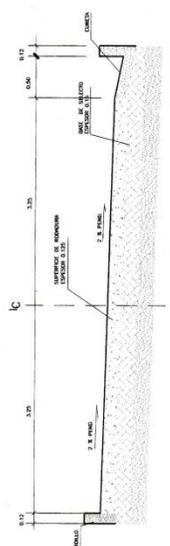
DETALLE DE BORDILLO
 SIN ESCALA



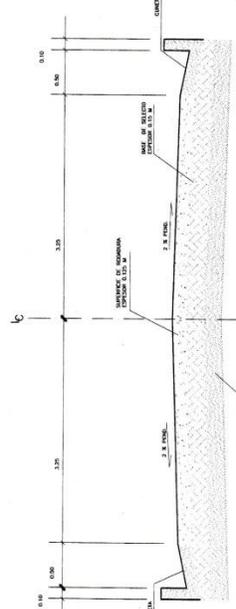
DETALLE DE TRANSVERSAL
 SIN ESCALA



PLANTA CABEZAL DE ENTRADA
 SIN ESCALA

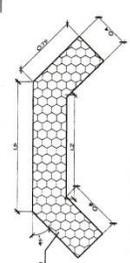


DETALLE DE GABARITO CON BORDILLO Y CUNETA TIPO "L"
 SIN ESCALA

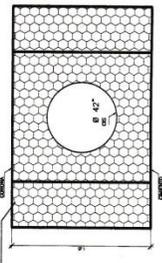


DETALLE DE GABARITO CUNETA TIPO "L"
 SIN ESCALA

NOTA LA PROYECCION PARA EL CONCRETO
 CONCRETO COLADO
 CONCRETO COLADO

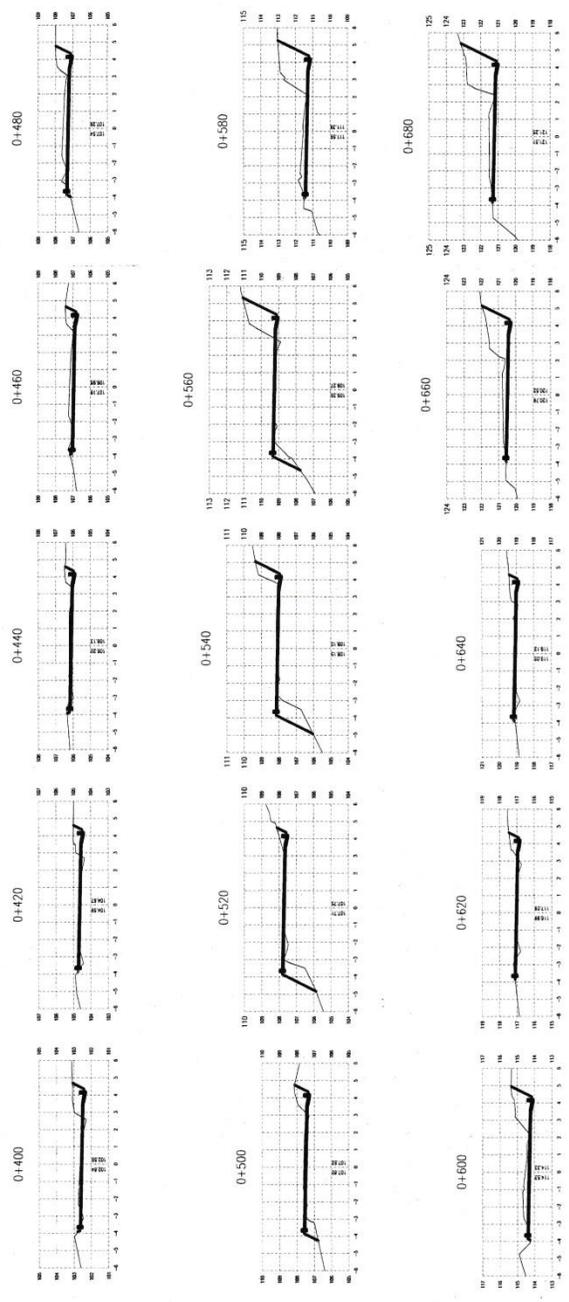


CABEZAL DE DESCARGA
 PLANTA



CABEZAL DE DESCARGA
 ELEVACION

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 ESCUELA DE INGENIERIA EN INGENIERIA CIVIL
 TITULO DE INGENIERO CIVIL
 AREA DE INGENIERIA EN INGENIERIA CIVIL
 CATEDRA DE INGENIERIA EN INGENIERIA CIVIL
 TITULO DE INGENIERO CIVIL
 AREA DE INGENIERIA EN INGENIERIA CIVIL
 CATEDRA DE INGENIERIA EN INGENIERIA CIVIL



SECCIONES TRANSVERSALES
 CALLE DE MUJERES EL CENTRO SAN RAFAEL

ESCALA 1/200

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: OBRAS DE RECONSTRUCCION DE LA CALLE DE MUJERES EL CENTRO SAN RAFAEL

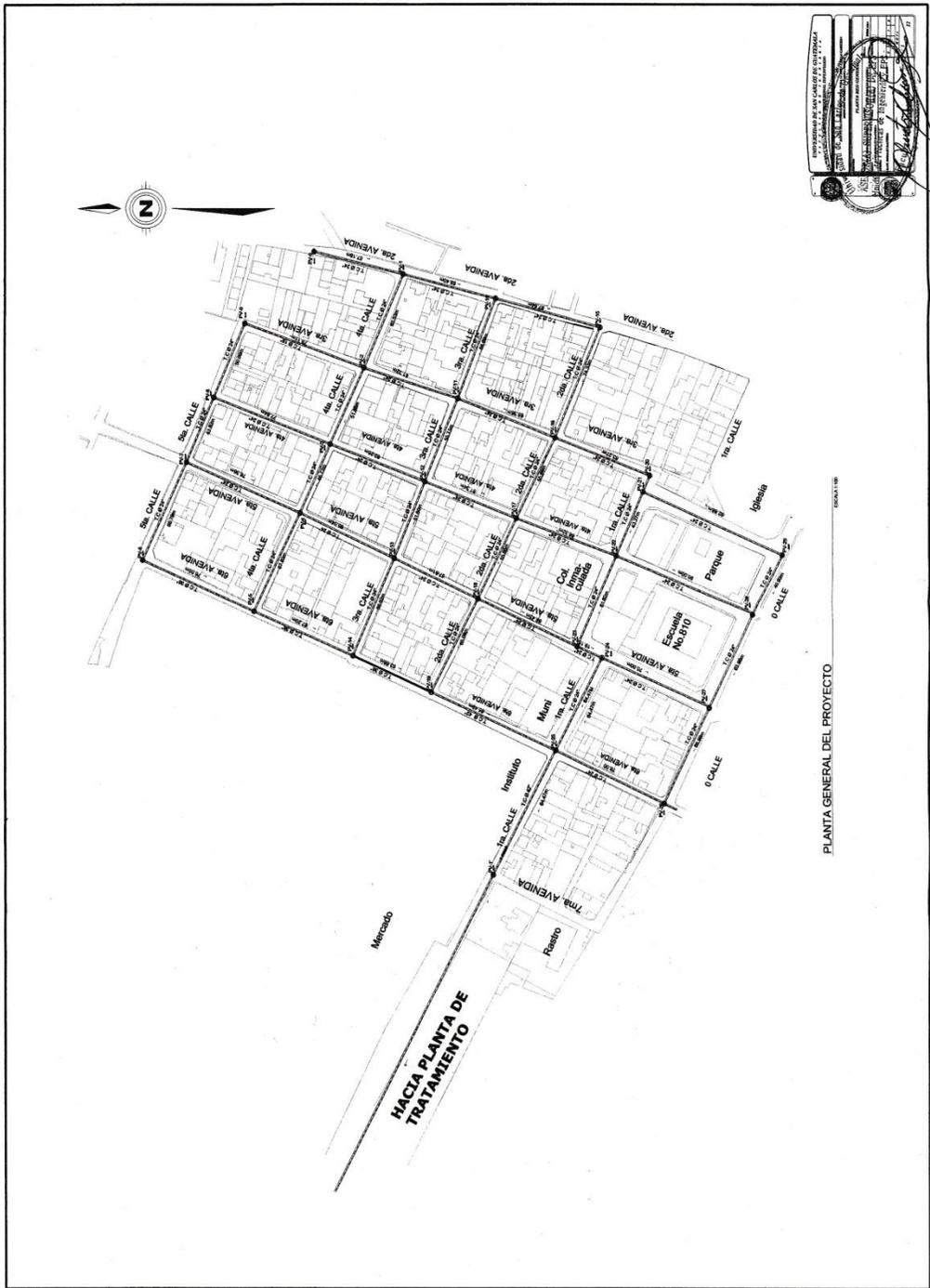
FECHA: 15/05/2018

ELABORADO POR: [Firma]

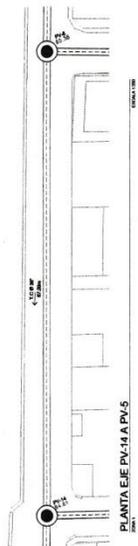
REVISADO POR: [Firma]

APROBADO POR: [Firma]

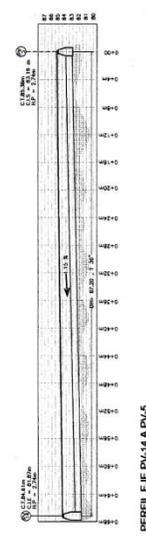
APÉNDICE C
PLANOS CONSTRUCTIVOS PARA LA RED DE ALCANTARILLADO
PLUVIAL PARA LA ZONA 1 DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SANTA
CATARINA PINULA, GUATEMALA



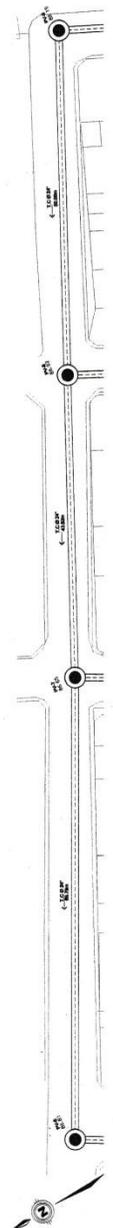
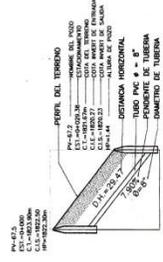
PLANTA GENERAL DEL PROYECTO



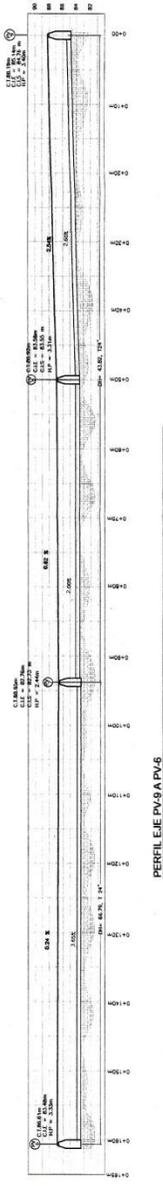
PLANTA EJE PV-14 A PV-5



PERFIL EJE PV-14 A PV-5



PLANTA EJE PV-9 A PV-6



PERFIL EJE PV-9 A PV-6

