



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

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL
DE LA ALDEA EL PAJÓN Y PAVIMENTACIÓN EN RESIDENCIAL EL SOCORRO,
MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Vilma Paola Roque López

Asesorado por la Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL
DE LA ALDEA EL PAJÓN Y PAVIMENTACIÓN EN RESIDENCIAL EL SOCORRO,
MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

VILMA PAOLA ROQUE LÓPEZ

ASESORADO POR LA INGA. MAYRA REBECA GARCÍA SORIA DE SIERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo 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 Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADORA	Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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 SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL
DE LA ALDEA EL PAJÓN Y PAVIMENTACIÓN EN RESIDENCIAL EL SOCORRO,
MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha noviembre de 2009.



Vilma Paola Roque López

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 09 de octubre de 2012
Ref.EPS.DOC.1363.10.12

Inga. Sigríd 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.), de la estudiante universitaria **Vilma Paola Roque López** con carné No. **200413506**, de la Carrera de Ingeniería Civil, , procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL PAJÓN Y PAVIMENTACIÓN EN RESIDENCIAL EL SOCORRO, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA”**.

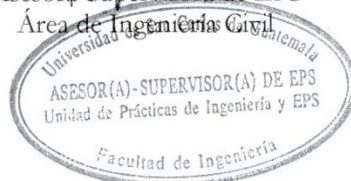
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo
MRGSds/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 SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL PAJÓN Y PAVIMENTACIÓN EN RESIDENCIAL EL SOCORRO, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Vilma Paola Roque López, quien contó con la asesoría de la Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra.

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 INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/bbdeb.



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 SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL PAJÓN Y PAVIMENTACIÓN EN RESIDENCIAL EL SOCORRO, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Vilma Paola Roque López, quien contó con la asesoría de la Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra.

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 Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

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.365.07.14

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 SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL PAJÓN Y PAVIMENTACIÓN EN RESIDENCIAL EL SOCORRO, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Vilma Paola Roque López, carné 200413506**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra.

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. Mayra Rebeca García Soria de Sierra y del Coordinador de E.P.S. Ing. Silvio José Rodríguez Serrano, al trabajo de graduación de la estudiante Vilma Paola Roque López, titulado **DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL PAJÓN Y PAVIMENTACIÓN EN RESIDENCIAL EL SOCORRO, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

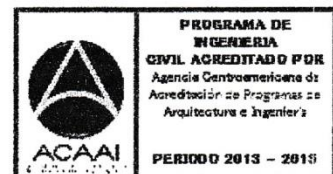

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



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. 448.2014

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 SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL PAJÓN Y PAVIMENTACIÓN EN RESIDENCIAL EL SOCORRO, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Vilma Paola Roque López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 3 de septiembre de 2014



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme el privilegio de la vida.
Mis padres	Evelio Roque y Vilma de Roque, por ser mi mayor tesoro, mi bendición y mi guía, mi mayor orgullo son ustedes.
Mis abuelos	Por llenar mi vida de tanto amor, son mi ejemplo.
Mis sobrinos	Por ser mi mayor felicidad, los amo.
Mis tíos	Por todo su cariño, en especial a mi mami Mary, por tu amor muchas gracias
Mis primos	Por todas los buenos momentos que hemos pasado juntos.
Mi ángel	Edson Hernández, porque sé que desde una ventana en el cielo estás junto a mí en este momento, con todo mi amor esto es especialmente para ti.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Sin el nada hubiera sido posible.
Mis padres	No existen palabras, ni me alcanzará esta vida para poder agradecer lo que han hecho por mí.
Mi familia	Por el apoyo y exhortarme a seguir adelante.
Mis amigos	A todos los que de alguna forma han formado parte importante en este logro, en especial a Raúl Rosales y José Estupe, a todos gracias por su cariño.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme la oportunidad de convertirme en una profesional, regalándome vivencias y experiencias únicas en esta casa de estudios.
Inga. Mayra de Sierra	Por su valioso apoyo y asesoría.
Municipalidad de Santa Catarina Pinula	Por permitirme formar parte de tan prestigiosa institución, a todos mis compañeros muchas gracias, en especial al Lic. José Antonio Coro, un profesional admirable y una persona ejemplar.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA	1
1.1. Marco geofísico	1
1.1.1. Situación geográfica	1
1.1.2. Clima	3
1.1.3. Accidentes orográficos	4
1.1.4. Integración territorial	4
1.2. Marco cultural	5
1.2.1. Etimología.....	6
1.2.2. Idioma.....	6
1.2.3. Fiesta titular	6
1.2.4. Actividad sociocultural y deportiva.....	7
1.3. Marco económico	7
1.3.1. Población	8
1.3.2. Educación.....	8
1.3.3. Medios de transporte	9
1.3.4. Vías de comunicación.....	9
1.3.5. Infraestructura.....	10
1.4. Actividades económicas	10

1.5.	Tasa de crecimiento	12
1.6.	Salud	12
1.7.	Medio ambiente y recursos naturales.....	13
1.7.1.	Cobertura boscosa	13
1.7.2.	Recursos hídricos.....	15
1.8.	Saneamiento ambiental.....	17
1.8.1.	Aguas residuales	17
1.8.2.	Desechos sólidos	17
1.9.	Sistema de agua potable.....	17
1.10.	Sistema de drenaje sanitario	18
1.11.	Sistema de drenaje pluvial	18
2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL ALDEA EL PAJÓN	19
2.1.	Descripción del proyecto	19
2.2.	Ubicación geográfica del proyecto	19
2.3.	Vías de acceso al proyecto	21
2.4.	Estudio topográfico.....	22
2.4.1.	Planimetría y altimetría.....	23
2.5.	Período de diseño	23
2.6.	Cálculo de población futura.....	24
2.7.	Dotación de agua potable	26
2.8.	Factor de retorno.....	26
2.9.	Factor de Harmond	27
2.10.	Cálculo de caudales.....	27
2.10.1.	Caudal domiciliar.....	28
2.10.2.	Caudal comercial.....	29
2.10.3.	Caudal industrial.....	29
2.10.4.	Caudal de infiltración.....	30

2.10.5.	Caudal por conexiones ilícitas	30
2.10.6.	Caudal medio.....	31
2.10.7.	Factor de caudal medio	32
2.10.8.	Caudal de diseño	33
2.11.	Velocidad de diseño	34
2.11.1.	Velocidad de arrastre.....	34
2.12.	Relaciones hidráulicas q/Q , d/D , v/V	34
2.13.	Cota Invert.....	39
2.13.1.	Normas y recomendaciones	40
2.14.	Pozos de visita	41
2.14.1.	Especificaciones de colocación	43
2.14.2.	Especificaciones físicas.....	43
2.14.3.	Profundidad mínima de pozos de visita	45
2.15.	Conexiones domiciliarias.....	45
2.16.	Diámetro de colector	48
2.17.	Volumen de excavación.....	48
2.18.	Cálculo de un tramo del sistema de alcantarillado sanitario	49
2.19.	Desfogue	56
2.19.1.	Diseño de fosas sépticas.....	56
2.19.2.	Diseño de pozos de absorción.....	59
2.20.	Estudio de Impacto Ambiental	62
2.20.1.	Evaluación de Impacto Ambiental.....	62
2.21.	Elaboración de planos finales.....	65
2.22.	Presupuesto	66
2.23.	Obras de protección	67
2.24.	Evaluación socioeconómica	68
2.25.	Valor Presente Neto (VPN).....	68
2.26.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	70

3.	PAVIMENTACIÓN RESIDENCIAL EL SOCORRO.....	73
3.1.	Descripción del proyecto	73
3.2.	Ubicación geográfica del proyecto	73
3.3.	Vía de acceso al proyecto	75
3.4.	Estudio topográfico.....	75
3.4.1.	Planimetría y altimetría.....	76
3.5.	Definición de pavimentos	76
3.6.	Tipos de pavimentos	77
3.6.1.	Pavimentos rígidos.....	77
3.6.2.	Pavimentos flexibles.....	78
3.7.	Elementos estructurales de un pavimento flexible	78
3.7.1.	Terreno de fundación	79
3.7.2.	Subrasante	79
3.7.2.1.	Requisitos para los materiales de la subrasante.....	80
3.7.3.	Subbase	81
3.7.3.1.	Requisitos para los materiales de la subbase.....	82
3.7.4.	Base	82
3.7.4.1.	Requisitos para los materiales de la base de grava o piedra triturada....	83
3.7.4.2.	Plasticidad y cohesión.....	84
3.7.4.3.	Requisitos para los materiales de base granular	85
3.7.4.4.	Requisitos para los materiales de base estabilizadora con cemento Portland.....	86
3.7.4.5.	Requisitos para los materiales de base negra	87

3.7.5.	Carpeta de rodadura.....	90
3.7.6.	Ensayos para la clasificación de suelo	90
3.7.6.1.	Ensayo granulométrico.....	90
3.7.6.2.	Límites de consistencia de Atterberg.....	92
3.7.6.3.	Análisis de resultados.....	92
3.7.7.	Ensayos para el desarrollo de la construcción de la estructura	93
3.7.7.1.	Contenido de humedad óptima.....	93
3.7.7.2.	Densidad seca máxima	94
3.7.7.3.	Análisis de resultados.....	95
3.7.8.	Análisis para determinar la resistencia del suelo	95
3.7.8.1.	Valor soporte del suelo C.B.R.	95
3.8.	Diseño del pavimento flexible	97
3.8.1.	Análisis del tránsito del residencial El Socorro	97
3.8.2.	Tipo de pavimento a utilizar	98
3.8.3.	Diseño geométrico del pavimento.....	98
3.8.4.	Diseño de localización	98
3.8.5.	Sección transversal	99
3.8.6.	Diseño horizontal	100
3.8.7.	Curva horizontal.....	100
3.9.	Proyección vertical longitudinal	110
3.9.1.	Tangentes verticales.....	111
3.9.1.1.	Clasificación de las pendientes	111
3.10.	Curva vertical.....	112
3.10.1.	Cálculo para las curvas verticales	116
3.10.2.	Criterio para el diseño de curvas verticales	118
3.10.2.1.	Criterio de comodidad.....	118
3.10.2.2.	Criterio de apariencia.....	118

	3.10.2.3.	Criterio de drenaje.....	119
	3.10.2.4.	Criterio de seguridad.....	119
3.11.		Secciones transversales	121
	3.11.1.	Elementos de una sección transversal.....	122
3.12.		Cálculos para los movimientos de tierra.....	126
3.13.		Consideraciones de diseño del pavimento flexible según la ASSHTO 93	129
3.14.		Factores a considerar en el cálculo y diseño	130
3.15.		Período de diseño	130
	3.15.1.	Tránsito	131
	3.15.2.	Vehículos de diseño	132
	3.15.3.	Volumen de tránsito	132
	3.15.4.	Tránsito promedio diario anual, TPDA	133
3.16.		Ejes equivalentes	133
3.17.		Serviciabilidad	135
3.18.		Confiability	135
3.19.		Diseño de la estructura del pavimento flexible	137
3.20.		Espesores de diseño.....	145
	3.20.1.	Subrasante.....	158
		3.20.1.1. Materiales adecuados para la subrasante	159
		3.20.1.2. Colocación	161
	3.20.2.	Subbase	161
		3.20.2.1. Materiales adecuados para la subbase.....	162
		3.20.2.2. Colocación	163
	3.20.3.	Base	164
		3.20.3.1. Materiales adecuados para la base	164

	3.20.3.2.	Colocación.....	165
3.20.4.		Carpeta de rodadura.....	166
	3.20.4.1.	Características de la capa de rodadura	168
	3.20.4.2.	Material adecuado para la capa de rodadura	169
	3.20.4.3.	Colocación de la carpeta de concreto asfáltico.....	170
3.20.5.		Sistema de drenaje.....	172
	3.20.5.1.	Drenaje superficial.....	172
	3.20.5.2.	Criterios de diseño.....	173
3.20.6.		Drenaje longitudinal	174
	3.20.6.1.	Elementos de canalización	175
		3.20.6.1.1. Cunetas.....	175
	3.20.6.2.	Determinación del caudal de referencia.....	176
	3.20.7.	Drenaje transversal.....	183
3.21.		Evaluación de Impacto Ambiental	186
3.22.		Presupuesto	189
3.23.		Evaluación socioeconómica	191
3.24.		Valor Presente Neto (VPN).....	191
CONCLUSIONES			193
RECOMENDACIONES.....			195
BIBLIOGRAFÍA.....			197
APÉNDICES			199

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de ubicación del municipio de Santa Catarina Pinula.....	2
2.	Mapa de colindancias del municipio de Santa Catarina Pinula	3
3.	Mapa de distribución geográfica del municipio de Santa Catarina Pinula.....	5
4.	Mapa de ubicación de cobertura boscosa del municipio de Santa Catarina Pinula.....	15
5.	Mapa de ubicación de accidentes hidrográficos del municipio de Santa Catarina Pinula	16
6.	Ubicación de la aldea El Pajón, municipio de Santa Catarina Pinula	20
7.	Rutas de acceso hacia la aldea El Pajón, municipio de Santa Catarina Pinula.....	22
8.	Caso especial de Cota Invert	40
9.	Diagrama de pozo de visita	42
10.	Conexiones domiciliarias	47
11.	Mapa de ubicación residencial El Socorro, municipio de Santa Catarina Pinula.....	74
12.	Ruta de acceso hacia residencial El Socorro	75
13.	Gráfica de datos obtenidos por ensayo granulométrico	91
14.	Gráfica de compactación Proctor modificado	94
15.	Gráfica CBR	96
16.	Sección transversal.....	100
17.	Elementos de la curva horizontal	101

18.	Cambio proporcional del peralte	109
19.	Curva convexa o cresta	113
20.	Curva cóncava o columpio.....	113
21.	Elementos de la curva vertical	114
22.	Sección transversal en tangente.....	122
23.	Secciones transversales típicas.....	127
24.	Tipo de vehículo.....	141
25.	Diseño de número estructural.....	148
26.	Coeficiente estructural a partir del módulo elástico del concreto asfáltico.....	151
27.	Variación en el coeficiente estructural de la capa base.	152
28.	Variación en el coeficiente estructural de la capa subbase	153
29.	Detalle de garabito.....	158
30.	Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles.....	168
31.	Dimensiones de cuneta	182

TABLAS

I.	Verificación de especificaciones hidráulicas	36
II.	Relaciones hidráulicas para sección circular.....	37
III.	Profundidad mínima para la tubería según tráfico vehicular.....	41
IV.	Ancho de zanja (m) de acuerdo al diámetro de tubería (pulg) y profundidad a la que será instalada (m).	49
V.	Datos para cálculo de tramo de alcantarillado sanitario	50
VI.	Resumen de resultados obtenidos en el cálculo de tramo de alcantarillado sanitario.....	55
VII.	Datos para cálculo de fosa séptica.....	57
VIII.	Resumen de resultados de dimensiones de las fosas sépticas	59

IX.	Datos para cálculo pozo de absorción	60
X.	Resumen de resultados de dimensiones pozos de absorción ...	61
XI.	Matriz de Leopold	63
XII.	Presupuesto del alcantarillado sanitario en quetzales	66
XIII.	Costos generales del sistema de alcantarillado sanitario	69
XIV.	Tabulación de datos obtenidos por ensayo de análisis de distribución granulométrica	91
XV.	Tabulación de datos obtenidos por ensayo de límites de consistencia	92
XVI.	Datos tabulados del ensayo CBR	96
XVII.	Resistencia del suelo	97
XVIII.	Tabulación datos curvas horizontales	105
XIX.	Especificaciones para curvas circulares	107
XX.	Cálculo de elementos de curva horizontal	110
XXI.	Valores de coeficiente de fricción y tiempo de percepción en función de la velocidad	116
XXII.	Valores de la constante K	117
XXIII.	Tabulación de curvas verticales	121
XXIV.	Valores de bombeo según la superficie	123
XXV.	Inclinación de taludes	128
XXVI.	Períodos de diseño en función del tipo de carretera	131
XXVII.	Valores de r de confiabilidad con diferentes clasificaciones funcionales	136
XXVIII.	Clasificación de carreteras	137
XXIX.	Valores límites recomendados para las características de la carretera en estado final	138
XXX.	Factores de crecimiento de tránsito	139
XXXI.	Distribución de tránsito para el diseño de la carretera	140
XXXII.	Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips, en carga simple	142

XXXIII.	Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 2,0$	144
XXXIV.	Valor del módulo de resiliencia de los materiales.....	147
XXXV.	Tabla de valor del número estructural	150
XXXVI.	Resumen de datos	153
XXXVII.	Valores de los espesores calculados.	155
XXXVIII.	Espesores mínimos sugeridos	155
XXXIX.	Espesores mínimos de capas asfálticas sobre bases	156
XL.	Espesores del proyecto	156
XLI.	Grados de asfalto de acuerdo con el tipo de clima.....	157
XLII.	Características del material de la subrasante.....	160
XLIII.	Características del material de la subbase.....	163
XLIV.	Características de los materiales de la base	165
XLV.	Especificaciones del cemento asfáltico	170
XLVI.	Valores indicativos del coeficiente de escorrentía.....	178
XLVII.	Parámetros a, b y n de las ecuaciones de la forma de la es. 1 obtenidos en los análisis. T_r = período de retorno (años). R^2 =coeficiente de determinación	180
XLVIII.	Coeficiente de rugosidad k.....	181
XLIX.	Matriz de Leopold, pavimentación residencial El Socorro	187
L.	Presupuesto de pavimento flexible en quetzales	190

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
Q	Caudal a sección llena de la tubería
q	Caudal de diseño
CA-1	Carretera Interamericana
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
m/s	Metros por segundo

m²	Metro cuadrado
m³/s	Metros cúbicos 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
TPDA	Tránsito promedio diario anual
r	Tasa de crecimiento
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.
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.
Cemento Portland	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.
Cota Invert	Cota o altura de la parte inferior interior del tubo ya instalado.
INFOM	Instituto de Fomento Municipal.
Medidas de mitigación	Conjunto de acciones y obras a implementar antes del impacto de las amenazas, para disminuir la vulnerabilidad de los componentes y sistemas.
Pavimento	Estructura que se coloca sobre el suelo de fundición de vía terrestre destinada a soportar cargas de tránsito.

Planimetría	Proyección de terreno sobre un plano horizontal imaginario, que es la superficie media de la tierra y que toma un punto de referencia para la orientación que puede ser el norte magnético o astronómico y partiendo de él, conocer la orientación de los puntos que han de definir el terreno en estudio.
Pozo de visita	Estructura subterránea que sirve para cambiar de dirección, pendiente, diámetro, unión de tuberías, y para iniciar un tramo de drenaje.
SEICA	Secretaría de integración económica centroamericana.
Subbase	Capa de la estructura del pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas cíclicas recibidas por el tránsito al suelo subrasante y este a la vez, transmitir las al cuerpo del terraplén.
Suelo	Capa delgada de la corteza terrestre que proviene de la desintegración y alteración física o química de las rocas.
TIR	Tasa Interna de Retorno
Tirante	Es la medida que define la altura de un líquido en una tubería, depósito o planta de tratamiento.

RESUMEN

El municipio de Santa Catarina Pinula, se encuentra situado al extremo suroeste del departamento de Guatemala, a 9 km de la ciudad capital. La extensión territorial es de 50 km² y 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, el clima es templado y la temperatura anual es de 20° centígrados.

De acuerdo a la investigación realizada se determinó que la aldea El Pajón de dicho municipio, no cuenta actualmente con un sistema de alcantarillado sanitario municipal, por lo que los vecinos de la comunidad se ven en la necesidad de perforar pozos de absorción, desfogar las aguas servidas a flor de tierra, zanjones u otros cuerpos receptores sin previo tratamiento, lo que ha causado daño a la salud de los pobladores e inconvenientes con el ornato del lugar; es por ello que se propone la construcción de un sistema de alcantarillado sanitario con una longitud aproximada de 2 277,20 metros, el sistema contará con colectores de 6" y 8", 48 pozos de visita y 3 sistemas de tratamiento independientes que consta de fosas sépticas y pozos de absorción, al sistema de alcantarillado sanitario propuesto se podrán conectar 690 viviendas.

Asimismo, las calles del residencial El Socorro, no cuentan con pavimentación, lo cual dificulta el fluido vehicular y peatonal de los vecinos, causando molestias y gastos innecesario por reparación de los vehículos es por ello que se presenta la propuesta del diseño de pavimentación con flexible espesor 0,10 m, con una longitud total de 2 327 m y un ancho promedio de 5,5 m.

OBJETIVOS

General

Contribuir al desarrollo del municipio de Santa Catarina Pinula por medio de la propuesta de proyectos de infraestructura, como lo es la introducción de alcantarillado sanitario para la calle principal de la aldea El Pajón y pavimentación del residencial El Socorro, los cuales han tenido un aumento considerable en la demanda por parte de los vecinos de dichos sectores hacia la municipalidad.

Específicos

1. Realizar análisis de la problemática en cada sector, para brindar una solución viable y económicamente factible en la ejecución, operación y mantenimiento.
2. Elaborar plano constructivo y presupuesto para ambos proyectos.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad la planificación y diseño del proyecto de alcantarillado sanitario para la calle principal de la aldea El Pajón debido que actualmente no existe un correcto manejo de las aguas residuales, las cuales han generado contaminación y deterioro al ornato y medio ambiente del sector, asimismo, se presenta el diseño de la pavimentación para el residencial El Socorro, ubicado en la aldea Puerta Parada, ambos sectores se encuentran dentro de la jurisdicción del municipio de Santa Catarina Pinula.

El documento se divide en tres componentes, el primero corresponde a la descripción del municipio de Santa Catarina Pinula, esto con el fin de conocer datos importantes de la forma y calidad de vida de los vecinos, así como antecedentes propios del municipio; en el segundo y tercer componente se desarrolla el diseño de los proyectos propuestos, donde se brinda toda la información técnica, normas y/o recomendaciones que fueron requeridos para el respectivos diseños, presupuestos, análisis financiero, evaluación de impacto ambiental, análisis de laboratorio y planos constructivos.

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.

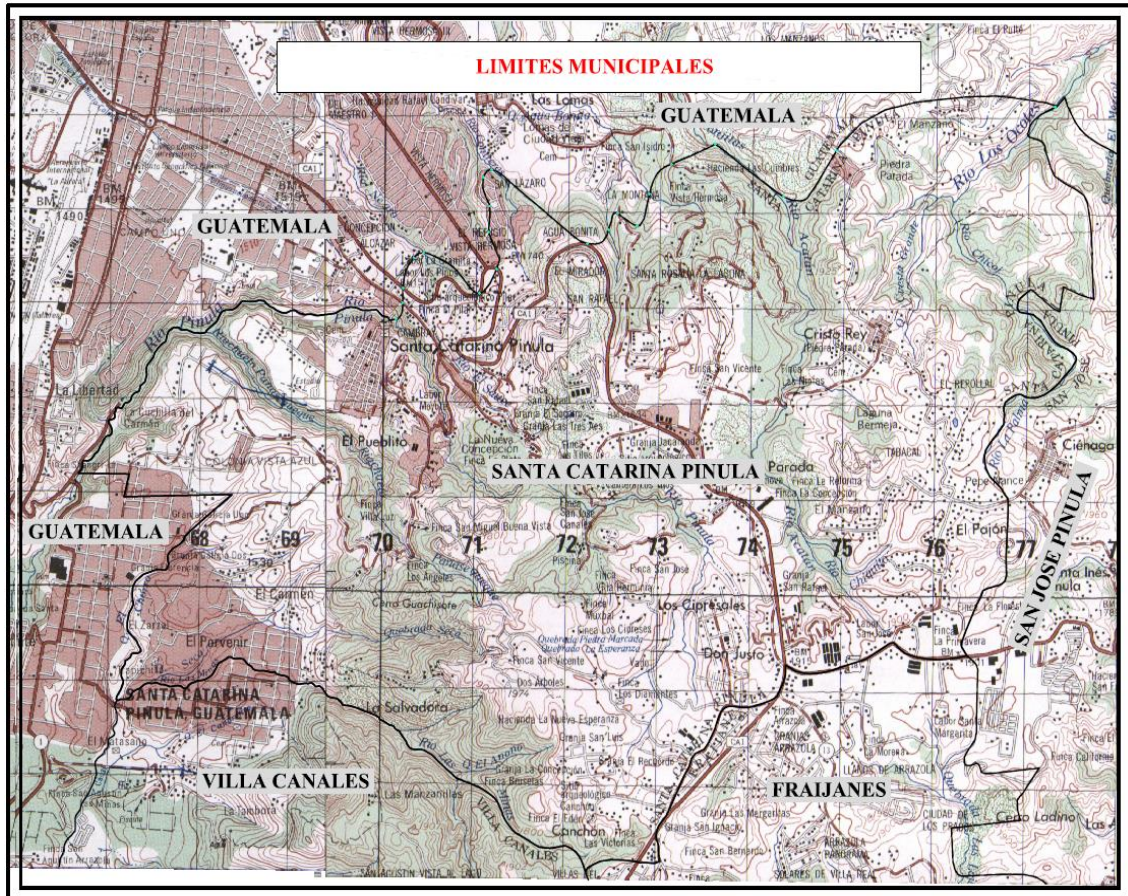
1.1.1. Situación geográfica

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 los municipios de Fraijanes y Villa Canales (Guatemala)
- Al este: con los municipios de San José Pinula y Fraijanes (Guatemala)
- Al oeste: con los municipios de Villa Canales y Guatemala (Guatemala)

Figura 2. **Mapa de colindancias del municipio de Santa Catarina Pinula**



Fuente: OBIOLS GÓMEZ, Alfredo. Instituto Geográfico Nacional (I.G.N), hojas topográficas escala 1:50000, hoja ciudad de Guatemala, hoja San José Pinula.

1.1.2. **Clima**

Según datos registrados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEN), en la estación ubicada en la 7a. avenida 14-57, zona 13, 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

19,9 grados centígrados, la precipitación de 1 060,6 mm, y una humedad relativa de 77 %.

1.1.3. Accidentes orográficos

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

1.1.4. 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
- Salvadora II
- El Pueblito
- San José El Manzano
- Nueva Concepción
- Piedra Parada Cristo Rey
- Piedra Parada El Rosario
- Laguna Bermeja
- El Pajón
- 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 de distribución geográfica del municipio de Santa Catarina Pinula**



Fuente: Departamento de Geomática, Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

1.2. Marco cultural

En los subtítulos siguientes se definen cuestiones culturales propias del municipio.

1.2.1. Etimología

La historia del municipio se remonta a la época prehispánica, cuando los indígenas de ese entonces, fundaron el pueblo de Pankaj o Pinola. El significado etimológico de la palabra Pinula es el siguiente: *pinul*, significa harina y *ha* o A agua; o sea que etimológicamente la palabra Pinula, en lengua pipil significa “harina de agua”, esto puede relacionarse con el pinole, una bebida muy conocida entre los pueblos mexicanos.

El nombre oficial del municipio, corresponde a Santa Catarina Pinula y se cree que fue el padre Juan Godínez, quién influyó en ponerle el nombre de Santa Catarina al pueblo de Pankaj o Pinola, en honor a Catarina Mártir de Alejandría.

1.2.2. Idioma

El idioma que se habla actualmente en Santa Catarina Pinula es el español en un 100 % de la población.

1.2.3. Fiesta titular

La feria titular se realiza en honor a la patrona Santa Catarina de Alejandría, y se celebra el 25 de noviembre, como prelude ocho días antes de la mencionada fecha se realiza un desfile bufo, donde se critican y se mofan a los personajes principales del municipio, dando inicio a diversas actividades, entre las cuales se pueden mencionar: elección y coronación de reinas juveniles e infantiles, bailes populares y sociales, serenatas a la santa patrona Santa Catalina de Alejandría, palenques, jaripeos, juegos mecánicos, se realizan trece albas simbolizando los trece días de martirio que sufrió la virgen, luego se

brinda comida y bebidas a las personas que participan entre repiques de campanas, rezos, bombas voladas y música.

1.2.4. Actividad sociocultural y deportiva

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, por ejemplo: la asistencia a templos e iglesias los días domingos, al finalizar se hacen presentes a las áreas deportivas para participar o presenciar los diferentes encuentros; los deportes que sobresalen en el gusto de los vecinos es el fútbol y el basquetbol.

Sin embargo, en Santa Catarina Pinula también se conocen los laureles del triunfo deportivo, la figura más sobresaliente actualmente es del joven ciclista, José Alberto Sochón, quien fue medallista de plata en los Juegos Panamericanos de Mar de Plata, Argentina.

Por medio de la Oficina Municipal de la Mujer de la Municipalidad, se imparten cursos de capacitación, tanto en la cabecera municipal como en todas las aldeas, entre los cuales se pueden mencionar: repostería, corte y confección, pintura en tela, velas aromáticas y manualidades, entre otros; asimismo cuenta con un conservatorio de música.

1.3. Marco económico

La información económica de la región se describe a continuación.

1.3.1. Población

De conformidad al último censo nacional XI de población y VI de habitación, realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en el 2002, el municipio de Santa Catarina Pinula, contaba con una población de 63 767 habitantes, de los cuales el 61 568 eran de descendencia ladina, 1 779 de descendencia maya, 16 de la etnia xinca, 12 de la etnia garífunas y 392 pertenecientes a otras etnias; el 52 % de la población era de género femenino y el 48 % restante al género masculino.

La cabecera municipal de Santa Catarina Pinula es considerada como área urbana, en donde para el 2002, se encontraba habitada por el 20 % de la población y el área rural, es decir en las aldeas por el 80 %.

La esperanza de vida para los hombres es de 61,4 años y para las mujeres de 67,2 años.

1.3.2. Educación

Existente 19 escuelas distribuidas dentro del municipio de Santa Catarina Pinula, las cuales han sido remodeladas por la actual administración municipal, 12 de ellas se encuentran dentro del programa impulsado por el Ministerio de Educación (MINEDUC) denominado Escuelas Demostrativas del Futuro, este programa consiste en que cada escuela cuente con el respectivo laboratorio de computación y clases de inglés, dentro de la jurisdicción del municipio existen colegios privados como por ejemplo: Colegio Montesorri, LaPlace, Maya, Metropolitano, entre otros.

Asimismo, existen 8 institutos por cooperativa, 10 institutos nacionales que atienden al nivel básico y diversificado, dos anexos universitarios privados.

De conformidad con el Comité Nacional para la Alfabetización (CONALFA) en Guatemala, 6 de 10 mujeres no saben leer ni escribir, Santa Catarina Pinula hasta el 2002 no era la excepción, ya que contaba con el 10,40 % de población analfabeta; sin embargo el 27 de noviembre del 2010, el gobierno central y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), declaró mediante acto público a Santa Catarina Pinula como municipio libre de analfabetismo, contando con el 3,67 % de población analfabeta.

1.3.3. Medios de transporte

Se cuenta con el servicio de transporte público urbano denominado Transurbano, que brinda traslado de la ciudad capital hacia la cabecera municipal de Santa Catarina Pinula y viceversa, para las demás aldeas se cuenta con transporte extraurbano.

1.3.4. Vías de comunicación

La vía principal de acceso es la autopista que conduce de la ciudad capital hacia El Salvador, por medio de la carretera Interamericana CA-1, la cual se encuentra totalmente asfaltada y en buen estado, adicionalmente el municipio cuenta con caminos, roderas y veredas que enlazan a los poblados entre sí, como los municipios colindantes.

El 100 % de las carreteras principales y 75 % de secundarias se encuentran asfaltadas y en buen estado.

1.3.5. Infraestructura

Durante los últimos 10 años el municipio ha incrementado significativamente la plusvalía, esto debido a la ubicación, el clima, la topografía y la creciente inversión en infraestructura, lo que ha permitido tener el crecimiento inmobiliario más alto de Centro América, el cual es del 16 %.

La actual administración ha realizado proyectos de infraestructura tanto en la cabecera municipal como en todas las aldeas, en las cuales se puede mencionar: remodelación y/o construcción de escuelas, polideportivos, salones comunales, hospital, centros de salud, mercado municipal, estaciones de bus, pavimentación de carreteras, ampliación y mejoramiento de la red de agua potable, entre otros.

1.4. Actividades económicas

Este marco se divide en 3 grandes grupos y estos en sub-grupos

- Sector primario
 - Producción agrícola
 - Producción pecuaria

Santa Catarina Pinula en el sector primario 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, el cual se viene convirtiendo en área residencial aledaña a la metrópoli.

En cuanto a la ganadería, se encuentran pequeñas crianzas de bovinos y equinos, en tanto que los porcinos, siempre muy productiva pues abastece algunos mercados de la capital, cuyos productos (carne, chicharrones y embutidos) que gozan merecida fama.

La avicultura, ha experimentado últimamente sensible desarrollo y se conserva aún en este tiempo la crianza de aves para consumo familiar.

- Sector secundario
 - Industria
 - Artesanías
 - Comercio

La industria puede decirse que es uno de los principales factores económicos del municipio, pues funcionan importantes empresas industriales de diversos géneros (tejidos, productos alimenticios, textiles, vidrio, etc.), que constituye una fuente de trabajo para un grueso sector de la población y genera otros beneficios económicos a favor del municipio.

El comercio se ha ido incrementando a través de tiendas, librerías, centros comerciales, supermercados, restaurantes, cafeterías, en la cabecera municipal como en la aldea Puerta Parada cuentan agencias de bancos.

- Sector terciario
 - Comunicaciones
 - Salud

Se encuentran agencias y subagencias de telefonía, empresas de cable, internet, entre otros, los cuales proporcionan empleo a vecinos del municipio.

En salud se han incrementado la venta de medicinas por medio de farmacias, centros de atención privada, asimismo. existen gimnasios y aéreas recreativas.

1.5. Tasa de crecimiento

En el municipio de Santa Catarina Pinula según el Instituto Nacional de Estadística (INE) corresponde al 2,1 % (0,021).

1.6. Salud

En la cabecera municipal se encuentra ubicado un centro de salud, por parte del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS); sin embargo el gobierno local brinda atención médica gratuita mediante los denominados Puestos de salud fortalecidos, ubicados en la aldea El Carmen y El Pajón, con médicos de planta y enfermeras.

La Municipalidad brinda el servicio de atención y traslado gratuito las 24 horas del día, durante los 365 días del año de pacientes que presentan algún tipo de emergencia médica por medio de 5 ambulancias municipales totalmente equipadas, las cuales cuentan con piloto y paramédico, asimismo se encuentra ubicada en el km 16, de la aldea Don Justo, la estación número 69 de los Bomberos Voluntarios.

Según la dirección de desarrollo social de la Municipalidad, actualmente existen 4 farmacias municipales, 2 de ellas se ubican en los anexos municipales de las aldeas El Carmen y Piedra Parada Cristo Rey y dos en los puestos de salud fortalecidos, ubicadas en la aldea El Carmen y El Pajón, estas farmacias venden medicina a bajo costo la cual es proporcionada por medio de

convenio con el Programa de Accesibilidad de Medicamentos (PROAM), perteneciente al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS).

A partir del 2009 se inició la construcción de un hospital materno infantil, por medio del cual se dará atención gratuita a las futuras madres en las etapas de pre y posnatal, la obra física ya fue finalizada, sin embargo se encuentra pendiente del equipamiento, por lo que para el funcionamiento se espera establecer un convenio con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS).

Derivado de esas acciones y de acuerdo a las estadísticas del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), la morbilidad en el municipio se ha reducido considerablemente; un ejemplo de ello es que de 3 892 personas reportadas en el 2004 con enfermedades de tipo respiratorio, para el 2013 únicamente se atendieron 335 casos.

1.7. Medio ambiente y recursos naturales

El detalle de los recursos de la región se define en los siguientes subtítulos:

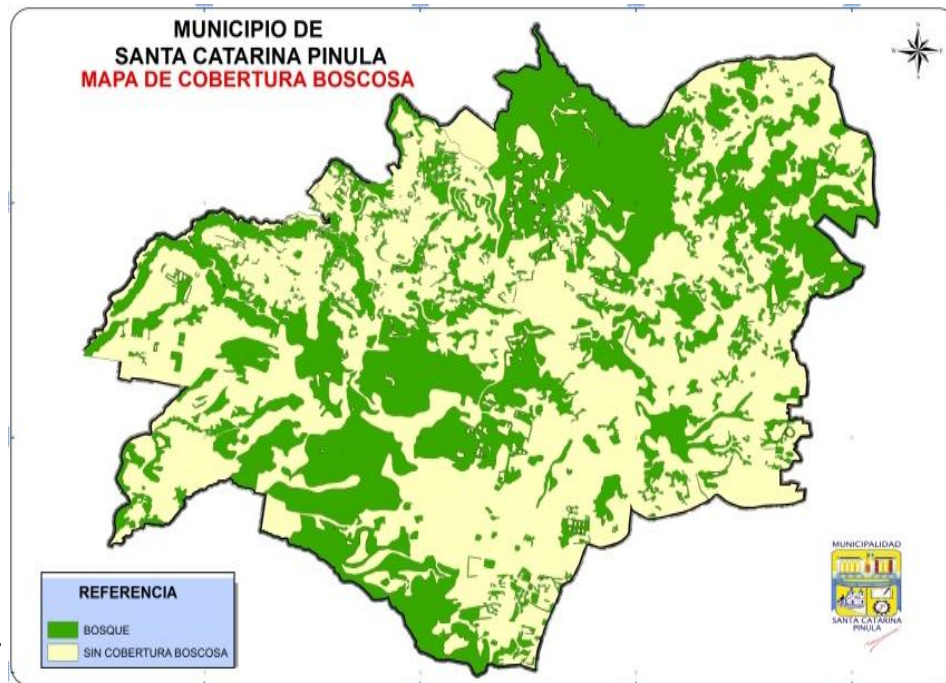
1.7.1. Cobertura boscosa

Se cuenta con una cobertura vegetal en un 40 %, en las áreas rurales, sin embargo es difícil controlar las talas ilícitas que son provocadas por traficantes de madera, incremento inmobiliario y familias de escasos recursos; estos últimos la utilizan para consumo familiar.

Entre la flora de Santa Catarina Pinula se destacan:

- Árboles madereros: ciprés, roble, guachipilín, pino, encino, cedro, amate, guaje, pinabete, palo blanco, ébano, etc.
- Plantas frutales: mora, perote, higos, frambuesa, tuna, mango, nance, injerto, manzana, durazno, jocote, jocote amarillo, jocote de corona, aguacate, limón, naranja, mandarina, lima, mandarina, toronja, banano, anona, níspero, ciruela, pera, granadilla, manzana rosa, papaya.
- Hortalizas: güisquil, izote, bledo, macuy, tomate, rábano, repollo, acelga, miltomate, cebolla, chile pimiento, yuca, ayote, alverja, coliflor remolacha, zanahoria, haba, cilantro.
- Medicinales: menta (té), ruda, eucalipto, manzanilla, cachito, té de limón, salviacija, apazote, hierba buena, pericón, albahaca, sábila, malva, berbena, chilco, alhucema, laurel, tomillo.
- Ornamentales: geranio, rosas, margaritas, azucenas, dalias, gladiolas, azaleas, chinitías, chatías, lirios, jazmines, cartuchos, claveles, crisantemos, flores de candelaria, buganvillas, pascuas, violetas, helechos, velo de novia, cola de pavo real, cola de quetzal.
- Agricultura: maíz, frijol y café

Figura 4. **Mapa de ubicación de cobertura boscosa del municipio de Santa Catarina Pinula**



Fuente: Departamento de Geomática, Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

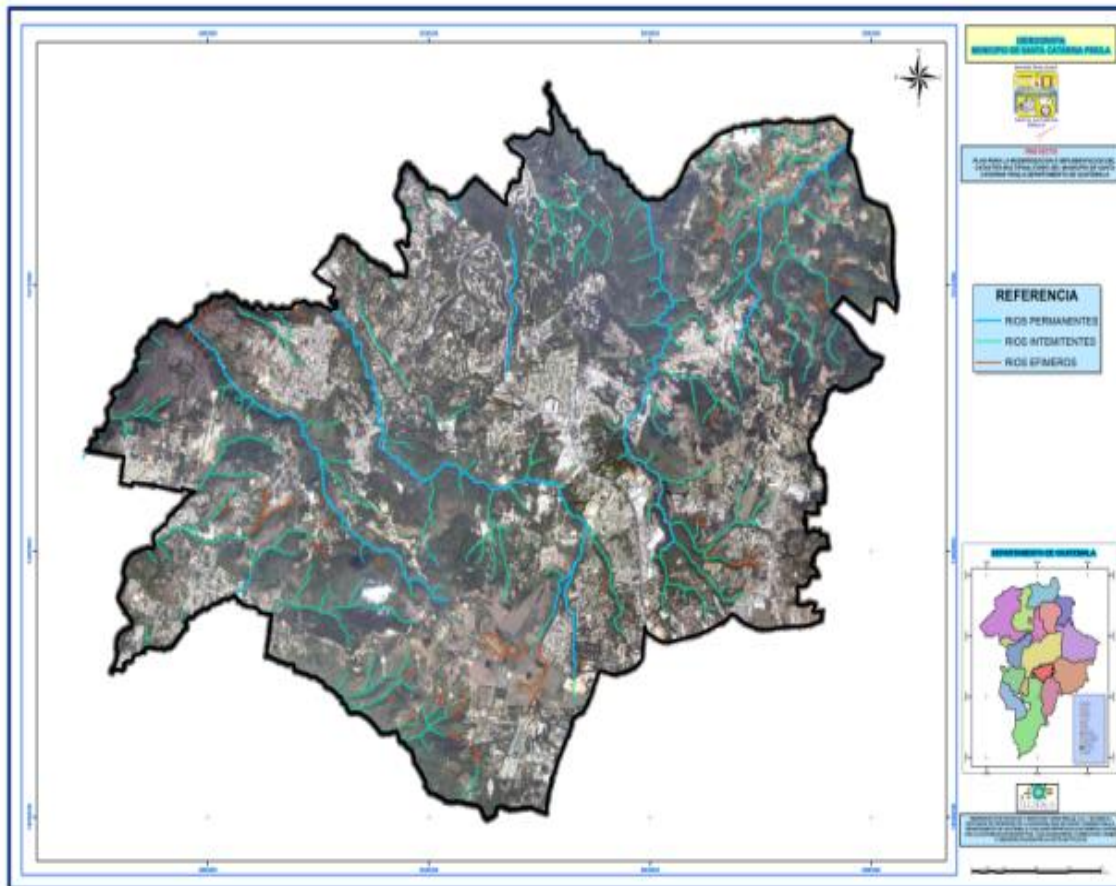
1.7.2. Recursos hídricos

El municipio de Santa Catarina Pinula cuenta con los siguientes hechos hidrográficos:

- Ríos: Acatán, Chicoj, Chiquito, Los Ocotes, El Sauce, La Palma, Las Minas, y Pinula
- Riachuelos: Panasequeque

- Quebrada: Agua Bonita, Agua Fría, Cuesta Ancha, Cuesta Grande, Del Manzano, El Anomo, El Cangrejito, El Chorro, El Guayabo, El Mezcal, El Riíto, La Esperanza, Piedra Marcada y Seca.
- Laguna: laguna Bermeja.

Figura 5. **Mapa de ubicación de accidentes hidrográficos del municipio de Santa Catarina Pinula**



Fuente: Departamento de Geomática, Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

1.8. Saneamiento ambiental

Lo relacionado a cuestiones ambientales son las siguientes:

1.8.1. Aguas residuales

El municipio cuenta con 13 plantas de tratamiento municipales de aguas residuales, ya que se han realizado proyectos de instrucción de red de alcantarillado sanitario en algunos sectores, brindando cobertura del servicio en un área aproximada del 20 % del municipio, con dichos proyectos se ha minimizando los desfuegos de aguas servidas hacia la vía pública y por ende la contaminación y degradación del ornato del municipio.

1.8.2. Desechos sólidos

Existe un tren de aseo municipal que cubre la cabecera y sectores de algunas aldeas como por ejemplo: El Carmen, El Pueblito, Nueva Concepción y Piedra Parada Cristo Rey, así como recolectores privados que cubren el resto de aldeas.

Con esta actividad se puede decir que el problema de basureros a cielo abierto es mínimo, ya que constantemente el Departamento de Limpieza de la Municipalidad, realiza recorridos constantes para identificar dichos lugares y eliminarlos.

1.9. Sistema de agua potable

La Municipalidad proporciona el servicio de agua potable a la cabecera municipal y a 12 municipios, las principales fuentes de abastecimiento son por

medio de 22 pozos mecánicos municipales, con una profundidad promedio de 1 000 pies; se cuenta con 18 tanques de almacenamiento de agua potable. La actual administración municipal se encuentra ejecutando proyectos para mejorar el servicio de agua potable, como lo es la perforación de 2 nuevos pozos mecánicos, introducción y/o ampliación de redes de conducción y distribución.

La Municipalidad cedió en concesión el servicio de agua potable a los comités de vecinos de las aldeas: Don Justo, Manzano La Libertad y El Pajón; asimismo, existen dentro de la jurisdicción, empresas privadas que brindan el servicio a colonias, residenciales, lotificaciones y condominios, cuando estas no poseen un propio sistema de abastecimiento o este es deficiente.

1.10. Sistema de drenaje sanitario

La Municipalidad proporciona el servicio de drenaje municipal a la cabecera municipal y 8 sectores del municipio, contando con 13 plantas de tratamiento. Las colonias, residenciales, lotificaciones, condominios, centros comerciales, entre otros, cuentan con servicio propio de drenaje sanitario, debiendo tratar las aguas previo al desfogue, esto para evitar contaminación hacia el cuerpo receptor.

1.11. Sistema de drenaje pluvial

La Municipalidad no cuenta con servicio de drenaje pluvial, únicamente se han desarrollado proyectos para la canalización y conducción en áreas viales, como por ejemplo, construcción de canaletas, tragantes, transversales y colectores. Los vecinos desfogan las aguas pluviales directamente hacia la vía pública.

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL ALDEA EL PAJÓN

2.1. Descripción del proyecto

El proyecto comprende el diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la calle principal de la aldea El Pajón, municipio de Santa Catarina Pinula.

La red del alcantarillado sanitario contará con una longitud aproximada de 2 277,20 metros, colectores de diámetros de 6" y 8", 48 pozos de visita, y 690 conexiones domiciliarias, el sistema de tratamiento propuesto lo conforman 11 fosas sépticas y 30 pozos de absorción.

Para el diseño del sistema de alcantarillado se tomó como referencia las Normas General de Diseño de Alcantarillados del Instituto de Fomento Municipal INFOM.

2.2. Ubicación geográfica del proyecto

La aldea El Pajón se ubica al oeste del municipio de Santa Catarina Pinula, con una extensión territorial aproximada de 10 km² a 1 900 metros sobre el nivel del mar, siendo las coordenadas 14° 33' 10" latitud norte y 96° 26' 18" longitud oeste, el clima es templado, registrándose temperaturas no menores a 22 °C.

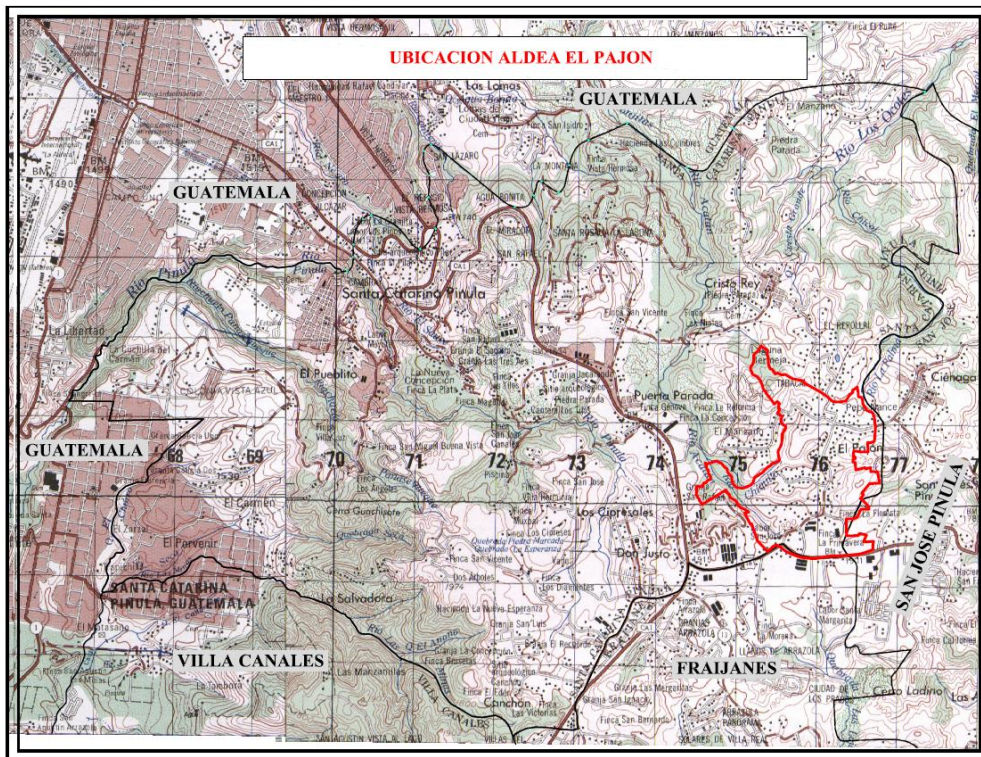
Las colindancias de aldea El Pajón son:

- Al norte: con las aldeas Puerta Parada y Cristo Rey (Sta. Cat. Pinula)

- Al sur: con aldea Ciénega Grande (San José Pinula)
- Al este: con la aldea Laguna Bermeja (Sta. Catarina. Pinula)
- Al oeste: con la aldea Don Justo (Sta. Catarina. Pinula)

La aldea El Pajón se encuentra dividida en 5 sectores: Cuatro Caminos, El Riño, Joya del Mora, Ocales y Tres Reyes, el territorio incluye un caserío el cual se denomina Pepe Nance.

Figura 6. **Ubicación de la aldea El Pajón, municipio de Santa Catarina Pinula**



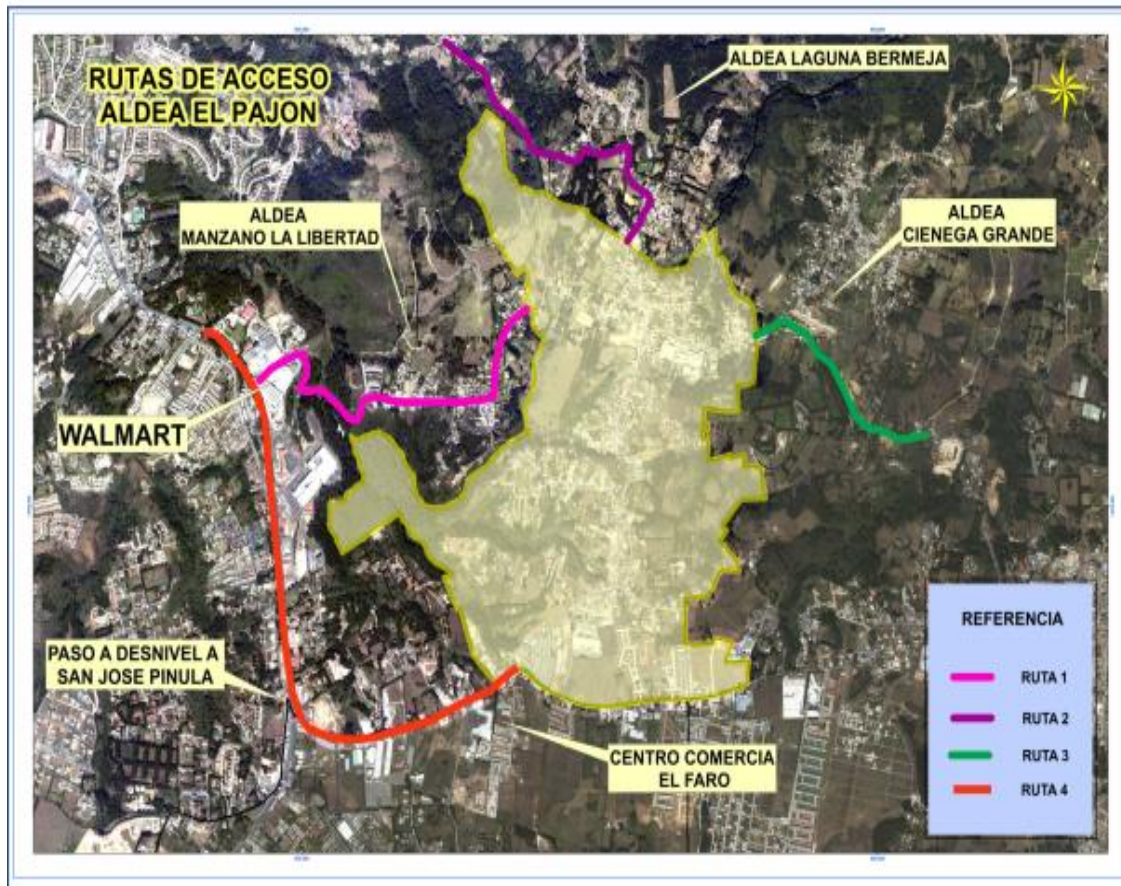
Fuente: OBIOLS GÓMEZ, Alfredo. Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.), hojas topográficas escala 1:50000, hoja ciudad de Guatemala, hoja San José Pinula.

2.3. Vías de acceso al proyecto

Para tener acceso a la aldea El Pajón se pueden utilizar las siguientes rutas:

- Ruta1: se recorren 16,5 km sobre la carretera Interamericana CA-1 hacia el oriente (hacia El Salvador), utilizando el distribuidor vial que conduce hacia el municipio de San José Pinula, se recorren 1,25 km en el cual se deberá cruzar hacia la izquierda para ingresar a la aldea El Pajón.
- Ruta 2. se recorren 15 km sobre la carretera Interamericana CA-1 hacia el oriente (hacia El Salvador), utilizando el distribuidor vial que conduce hacia el comercial Pradera Concepción, se realiza el procedimiento para retornar a la CA-1, previo a incorporarse se encuentra un desvío hacia la derecha el cual conduce hacia la aldea Manzano La Libertad, sobre la calle principal de dicha aldea se recorre 2,90 km para llegar a la aldea El Pajón.
- Ruta 3. se recorren 13,5 km sobre la carretera Interamericana CA-1 hacia el oriente (hacia El Salvador), utilizando el distribuidor vial que conduce hacia la aldea Puerta Parada, incorporándose a la calle principal de la aldea Piedra Parada Cristo Rey, se recorren 1,1 km y se cruza hacia la derecha para dirigirse la calle principal de la aldea Laguna Bermeja, se recorren 1,70 km para llegar a la aldea El Pajón.
- Ruta 4. de la ruta que intercomunica a la aldea Ciénega Grande del municipio de San José Pinula con Santa Catarina Pinula se recorren 0,3 km.

Figura 7. **Rutas de acceso hacia la aldea El Pajón, municipio de Santa Catarina Pinula**



Fuente: Departamento de Geomática, Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

2.4. Estudio topográfico

El estudio de topografía consistió en realizar trabajos de planimetría y altimetría, para recabar información básica para la elaboración del diseño del sistema alcantarillado sanitario.

2.4.1. Planimetría y altimetría

- Planimetría. El levantamiento planimétrico sirve para localizar los límites, centro intersección y/o cruce de las calles, viviendas actuales y localizar todos aquellos puntos de importancia. Entre los diferentes métodos que existen, para realizar el levantamiento planimétrico se utilizó el método más común, que es el de conservación de azimut con vuelta de campana para poligonal abierta.

Se utilizó un teodolito con $0^{\circ} 00' 20''$ de precisión, una plomada y cinta métrica de metal, estacas de madera, martillo; la numeración de las estaciones se colocó en forma ascendente, correlativa y sin repetición de numerales, las radiaciones se indicaron con letras y referidas a la estación correspondiente.

- Altimetría. Se realizó una nivelación de precisión sobre la línea levantada de planimetría. Se tomaron en cuenta las elevaciones siguientes:
 - De las coronas y fondos de zanjones, quebradas y ríos
 - De todos los puntos donde hay cambio de pendiente
 - En cruces de calles
 - El cambio de dirección

Se utilizó un nivelador, estatal de cuatro metros y cinta métrica de metal.

2.5. Período de diseño

El período de diseño de un sistema de alcantarillado, es el tiempo durante el cual el sistema brindará un servicio con una eficiencia aceptable, este

período varía de acuerdo al crecimiento de la población, capacidad de la administración, operación y mantenimiento, empieza a contar a partir de que la obra entra en operación.

El Instituto de Fomento Municipal (INFOM) recomienda que las alcantarillas se diseñen para un período de 15 a 40 años, es por ello que para el presente trabajo se tomará un período de diseño de 20 años.

2.6. Cálculo de población futura

Para el cálculo de la población futura se determinó el número de viviendas que se encuentran ubicadas en ambos costados de la calle principal de la aldea El Pajón, la cual asciende a 216 viviendas; sin embargo para realizar el diseño de la red de alcantarillado, también se tomaron en cuenta las viviendas que debido a la topografía de la aldea, desfogarían en un futuro por medio de ampliación de la red hacia la calle principal, las cuales son 230 viviendas, haciendo un total de 446 viviendas con una densidad de población de 5/habitantes/vivienda.

Se realizó el cálculo para población futura de 216 viviendas actuales (1 080 habitantes), con el fin de determinar el número de conexiones domiciliarias que se realizarían al ejecutar el proyecto y el cálculo de población futura de 446 viviendas (2 230 habitantes), para el diseño de la red de alcantarillado considerando que en un futuro se conecten hacia ella.

Se calculó la población por el método geométrico, utilizando la tasa de crecimiento del municipio de Santa Catarina Pinula, proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), el cual corresponde al 2,1 % (0,021).

El número de población futura, se calculó por el método geométrico y está dado por la siguiente fórmula:

$$Pf = P_o * (1+r)^n$$

Donde

P_f = población futura (hab)

P_o = población actual (hab)

r = tasa de crecimiento (en decimales)

n = período de diseño (años)

Cálculos P_f conexiones domiciliarias:

$$Pf = P_o * (1+r)^n$$

$$Pf = 1080 * (1+0.021)^{21}$$

$$Pf = 1670$$

Por lo tanto, la población futura (P_f) para el 2033 es de 1 670 habitantes, en 334 viviendas aproximadamente.

Cálculos P_f diseño red:

$$Pf = P_o * (1+r)^n$$

$$Pf = 2230 * (1+0.021)^{21}$$

$$Pf = 3450$$

Por lo tanto, la población futura (P_f) para el 2033 es de 3 450 habitantes, en 690 viviendas aproximadamente.

Se incrementa un año al período del diseño en ambos cálculos debido al trabajo administrativo y de la ejecución del proyecto.

2.7. Dotación de agua potable

El 90 % de las viviendas cuentan con servicio de agua potable, el cual es administrado por el comité de vecinos de la aldea, siendo las fuentes de abastecimiento dos pozos mecánicos, el otro 10 % se abastece por medio de pozos artesanales propios.

El INFOM recomienda que la dotación mínima en cabeceras municipales deba ser 150 L/hab/día, por lo cual para la aldea El Pajón, siendo un área rural se utiliza una dotación de agua potable de 120 L/hab/día.

2.8. Factor de retorno

El factor de retorno es el porcentaje de agua, que después de ser utilizada, ingresa al alcantarillado sanitario, este valor puede oscilar entre 70 % a 90 %.

El porcentaje restante no ingresa por razones de actividades de riego, lavado de prendas de vestir, evaporación, entre otros.

Por lo tanto para el diseño del alcantarillado sanitario para la calle principal de la aldea El Pajón, se considera un factor de retorno al sistema de 80 % (0,80).

2.9. Factor de Harmond

Es el factor que representa la probabilidad de que múltiples accesorios sanitarios de las viviendas se estén utilizando simultáneamente en una comunidad, es llamado también de flujo instantáneo, regula un valor máximo de aportaciones por uso doméstico.

Este factor actúa principalmente en las horas pico es decir en las horas que más se utiliza el sistema de servicio de agua y por consiguiente el servicio de alcantarillado sanitario.

Factor de Harmond en un tramo de la red, se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$F.H. = (18 + Pf^{1/2}) / (4 + Pf^{1/2})$$

Donde

F.H. = Factor de Harmond

Pf = No. Hab = población futura (en miles de habitantes)

Cálculos

$$F.H. = (18 + 3.450^{1/2}) / (4 + 3.450^{1/2})$$

$$F.H. = 3,39$$

2.10. Cálculo de caudales

Los cálculos de los caudales se detallan a continuación:

2.10.1. Caudal domiciliar

Es el caudal de agua, que luego de ser utilizada en actividades domésticas, como preparación de alimentos, lavado de ropa y/o artículos, aseo personal, uso de sanitarios, etc., es desechado y conducido hacia la red de alcantarillado sanitario es decir que el agua por actividades domésticas, está relacionada con la dotación del suministro de agua potable, menos un porcentaje que no será vertida al drenaje sanitario correspondiente al lavado de vehículos, riego de jardines, evaporación, etc.

El caudal domiciliar se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{dom} = \frac{Dot * No. Hab * Fr}{86\ 400}$$

Donde

Q_{dom} = caudal domiciliar (L/s)

Dot = dotación de agua potable (L/hab/día)

$No.Hab$ = número de habitantes (hab)

Fr = factor de retorno (en decimales)

Cálculos

$$Q_{dom} = \frac{120 \text{ lts/hab/día} * 3\ 450 \text{ hab} * 0,80}{86\ 400}$$

$$Q_{dom} = 3,83 \text{ lts/s}$$

2.10.2. Caudal comercial

El caudal de agua proveniente de comercios para el presente diseño no se ha considerado este caudal, debido a que sobre la calle principal de la aldea El Pajón los comercios que existen son únicamente abarroterías, ventas de ropa, librerías, café internet, pinchazos, ferreterías, que se encuentran ubicadas dentro de las mismas viviendas.

El caudal comercial puede ser calculado mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{com} = \frac{No.Com * Dot}{86\ 400}$$

Donde

Q_{com} = caudal comercial (L/s)

No.Com = número de comercios

Dot = dotación de agua potable (L/hab/día)

2.10.3. Caudal industrial

El caudal de agua proveniente de la operación de industrias en el sector y las cuales son desfogadas hacia la red, para el presente diseño no se ha considerado este caudal, según la Dirección de Servicios Públicos de la Municipalidad en la aldea El Pajón, existe únicamente una fábrica textil denominada "Texto S.A.", a la cual se le brindó autorización municipal para la operación, solicitándole poseer el sistema de alcantarillado sanitario propio con el respectivo tratamiento, es por ello que por política municipal, de brindarse

autorización de operación de una nueva fábrica o industria, deberá de registrarse de igual forma.

El caudal industrial puede ser calculado mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{ind} = \frac{No.Ind * Dot}{86\ 400}$$

Donde

Q_{ind} = caudal comercial (L/s)

No.Ind = número de industrias

Dot = dotación de agua potable (L/hab/día)

2.10.4. Caudal de infiltración

Es considerado como la cantidad de agua que se infiltra o penetra a través de las paredes de la tubería, este depende de la permeabilidad de la tubería, la transmisibilidad del suelo, la longitud de la tubería y de la profundidad a la que se coloca la tubería.

Es el caudal de infiltración es despreciable en el sistema de alcantarillado para la calle principal de la aldea El Pajón, la cual se diseña con tubería de PVC Norma ASTM 3034.

2.10.5. Caudal por conexiones ilícitas

En el caso de sistemas de alcantarillado sanitario este caudal lo constituye el agua de lluvia que llega a las tuberías del drenaje como consecuencia de que algunos usuarios conectan las bajadas de aguas pluviales

al sistema de alcantarillado sanitario; este caudal es perjudicial para el sistema y debe evitarse para no causar daños posibles o mal funcionamiento de la red y/o sistema de tratamiento.

Para la estimación se calcula como porcentaje del total de conexiones, como una función del área de techos y patios, y de la permeabilidad, así como de la intensidad de lluvia, también se puede utilizar para la estimación un 10 % del caudal domiciliar, o un valor más alto según las áreas donde no exista drenaje pluvial, esto según las Normas Generales para Diseño de Alcantarillados del Instituto de Fomento Municipal, 2001.

Para este caso se utilizará el 10 % del caudal domiciliar.

2.10.6. Caudal medio

El caudal medio es la sumatoria de los caudales que contribuyen al sistema de alcantarillado, los cuales fueron definidos anteriormente.

El caudal medio se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{med} = Q_{dom} + Q_{com} + Q_{ind} + Q_{inf} + Q_{conexiones\ silicitas}$$

Donde

Q_{med} = caudal medio (L/s)

Q_{dom} = caudal domiciliar (L/s)

Q_{com} = caudal comercial (L/s)

Q_{ind} = caudal industrial (L/s)

Q_{inf} = caudal por infiltración (L/s)

Conexiones ilícitas = Caudal por conexiones ilícitas (L/s)

Cálculo

$$Q_{med} = 3,83 \text{ L/s} + (0,1 * 3,83 \text{ L/s})$$

$$Q_{med} = 4,22 \text{ L/s}$$

2.10.7. Factor de caudal medio

Factor que se obtiene como resultado de distribuir el caudal medio del área a drenar, entre el número de habitantes a servir, este valor debe oscilar entre 0,002 a 0,005.

Si el cálculo del factor se encuentra entre esos dos límites se utiliza el calculado, en caso contrario, si es inferior o excede se utiliza el límite más cercano según sea el caso.

El factor de caudal medio se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$f_{qm} = \frac{Q_{med}}{P_f}$$

Donde

f_{qm} = factor de caudal medio (L/hab/s)

Q_{med} = caudal Medio (L/s)

P_f = población futura (hab)

Cálculo:

$$f_{qm} = \frac{4,22L/s}{3450hab}$$

$$f_{qm} = 0,001 L/hab/s$$

Se tomara 0,002, debido que no se encuentra en el rango.

2.10.8. Caudal de diseño

Para realizar la estimación de la cantidad de agua que transportará el alcantarillado sanitario, en los diferentes puntos donde esta fluya.

El caudal de diseño se calculó mediante la siguiente fórmula

$$Q_{dis} = FH * f_{qm} * Pf$$

Donde

Q_{dis} = caudal de diseño (L/s)

F.H. = factor de Harmond

f_{qm} = factor de caudal medio (L/hab/s)

Pf = población futura (hab)

Cálculo:

$$Q_{dis} = 3,39 * 0,002 L/hab/s * 3450 hab$$

$$Q_{dis} = 23,4L/s$$

2.11. Velocidad de diseño

La velocidad de diseño está determinada por la pendiente del terreno, así como por el diámetro y el tipo de tubería que se propone, el INFOM recomienda las siguientes velocidades máximas y mínimas en la red:

- La velocidad máxima con el caudal de diseño será de 2,50 m/s
- La velocidad mínima con el caudal de diseño será de 0,60 m/s

2.11.1. Velocidad de arrastre

La velocidad de arrastre es la mínima velocidad del flujo, que evita la sedimentación de los sólidos para prevenir la obstrucción del sistema y asegurar el buen funcionamiento, el valor mínimo permitido es de 0,60 m/s.

Es importante mencionar que para tramos iniciales con poco caudal se toleran velocidades mínimas de 0,40 m/s.

2.12. Relaciones hidráulicas q/Q , d/D , v/V

Al realizar el cálculo de las tuberías que trabajan en una sección parcialmente llena y para agilizar de alguna manera los resultados de la velocidad tirante.

Se relacionaron los términos de la sección totalmente llena con los de la sección parcialmente llena.

La velocidad a sección llena se determina mediante la fórmula de Manning y la cual es la siguiente fórmula:

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) * 0.03429 * D^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde

V = velocidad a sección llena (m/s)

n = coeficiente de rugosidad de la tubería = 0,009- 0,010

D = diámetro de tubería (pulg)

S = pendiente de tubería (decimales)

Obteniendo la velocidad se puede determinar el caudal, y la cual se determina de la siguiente fórmula:

$$Q = V * A$$

Donde

Q = caudal (m³/s)

V = velocidad (m/s)

A = área (m)

En la tabla I se presentan los los rangos en los cuales el INFOM recomienda oscilen los resultados de las relaciones hidráulicas.

Tabla I. **Verificación de especificaciones hidráulicas**

Caudales	Velocidad	Diámetros
$q < Q$	$0,60 \leq v \leq 2,50 \text{ m/s}$	$0,1 \leq d/D \leq 0,75$

Fuente: Instituto de Fomento Municipal *Normas Generales de Diseño de Alcantarillados*. p. 25.

En la tabla II se presenta las relaciones hidráulicas para secciones circulares, la cual se utiliza para determinar los valores de las relaciones d/D , a/A , v/V y q/Q .

Para utilizar la tabla II, primero se determina, la relación (q/Q), el valor se busca en las tablas y si no está el valor exacto se busca uno que sea aproximado, en la columna de la izquierda se ubica la relación (v/V), y de la misma forma se debe multiplicar el valor obtenido por la velocidad en una sección llena y así obtener la velocidad de la sección parcial.

Tabla II. Relaciones hidráulicas para sección circular

d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q
0.0100	0.0017	0.0880	0.00015	0.1025	0.0540	0.4080	0.02202
0.0125	0.0237	0.1030	0.00024	0.1050	0.0558	0.4140	0.02312
0.0150	0.0031	0.1160	0.00036	0.1075	0.0578	0.4200	0.02429
0.0175	0.0039	0.1290	0.00050	0.1100	0.0599	0.4260	0.02550
0.0200	0.0048	0.1410	0.00067	0.1125	0.0619	0.4320	0.02672
0.0225	0.0057	0.1520	0.00087	0.1150	0.0639	0.4390	0.02804
0.0250	0.0067	0.1630	0.00108	0.1175	0.0659	0.4440	0.02926
0.0275	0.0077	0.1740	0.00134	0.1200	0.0680	0.4500	0.03059
0.0300	0.0087	0.1840	0.00161	0.1225	0.0701	0.4560	0.03194
0.0325	0.0099	0.1940	0.00191	0.1250	0.0721	0.4630	0.03340
0.0350	0.0110	0.2030	0.00223	0.1275	0.0743	0.4680	0.03475
0.0375	0.0122	0.2120	0.00258	0.1300	0.0764	0.4730	0.03614
0.0400	0.0134	0.2210	0.00223	0.1325	0.0786	0.4790	0.03763
0.0425	0.0147	0.2300	0.00338	0.1350	0.0807	0.4840	0.03906
0.0450	0.0160	0.2390	0.00382	0.1375	0.0829	0.4900	0.04062
0.0475	0.0173	0.2480	0.00430	0.1400	0.0851	0.4950	0.04212
0.0500	0.0187	0.2560	0.00479	0.1425	0.0873	0.5010	0.04375
0.0525	0.0201	0.2640	0.00531	0.1450	0.0895	0.5070	0.04570
0.0550	0.0215	0.2730	0.00588	0.1475	0.0913	0.5110	0.04665
0.0575	0.0230	0.2710	0.00646	0.1500	0.0941	0.5170	0.04863
0.0600	0.0245	0.2890	0.00708	0.1525	0.0964	0.5220	0.05031
0.0625	0.0260	0.2970	0.00773	0.1550	0.0986	0.5280	0.05208
0.0650	0.0276	0.3050	0.00841	0.1575	0.1010	0.5330	0.05381
0.0675	0.0292	0.3120	0.00910	0.1600	0.1033	0.5380	0.05556
0.0700	0.0308	0.3200	0.00985	0.1650	0.1080	0.5480	0.05916
0.0725	0.0323	0.3270	0.01057	0.1700	0.1136	0.5600	0.06359
0.0750	0.0341	0.3340	0.01138	0.1750	0.1175	0.5680	0.06677
0.0775	0.0358	0.3410	0.01219	0.1800	0.1224	0.5770	0.07063
0.0800	0.0375	0.3480	0.01304	0.1850	0.1273	0.5870	0.07474
0.0825	0.0392	0.3550	0.01392	0.1900	0.1323	0.6960	0.07885
0.0850	0.0410	0.3610	0.01479	0.1950	0.1373	0.6050	0.08304
0.0875	0.0428	0.3680	0.01574	0.2000	0.1424	0.6150	0.08756
0.0900	0.0446	0.3750	0.01672	0.2050	0.1475	0.6240	0.09104
0.0925	0.0464	0.3810	0.01792	0.2100	0.1527	0.6330	0.09663

Continuación de la tabla II.

d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q
0.2200	0.1631	0.6510	0.10619	0.5900	0.6140	1.0700	0.65488
0.2250	0.1684	0.6590	0.11098	0.6000	0.6265	1.0700	0.64157
0.2300	0.1436	0.6690	0.11611	0.6100	0.6389	1.0800	0.68876
0.2350	0.1791	0.6760	0.12109	0.6200	0.6513	1.0800	0.70537
0.2400	0.1846	0.6840	0.12623	0.6300	0.6636	1.0900	0.72269
0.2450	0.1900	0.6920	0.13148	0.6400	0.6759	1.0900	0.73947
0.2500	0.1955	0.7020	0.13726	0.6500	0.6877	1.1000	0.75510
0.2600	0.2066	0.7160	0.14793	0.6600	0.7005	1.1000	0.77339
0.2700	0.2178	0.7300	0.15902	0.6700	0.7122	1.1100	0.78913
0.3000	0.2523	0.7760	0.19580	0.7000	0.7477	1.1200	0.85376
0.3100	0.2640	0.7900	0.20858	0.7100	0.7596	1.1200	0.86791
0.3200	0.2459	0.8040	0.22180	0.7200	0.7708	1.1300	0.88384
0.3300	0.2879	0.8170	0.23516	0.7300	0.7822	1.1300	0.89734
0.3400	0.2998	0.8300	0.24882	0.7400	0.7934	1.1300	0.91230
0.3500	0.3123	0.8430	0.26327	0.7500	0.8045	1.1300	0.92634
0.3600	0.3241	0.8560	0.27744	0.7600	0.8154	1.1400	0.93942
0.3700	0.3364	0.8680	0.29197	0.7700	0.8262	1.1400	0.95321
0.3800	0.3483	0.8790	0.30649	0.7800	0.8369	1.3900	0.97015
0.3900	0.3611	0.8910	0.32172	0.7900	0.8510	1.1400	0.98906
0.4000	0.3435	0.9020	0.33693	0.8000	0.8676	1.1400	1.00045
0.4100	0.3860	0.9130	0.35246	0.8100	0.8778	1.1400	1.00045
0.4200	0.3986	0.9210	0.36709	0.8200	0.8776	1.1400	1.00965
0.4400	0.4238	0.9430	0.39963	0.8400	0.8967	1.1400	1.03100
0.4500	0.4365	0.9550	0.41681	0.8500	0.9050	1.1400	1.04740
0.4600	0.4491	0.9640	0.43296	0.8600	0.9149	1.1400	1.04740
0.4800	0.4745	0.9830	0.46647	0.8800	0.9320	1.1300	1.06030
0.4900	0.4874	0.9910	0.48303	0.8900	0.9401	1.1300	1.65550
0.5000	0.5000	1.0000	0.50000	0.9000	0.9480	1.1200	1.07010
0.5100	0.5126	1.0090	0.51719	0.9100	0.9554	1.1200	1.07420
0.5200	0.5255	1.0160	0.53870	0.9200	0.9625	1.1200	1.07490
0.5300	0.5382	1.0230	0.55060	0.9300	0.9692	1.1100	1.07410
0.5400	0.5509	1.0290	0.56685	0.9400	0.9755	1.1000	1.07935
0.5500	0.5636	1.0330	0.58215	0.9500	0.9813	1.0900	1.07140

Fuente: Instituto de Fomento Municipal *Normas Generales de Diseño de Alcantarillados*. p. 45.

2.13. Cota Invert

Es la distancia que existe entre el nivel de la rasante del suelo y el nivel inferior interior de la tubería se debe verificar que la Cota Invert sea, al menos, igual al recubrimiento mínimo necesario de la tubería. Las cotas Invert se calculan con base en la pendiente del terreno y la distancia entre un pozo y otro.

Las Cotas Invert se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$\text{CIS.PV}_i = \text{CT} - \text{HP}_f$$

$$\text{CIE.PV}_f = \text{CS.PV}_i - \left(\frac{\text{S\%tub} * \text{DH}}{100} \right)$$

$$\text{S\%tub} = \left(\frac{\text{CT}_i - \text{CT}_f}{\text{DH}} \right) * 100$$

$$\text{CIS.PV}_f = \text{CIE.PV}_i - 0,03\text{m}$$

Donde

CIS.PV_i = Cota Invert de salida pozo de visita inicial

CT = cota de terreno

HP_f = altura de pozo de visita inicial

CIE.PV_f = Cota Invert de entrada pozo de visita final

CIS.PV_f = Cota Invert de salida pozo visita final

S\%tub = pendiente de la tubería

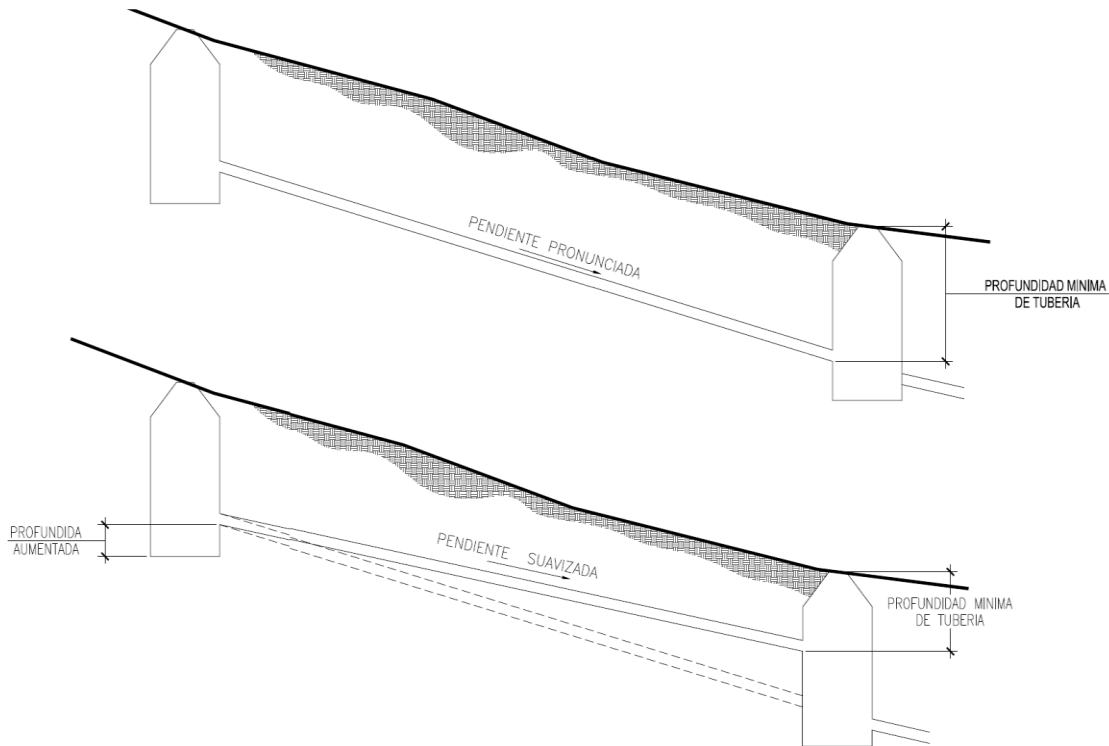
DH = distancia horizontal entre pozos

2.13.1. Normas y recomendaciones

La Cota Invert de salida de un pozo se coloca, al menos 0,03 m más baja que la Cota Invert de llegada de la tubería más baja. Cuando el diámetro de la tubería que sale, la Cota Invert de salida estará, debajo de la tubería de entrada al menos, a una altura igual al diámetro de la tubería que entra.

Un caso especial se presenta cuando se calcula la Cota Invert de salida, de acuerdo con los lineamientos anteriores, y aún utilizando la profundidad mínima de la tubería en el pozo al final del tramo se tiene una pendiente demasiado elevada, que provoca velocidades mayores a las permitidas.

Figura 8. Caso especial de Cota Invert



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

En la tabla III se presentan los valores de profundidad mínima de la Cota Invert, de la cual depende la profundidad mínima del pozo de visita al inicio y final del tramo.

Tabla III. **Profundidad mínima para la tubería según tráfico vehicular**

Diámetro de tubería (pulg)	Profundidad para tráfico normal (m)	Profundidad para tráfico pesado (m)
4	1.11	1.31
6	1.17	1.37
8	1.22	1.42
10	1.28	1.48
12	1.33	1.53
15	1.41	1.61
18	1.50	1.7

Fuente: AMANCO-TUBOVINIL, *NORMA ASTM 3034 tuberías PVC para Alcantarillado Sanitario*, p. 7.

2.14. Pozos de visita

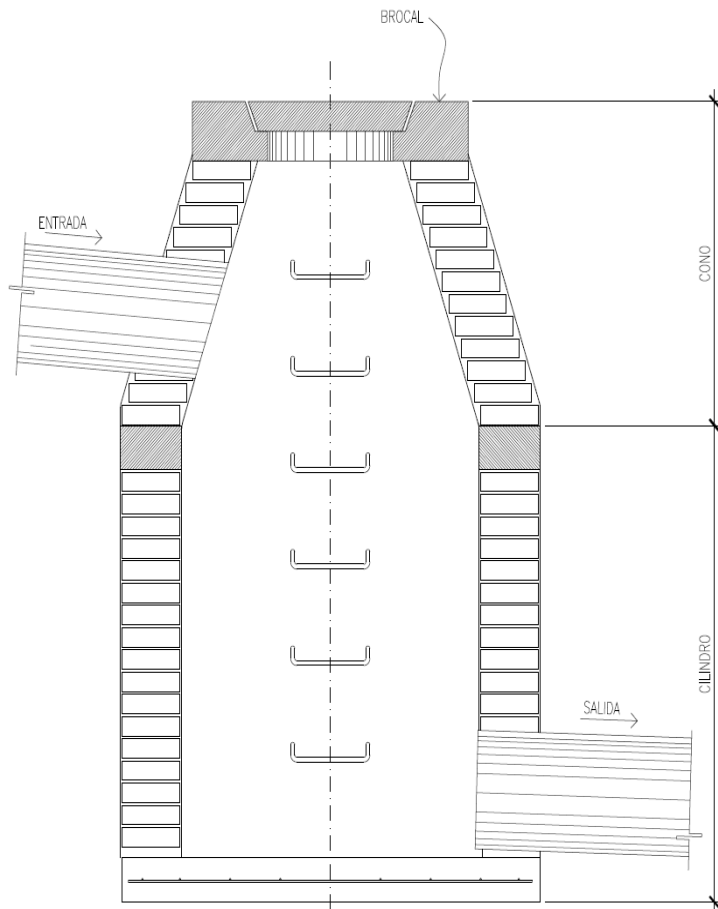
Forman parte del sistema de alcantarillado, proporcionan acceso a este, con el fin de realizar trabajos de supervisión y/o mantenimiento.

Las recomendaciones para la construcción son las siguientes:

- Ingreso circular con un diámetro entre 0,60 a 0,75 metros.
- La tapadera deberá descansar sobre un brocal; ambos construidos de concreto reforzado.

- Las paredes del pozo deberán de ser impermeabilizadas con repello más cernido liso.
- El fondo deberá de ser de concreto, dejando la pendiente necesaria para que dirija el flujo del agua.
- Según la altura de los pozos es importante dejar escalones, los cuales deberán de ser de hierro y estar empotrados a las paredes del pozo.

Figura 9. **Diagrama de pozo de visita**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

2.14.1. Especificaciones de colocación

Según normas del INFOM, se recomienda que los pozos de visita se coloquen en los siguientes casos

:

- En cambios de diámetro.
- En cambios dependiente.
- En cambio de dirección horizontal para diámetro menor de 24".
- En las intersecciones de tuberías colectoras.
- En los extremos superiores ramales iniciales.
- A distancia no mayores de 100 metros en línea recta en diámetros hasta de 24".
- A distancias no mayores de 300m en diámetros superiores a 24".

2.14.2. Especificaciones físicas

Al diseñar el sistema de alcantarillado sanitario se deben considerar los siguientes aspectos que se refieren a la Cotas Invert de entrada y salida de las tuberías en los pozos de visita, así como a una serie de especificaciones que deben tomarse en consideración.

- Cuando en un pozo de visita entra una tubería y sale otra del mismo diámetro, la Cota Invert de salida estará como mínimo a 0,03 m debajo de la Cota Invert de entrada.

$$\varnothing A = \varnothing B$$

$$\text{Cota Invert de salida} = \text{Cota Invert de entrada} + 0,03$$

- Cuando en un pozo de visita entra una tubería de un diámetro y salga otra de diferente diámetro, la Cota Invert de salida estará, como mínimo, debajo de la Cota Invert de entrada, igual a la diferencia de los diámetros de la Cota Invert de entrada y salida.

$$\varnothing A < \varnothing B$$

$$\text{Cota Invert de salida} = \text{Cota Invert de entrada} + ((\varnothing B - \varnothing A) * 0,0254)$$

- Cuando en un pozo de visita la tubería de salida es del mismo diámetro que las que ingresan en él, la Cota Invert de salida mínima estará 0,03 m debajo de la cota más baja que entre.

$$\varnothing A = \varnothing B = \varnothing C$$

$$\text{Cota Invert de salida} = \text{Cota Invert de entrada más baja} + 0.03 \text{ m}$$

- Cuando en un pozo de visita la tubería de salida es de diferente diámetro que las que ingresan en este, la Cota Invert de salida deberá cumplir con las especificaciones anteriores y se tomará el valor menor.

Sólo una tubería de las que sale es de seguimiento; las demás que salgan del pozo de visita deberán ser iniciales.

La Cota Invert de salida de la tubería inicial deberá estar, como mínimo, a la profundidad del tráfico liviano o pesado, y la Cota Invert de salida de la tubería de seguimiento deberá cumplir con las especificaciones anteriormente descritas.

2.14.3. Profundidad mínima de pozos de visita

La profundidad del pozo de visita al inicio del tramo está definida por la Cota Invert de salida previamente determinada.

$$\text{Hpv} = \text{cota del terreno al inicio} - \text{Cota Invert de salida del tramo} + 0,25\text{m}$$

Debe considerarse que la Cota Invert mide la distancia del dato (abajo) al punto en cuestión (arriba), mientras que la profundidad del pozo mide la distancia de la superficie del terreno (arriba) a la superficie del fondo del pozo (abajo).

Si una Cota Invert menor indica mayor profundidad y una Cota Invert mayor indica menor profundidad; en cambio, una profundidad de pozo menor, es realmente una profundidad menor y una profundidad de pozo mayor, es realmente una profundidad mayor.

2.15. Conexiones domiciliarias

Tienen la finalidad de descargar las aguas provenientes de las viviendas y dirigirlas hacia el colector central, se describirán a continuación dos tipos de acometidas individuales y conjuntas; sin embargo para el diseño de alcantarillado para la calle principal de la aldea El Pajón se plantea la acometida individual.

- Acometidas individuales: las acometidas individuales o conexiones domiciliarias, tienen como finalidad transportar las aguas residuales originadas en las viviendas por medio de tubería de PVC Ø 4" o de concreto Ø 6". Normalmente se construye una caja o candela de

inspección para acometida, esta tendrá una tapa removible a nivel de la superficie con el objetivo de facilitar las labores de mantenimiento en la conexión.

- Acometidas conjuntas: en el caso de viviendas unifamiliares, cuyo frente sea de seis metros o cuando las condiciones económicas lo requieran, se podrá construir una sola caja de empalme para cada dos viviendas, con el fin de tener una sola acometida a la red principal.

Las conexiones domiciliarias constan de las siguientes partes:

- Caja o candela: la conexión se realiza por medio de una caja de inspección, construida de mampostería o con tubos de concreto colocados verticalmente. El lado menos de la caja será de 45 centímetros, si fuese circular, tendrá un diámetro no menor de 12 pulgadas, estos deben estar impermeabilizados por dentro y tener una tapadera para realizar inspecciones. El fondo debe ser fundido de concreto, y dejar la respectiva pendiente para que las aguas fluyan por la tubería secundaria y pueda dirigir el caudal de aguas servidas hacia el colector central.

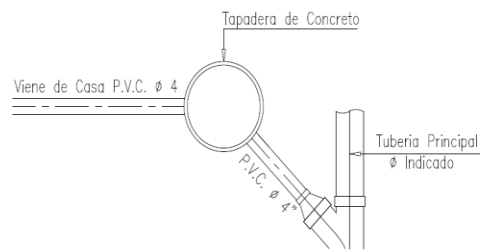
La altura mínima de la candela será de un metro.

- Tubería secundaria: la conexión de la candela domiciliar con el colector central se hará por medio de la tubería secundaria, la cual debe tener un diámetro mínimo de 6 pulgadas en tubería de concreto y de 4 pulgadas en tubería de PVC, con una pendiente mínima de 2 % y una máxima de 6 %, a efecto de dirigir adecuadamente el agua.

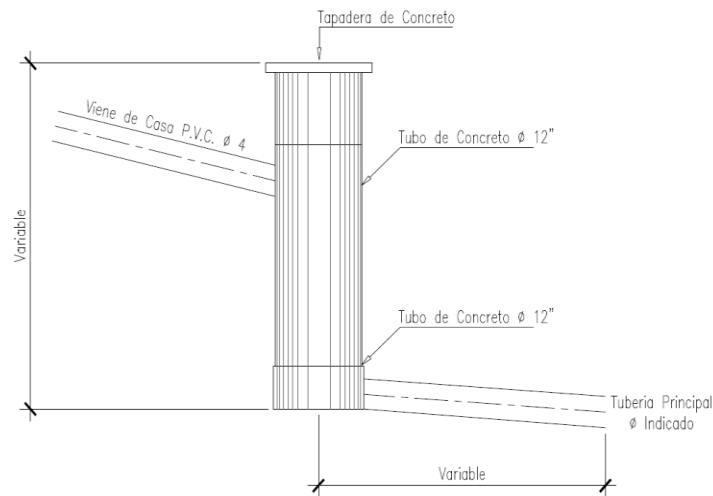
La conexión con el colector central se hará en el medio diámetro superior, a un ángulo entre 30 y 60 grados.

En el alcantarillado sanitario para la calle principal de la aldea El Pajón, las conexiones domiciliarias se realizarán por medio de candelas construidas con tubería de concreto Ø 12" y para la tubería secundaria se tomará un ángulo de 45° aguas abajo, uniendo el tubo PVC Ø 4" con el colector principal por medio de una silleta tipo yee.

Figura 10. **Conexiones domiciliarias**



Planta Candela Domiciliar



Detalle Candela Domiciliar

Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

2.16. Diámetro de colector

Según normas del INFOM, se recomienda que los diámetros mínimos en los colectores sean de:

- 8" para tubos de concreto
- 6" para tubos PVC.

El sistema de alcantarillado para la calle principal de la aldea El Pajón, ha sido diseñado con tubería de cloruro de polivinilo (PVC), el cual contempla la instalación de 1 482,28 m diámetro de 6" y 794,92 m diámetro 8", para hacer un total de 2 277,20 m.

2.17. Volumen de excavación

La cantidad de tierra que se removerá para colocar la tubería está comprendida a partir de la profundidad de los pozos de visita, el ancho de la zanja, que depende del diámetro de la tubería que se va a instalar y la longitud entre pozos.

El volumen de excavación se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$V_{\text{excav}} = \left[\left(\frac{H1 + H2}{2} \right) DH * t \right]$$

Donde

V_{excav} = volumen de excavación (m³)

H1. = profundidad del primer pozo (m)

H2 = profundidad del segundo pozo (m)

DH = distancia Horizontal entre pozos (m)

t = ancho de zanja (m)

Tabla IV. **Ancho de zanja (m) de acuerdo al diámetro de tubería (pulg) y profundidad a la que será instalada (m)**

Profundidad (m)	Diámetro nominal (pulg)					
	6	8	10	12	15	18
Hasta 1.30	1	0.6	---	---	---	---
De 2.36 a 1.85	1	0.6	0.70	0.75	0.90	1.10
De 1.86 a 2.35	1	0.65	0.70	0.75	0.90	1.10
De 2.36 a 2.85	1	0.65	0.70	0.75	0.90	1.10
De 2.86 a 3.35	1	0.70	0.70	0.75	0.90	1.10
De 3.36 a 3.85	1	0.7	0.70	0.75	0.90	1.10
De 3.86 a 4.35	1	0.75	0.75	0.75	0.90	1.10
De 4.36 a 4.85	1	0.75	0.75	0.75	0.90	1.10
De 4.86 a 5.35	1	0.75	0.75	0.75	0.90	1.10
De 5.36 a 5.85	1	0.80	0.80	0.80	0.90	1.10
De 5.86 a 6.35	1	0.80	0.80	0.80	0.90	1.10

Fuente: AMANCO-TUBOVINIL *Norma ASTM 3034 tubería PVC para alcantarillado sanitario.*

p. 8.

2.18. Cálculo de un tramo del sistema de alcantarillado sanitario

Se realizó el cálculo del tramo del pozo de visita número 1 al pozo de visita número 2, del sistema independiente 1.

Tabla V. **Datos para cálculo de tramo de alcantarillado sanitario**

Descripción	Cantidad	Unidad
Tramo de diseño	PV1-PV2	
Periodo de diseño (n)	20	años
Población inicial (Po)	32	habitantes
Dotación agua potable (dot)	120	L/hab/día
Tasa de crecimiento (r)	2.1	%
Factor de retorno (Fr)	80	%
Diámetro propuesto tubería PVC (D)	6	pulg
Cota terreno PV1 (CT1)	1004,1	m
Cota terreno PV2 (CT2)	1003,04	m
Distancia horizontal de PV1-PV2 (DH)	66,78	m
Altura de PV1 (H1)	1,52	m

Fuente: elaboración propia.

- Población futura (Pf)

$$Pf = 32 * (1 + 0,021)^{21}$$

$$Pf = 50 \text{ habitantes}$$

- Factor de Harmond (F.H.)

$$F.H_o. = (18 + 0,032^{1/2}) / (4 + 0,032^{1/2}) = 4,35$$

$$F.H_f. = (18 + 0,050^{1/2}) / (4 + 0,050^{1/2}) = 4,31$$

- Caudal domiciliar

$$Q_{dom_o} = \frac{120 * 32 * 0,80}{86\ 400} = 0,035 \text{ L/hab/dia}$$

$$Q_{dom_f} = \frac{120 * 50 * 0,80}{86\ 400} = 0,055 \text{ L/hab/dia}$$

- Caudal medio

$$Q_{med_o} = 0,035 + (0,10 * 0,035) = 0,0385 \text{ L/hab/dia}$$

$$Q_{med_f} = 0,055 + (0,10 * 0,055) = 0,0605 \text{ L/hab/dia}$$

- Factor de caudal medio

$$f_{qm_o} = \frac{0,0385}{32} = 0,0012 \text{ L/hab/s}$$

$$f_{qm_f} = \frac{0,0605}{50} = 0,0019 \text{ L/hab/s}$$

En ambos casos se tomará 0.002, debido que no se encuentra dentro del rango de 0,002-0,005

- Caudal de diseño

$$Q_{dis_o} = 4,5 * 0,002 * 32 = 0,278 \text{ L/s}$$

$$Q_{dis_f} = 4,31 * 0,002 * 50 = 0,43 \text{ L/s}$$

- Pendiente de tubería

$$S\% \text{ tub} = \left(\frac{1004,10 - 1003,04}{66,8} \right) * 100 = 1,59 = 1,60 \%$$

Se aproxima para fines prácticos.

- Velocidad a sección llena

$$V = \left(\frac{1}{0,010} \right) * 0,03429 * 6^{2/3} * 0,016^{1/2} = 1,43 \text{ m/s}$$

- Caudal a sección llena

$$Q = 1,43 * (\pi / 4 * (6 * 0,0254)^2) = 0,02608 \text{ m}^3 / \text{s} = 26,08 \text{ L/s}$$

- Relaciones hidráulicas q/Q , d/D , v/V

Habiendo calculado el caudal de diseño y el caudal a sección llena, se establece una relación entre estos.

$$q_o/Q = 0,278/26,08 = 0,0106$$

$$q_f/Q = 0,431/26,08 = 0,01652$$

Se busca este resultado en las tablas de relaciones hidráulicas (ver tabla I) para determinar la velocidad y el tirante en este tramo.

Como resultado se tiene que las relaciones hidráulicas para las velocidades son:

$$v_{o/}/V = 0.3279$$

$$v_{f/}/V = 0.3705$$

Con cada uno de los resultados se verifica la velocidad en cada tramo, debido que ya se conoce el valor de $V = 1,43\text{m/s}$.

$$v_{o/} = 0,3279 * 1,43 = 0,47\text{m/s}$$

$$v_{f/} = 0,3705 * 1,43 = 0,53\text{m/s}$$

$0,40 \text{ m/s} < v$ para que existan fuerzas de tracción y arrastre de los sólidos, para PVC.

Como resultado se tiene que las relaciones hidráulicas para los tirantes son:

$$d_{o/}/D = 0,0727$$

$$d_{f/}/D = 0,0889$$

El resultado se deberá de representar en porcentaje, el cual indica que los tirantes con el que circula los caudales son:

$$d_{o/} = 7,27 \%$$

$$d_f = 8,89 \%$$

- Cota Invert

$$\text{CIS.PV}_1 = 1004,10 - 1,52 = 1002,58\text{m}$$

$$\text{CIE.PV}_2 = 1002,58 - \left(\frac{1,60 * 66,78}{100} \right) = 1001,51\text{m}$$

- Alturas de pozos de visita

$$H_1 = 1,2\text{m}$$

$$H_1 = 1003,04 - 1001,51 = 1,56\text{m}$$

- Volumen de excavación

$$V_{\text{excav}} = \left[\left(\frac{1,52 + 1,56}{2} \right) 66,78 * 0,6 \right] = 61,70\text{m}^3$$

Tabla VI. **Resumen de resultados obtenidos en el cálculo de tramo de alcantarillado sanitario**

Descripción	Inicio	Final	Unidad
Viviendas inicial	6.4	10	viviendas
Población	32	50	habitantes
Factor Hardmond (F.H.)	4.35	4.31	
Caudal domiciliar (Qdom)	0.035	0.055	L/hab/s
Caudal comercial (Qcom)	0	0	L/hab/s
Caudal industrial (Qind)	0	0	L/hab/s
Caudal de infiltración (Qinf)	0	0	L/hab/s
Caudal conexiones ilícitas(Qconex ilic)	0.004	0.006	L/hab/s
Caudal medio (Qmed)	0.0385	0.0605	L/s
Factor de caudal medio (fqm)	0.002	0.002	L/hab/s
Caudal de diseño (Qdis)	0.278	0.43	L/s
Pendiente de tubería (S)	1.6		%
Velocidad a sección llena (V)	1.43		m/s
Caudal a sección llena (Q)	26.08		L/s
Relaciones hidráulicas			
q/Q	0.0106	0.01652	
v/V	0.3279	0.3705	
d/D	0.0727	0.0889	
Velocidad real (v)	0.47	0.53	m/s
Tirante (d)	7.27	8.89	%
Cota invert salida (CIS. PV1)	1002.52		m/s
Cota invert de entrada (CIE.PV2)	1001.51		m/s
Altura de pozos (H1)	1.52		m
Altura de pozos (H2)	1.56		m
Volumen de excavación (V excav)	61.7		m3

Fuente: AMANCO-TUBOVINIL Norma ASTM 3034 tubería PVC para alcantarillado sanitario.

p. 8.

El cálculo hidráulico de la red de alcantarillado se puede observar en el apéndice A.

2.19. Desfogue

Se consideraron 3 puntos de desfogue debido a que la red se conformará de 3 sistemas independientes debido a la topografía del terreno, ubicando para ello terrenos municipales con área considerable para la construcción de fosas sépticas y pozos de absorción para brindar tratamiento a las aguas según lo establecido por las Normas del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

2.19.1. Diseño de fosas sépticas

La fosa séptica es una unidad de tratamiento primario, consistente en una o varias cámaras construidas para tratar las aguas negras, antes de ser enviadas a los pozos de absorción o puntos de desfogue.

Cumple con la función de sedimentar y digerir los lodos, asimismo permite la transformación anaerobia de las grasas a sustancias y compuestos más simples y estables; a medida que las aguas negras procedentes del sistema de alcantarillado ingresan hacia la fosa séptica se reduce la velocidad de flujo, los sólidos mayores forman el cieno el cual es la acumulación de sólidos en el fondo de la fosa y las natas que son un conjunto de sólidos parcialmente sumergidos y flotantes se forma en la superficie.

El período de retención de las aguas negras en esta unidad varía de 12 a 72 horas, dependiendo del caudal a tratar, para este estudio se implementó un período de 24 horas, asimismo se consideró el volumen máximo recomendado para una fosa séptica, que corresponde a 60 viviendas ($58,56 \text{ mts}^3/\text{día}$), a continuación se presenta el diseño para las fosas sépticas del sistema 3.

Tabla VII. **Datos para cálculo de fosa séptica**

Descripción	Cantidad	Unidad
Dotación de agua potable (Dot)	120	L/hab/día
Factor de retorno (Fr)	80 (0,8)	%
Población futura (Pf)	1 789	habitantes
Período de retención	24	horas
Período de limpieza	1	año
Gasto de lodos (Gl)	30	L/hab/día
Relación longitud/ancho	L=2A	
Altura fosa (H) asumido	2	m

Fuente: elaboración propia.

- Caudal

$$Q = \text{Dot} * \text{Pf} * \text{Fr}$$

$$Q = 120 \text{ L/hab/día} * 1\,789 \text{ hab} * 0,80 = 171\,744 \text{ L/día} = 171,74 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Volumen para líquidos

$$V_{\text{liq}} = Q * T$$

$$V = 171,74 \text{ m}^3/\text{día} * 24 \text{ horas} * 1 \text{ día}/24 \text{ horas} = 171,74 \text{ m}^3$$

- Volumen para lodos

$$V_{\text{dodos}} = P_f * G_l$$

$$V = 1789 \text{hab} * 30 \text{L/hab/año} = 53670 \text{L} = 53,67 \text{m}^3$$

- Volumen total

$$V = V_{\text{liq}} + V_{\text{dodos}}$$

$$V = 171,74 \text{m}^3 + 53,67 \text{m}^3 = 225,41 \text{m}^3$$

Debido que el volumen total es de $225,41 \text{m}^3 > 58,56 \text{m}^3/\text{día}$ (recomendado) se dividirá el caudal en 5 fosas, con un volumen de $47,57 \text{m}^3/\text{cada una}$.

- Dimensiones fosa séptica

$$V = L * A * H$$

Donde

V = volumen

L = longitud

A = ancho

H = altura

Cálculo:

Se utilizará la relación $L=2A$ y se asumirá $H= 2 \text{ m}$.

$$56,35 \text{m}^3 = A * 2A * 2\text{m} \quad \text{despejando } A$$

$$A = 3,75 \text{ m}$$

Dimensiones fosa séptica:

$$L = 7,5\text{m}$$

$$A = 3,75\text{m}$$

$$H = 2 \text{ m}$$

Para el diseño de las fosas sépticas de los sistemas 1, 2 y 3, debido que estas varían únicamente en las dimensiones, los resultados se pueden observar en la tabla VIII y los detalles se pueden observar en el apéndice B.

Tabla VIII. **Resumen de resultados de dimensiones de las fosas sépticas**

Sistema	Volumen total (V)	Volumen fosa (V)	Cantidad de fosas sépticas	Altura (H)	Ancho (A)	Largo (L)
	m ³	m ³		(m)	(m)	(m)
1	106,83	35,61	3	2	2,98	5,97
2	102,54	34,18	3	2	2,92	5,85
3	225,41	37,57	6	2	3,06	6,13
Total	434,78		11			

Fuente: elaboración propia.

2.19.2. Diseño de pozos de absorción

El tratamiento secundario del efluente de una fosa séptica se basa en la oxidación de la materia orgánica por la actividad de las bacterias aeróbicas, la excavación del pozo debe finalizar a 1,20m arriba del nivel freático y de formaciones rocosas, además depende de la permeabilidad del terreno

Según el estudio hidrogeólogo para la perforación del pozo mecánico, del sector La Frontera en la aldea El Pajón se determinó la permeabilidad del suelo alcanza los 171,42 l/m²/día y el nivel freático se encuentra a 16,5m.

Se presenta el diseño de pozos de absorción para el caudal proveniente de la fosa séptica diseñada anteriormente del sistema 3:

Tabla IX. **Datos para cálculo pozo de absorción**

Descripción	Cantidad	Unidad
Viviendas futura c/fosa	60	viviendas
Población futura (Pf) c/ fosa	298	habitantes
Coefficiente de absorción K1	0,4721	m ² /hab/día
diámetro de perforación (D) asumiendo	2	m

Fuente: elaboración propia.

- Profundidad pozo:

$$H = \frac{K1 * Pf}{D * \pi}$$

Donde

H = profundidad pozo de pozo (m)

Pf = población futura (hab)

D = diámetro de perforación propuesto (m)

Cálculo

$$H = \frac{0,721 * 447 \text{ hab}}{2m * \pi} = 49,0m \quad \text{despejando d}$$

Debido que la profundidad del pozo es de 32,86 m se propone 3 pozos de 10,98 m para la fosa séptica diseñada.

Para el diseño de los pozos de absorción de los sistemas 1, 2 y 3, debido que estos varían únicamente en las dimensiones, los resultados se pueden observar en la tabla X y los detalles se pueden observar en el apéndice B.

Tabla X. **Resumen de resultados de dimensiones pozos de absorción**

Sistema	Profundidad total (H)	Profundidad pozo (H)	Cantidad de	Cantidad total
	m	m	pozos/fosa	de pozos
1	31,15	16	2	6
2	29,90	14,9	2	6
3	32,86	10,98	3	18
Total	93,91		7	30

Fuente: elaboración propia.

2.20. Estudio de Impacto Ambiental

Toda obra civil trae consigo una variedad de factores y/o actividades que pueden afectar, distorsionar, degradar o producir deterioro a los recursos naturales renovables, no renovables, ambiente o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional

2.20.1. Evaluación de Impacto Ambiental

Es por ello que se realiza previo a realizar la ejecución de un proyecto, un Plan de Gestión Ambiental (PGA) el cual tiene como propósito fundamental detectar todas las consecuencias significativas, benéficas y adversas de una acción propuesta para que quienes toman decisiones cuenten con elementos científico-técnicos que les apoyen para determinar la mejor opción.

Según el departamento ambiental de la Dirección Municipal de Planificación, de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) establece que el PGA, debe ser realizado por un equipo técnico conformado por dos profesionales con amplia experiencia en ciencias del ambiente, infraestructura, así como aspectos legales y sociales.

La metodología que se debe realizar para la identificación de impactos del PGA, es la elaboración de una matriz de verificación, la cual compara cada componente ambiental con las actividades identificadas del proyecto, en cada caso se indica si la interacción es netamente positiva (3) o negativa (-3) si conlleva a efectos de ambos tipos (+/-) o es insignificante o inexistente (0). A continuación se presenta la matriz de Leopold para el proyecto de alcantarillado sanitario para la calle principal de la aldea El Pajón.

Tabla XI. Matriz de Leopold

Componentes		Construcción				Operación				Abandono				Total	
		Desechos sólidos	Desechos líquidos	Emanaciones gaseosas	Ruido	Desechos sólidos	Desechos líquidos	Emanaciones gaseosas	Ruido	Desechos sólidos	Desechos líquidos	Emanaciones gaseosas	Ruido		
Medio	Etapas de actividades														
	Componente ambiental y social														
Características Físicas y Químicas Suelo y Agua	Gases y Partículas en Suspensión	-3	0	0	-3	-3	-3	-3	0	0	-3	0	0	-21	
	Aguas	Subterráneas	0	0	0	0	0	-3	0	0	0	-3	0	0	-6
		Superficiales	3	3	0	0	3	-3	0	0	-3	0	0	0	0
		Calidad	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	6
		Cantidad	-3	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-5
	Aire	Polvo	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3
		Olor	0	0	0	0	3	3	-3	0	0	0	0	0	3
	Condiciones Biológicas	Amfibios y reptiles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Mamíferos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Aves	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factores culturales	Uso del suelo	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	6	
	Estética e Interés Humano		0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	6	
		Cualidades naturales	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	6
	Nivel Cultural	Salud y seguridad	0	0	0	0	3	3	0	3	0	0	0	0	9
		Empleo	3	3	3	0	3	3	3	3	0	0	0	0	21
Vegetación	Relaciones sociales	-3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Latifoliadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Sotobosque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Total	-6	6	3	-5	18	9	-3	9	-6	0	0	0	16	

Fuente: elaboración propia.

Con el resultado de matriz de Leopold, se deberán de implementar medidas de mitigación para todo aquel factor o actividad que afecte el cualquier componente ambiental.

- Agua:
 - Fase de construcción: los elementos contractivos, pozos de visita, instalación de tubería, construcción de candelas domiciliars, deberán de realizarse cumpliendo toda las especificaciones técnicas.
 - Fase de operación: los elementos de tratamiento, fosa séptica y pozos de absorción deberán de operar correctamente, debiendo de realizar periódicamente mantenimiento.
 - Fase de abandono: se tiene establecido que el proyecto tenga una vida útil de un estimado de 20 años, desarrollando mantenimiento que se realizará anualmente se pretende que esta vida útil sea mayor.

- Aire:
 - Fase de construcción: la aplicación de agua en las calles y alrededores para que el polvo sea captado y el ya existente, no se propague, ocasionando molestias y/o enfermedades a los habitantes del área.

La contaminación auditiva, producto de la utilización de la maquinaria y equipo, deberá mitigarse realizando los trabajos en horas hábiles y con maquinaria en buen estado.
 - Fase de operación: no aplica a una magnitud que genere impacto debido a la naturaleza de las actividades.

- Suelo:
 - Fase de construcción: el suelo extraído debido a la excavación por zanjeo, se incorporará de nuevo a las mismas y el sobrante se esparcirá en el terreno.
El suelo extraído y que no servirá para relleno, se deberá buscar el acomodamiento correcto del sitio donde se harán los depósitos de tierra, compactando de manera adecuada.

- Socio cultural:
 - Fase de construcción: instalar letrinas y basureros provisionales, para utilización de los trabajadores, así se evita contaminar los alrededores y provocar enfermedades o molestias a los vecinos.
La circulación peatonal y vehicular podría verse interrumpida, por tal razón, se deberá señalizar e informar los días y horas en que podría suceder.

2.21. Elaboración de planos finales

Los planos constructivos para el sistema de alcantarillado sanitario se presentan en el apéndice D; y están conformados por los siguientes planos:

- Planta de conjunto
- Plantaperfil de tramos
- Detalle de conexión domiciliar
- Detalle de pozo de visita
- Detalle de fosa séptica
- Detalle constructivo fosa séptica y pozo de absorción

2.22. 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 XII. Presupuesto del alcantarillado sanitario en quetzales

PRESUPUESTO DEL PROYECTO					
SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL PAJON, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA					
PRESUPUESTO DEL PROYECTO					
PROYECTO:			SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA CALLE PRINCIPAL DE LA ALDEA EL PAJON, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA		
No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	TRABAJOS PRELIMINARES	2,277.20	m	5.10	11,613.72
1.1	Replanteo y Levantamiento Topográfico, trazo y estaqueado.	2,277.20	m	5.10	11,613.72
2	COLECTOR	2,277.20	m	1,858.39	1,009,864.17
2.1	Colector de PVC diametro 8"	794.92	m	376.11	298,977.36
2.2	Colector de PVC diametro 6"	1,482.28	m	1,482.28	710,886.81
3	POZOS DE VISITA	48.00	Unidad	8,907.15	427,543.20
3.1	Construcción de pozos de visita, con base y tapadera	48.00	Unidad	8,907.15	427,543.20
4	CONEXIONES DOMICILIARES	334.00	Unidad	1,014.42	338,815.01
4.1	Conexiones domiciliars, con base y tapadera	334.00	Unidad	1,014.42	338,815.01
5	SISTEMAS DE TRATAMIENTO	3.00	Global	65,419.29	768,422.81
5.1	Construccion de fosa septica	11.00	Unidad	62,850.31	691,353.41
5.2	Construccion de pozos de absorcion, con su respectivo brocal	30.00	Unidad	2,568.98	77,069.40
6	LIMPIEZA	1.00	Global	4,433.92	4,433.92
6.1	Limpieza y retiro de material sobrante	1.00	Global	4,433.92	4,433.92
COSTO TOTAL DEL PROYECTO					Q2,560,692.83

Fuente: elaboración propia.

2.23. Obras de protección

Es la aplicación de técnicas para mantener el alcantarillado en buenas condiciones y así garantizar el funcionamiento normal del sistema para el período de diseño. La responsabilidad de mantenimiento y operación del sistema será directamente de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

El tiempo recomendado para inspeccionar el funcionamiento del sistema debe ser en espacios no mayores a un mes, ya que se trata de alcantarillado sanitario y por consiguiente en él corren aguas con desechos sólidos y la tubería podría taparse con mucha facilidad.

El diseño de alcantarillado sanitario en sí es una obra de protección comunitaria pero también necesita de algunos dispositivos que ayuden a cumplir la vida útil del mismo. Estos dispositivos son tomados en cuenta con bastante seriedad y colocados en lugares específicos para que las personas sepan siempre dónde ubicarlos a la hora de que haya necesidad de uso, en el diseño del sistema de alcantarillado en la calle principal de la aldea El Pajón se consideraron las siguientes obras de protección, para la ejecución:

- El diseño de la red se realizó tomando en consideración posibles ampliaciones de la red, considerando la totalidad la cantidad de viviendas que podrían conectarse en un futuro, al continuar con el incremento inmobiliario.
- Pozos de visita, con el diámetro considerado para la supervisión y mantenimiento constante.
- Escaleras en el interior del pozo de visita, para supervisión y/o mantenimiento.
- Tubería PVC en toda la red para evitar filtraciones.

- Candelas domiciliarias y pozos de visita, con las respectivas tapaderas de concreto.
- Se realizó el diseño para la ejecución de las fosas sépticas y pozos de absorción.

2.24. Evaluación socioeconómica

Se realiza para conocer la rentabilidad del proyecto o en el caso de la mayoría de proyectos que desarrollan las municipalidades se enfocan en la cantidad de beneficiarios a atender; para esto se asume que el proyecto será financiado y la inversión no será recuperada.

2.25. Valor Presente Neto (VPN)

Consiste en trasladar todos los movimientos monetarios de un proyecto a través del tiempo, a valores actuales, para determinar la rentabilidad al término del período de funcionamiento; la tasa de interés se asumió del 12 %, dado que el proyecto no es de carácter lucrativo, sino de carácter social, la tasa debe ser la mínima utilizada en el mercado. El Valor Presente Neto viene dado por la diferencia entre la suma de ingresos o beneficios y la sumatoria de los egresos o costos. El resultado posible es un valor presente neto mayor que cero o menor que cero, lo cual representa la recuperación de la inversión y rentabilidad y la no recuperación y una menor utilidad, respectivamente.

Según la Dirección de Servicios Públicos de la Municipalidad, la tasa municipal por concesión de drenaje se establece en una cuota única de Q 2 100,00, así mismo el propietario deberá de cancelar Q 10,00 mensuales por mantenimiento.

Los trabajos de mantenimiento que realiza dicha Dirección a los sistemas de alcantarillado son:

- Extracción de lodos de las fosas sépticas, con un costo aproximado de Q 1 000,00 anual, por cada una.
- Pagos de nómina al operador, con un sueldo de Q 2 000,00 mensual.
- Compra de herramientas y/o materiales, con un costo aproximado de Q 1 000,00 anual.

En la tabla XI se presenta el resumen de ingresos y egresos.

Tabla XIII. **Costos generales del sistema de alcantarillado sanitario**

Descripción		Total
Egresos (VPC)		
Costo total del proyecto		Q 2 560 692,83
Costo de mantenimiento	Q 1 000 anual * 11 fosas	Q 11 000,00
Costo de operación	Q 2 000 * 1 operario*12 meses	Q 24 000,00
	Q 1 000 herramientas/anual	Q 10 000,00
Total		Q 2 605 692,83
Ingresos (VPC)		
Tasa por concesión de servicio	334viv*Q2 100concesión	Q 701 400,00
Tasa por mantenimiento	334viv *Q10*12meses	Q 40 080,00
Total		Q 741 480,00
interés		12,00 %
n		20 años

Fuente: elaboración propia.

- Valor presente neto:

$$VPN = VPB - VPC$$

$$VPB = 701\,400 + 40\,080 * \left[\frac{(1 + 0,12)^{20} - 1}{0,12 * (1 + 0,12)^{20}} \right] = Q1000\,775,30$$

$$VPC = 1948\,396,38 + \left\{ (11\,000 + 24\,000 + 10\,000) * \left[\frac{(1 + 0,12)^{20} - 1}{0,12 * (1 + 0,12)^{20}} \right] \right\} = Q2896\,817,79$$

Sustituyendo

$$VPN = Q1000\,775,30 - Q2896\,817,79 = -Q1896\,042,49$$

Como se puede observar, el Valor Presente Neto de este proyecto es negativo, lo cual indica que no produce ninguna utilidad; solamente cumple el objetivo de carácter social, beneficiando a los habitantes de la aldea.

2.26. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Este indicador es utilizado para evaluar el rendimiento de una determinada inversión; en el proyecto, por ser de carácter social, no se obtendrá una Tasa Interna de Retorno atractiva, por lo que el análisis socioeconómico que se efectuará es el de obtener el costo/beneficio del proyecto, el cual se realiza a nivel municipal de la siguiente manera:

- Costo/beneficio

$$\text{Costo} = \text{Inversion.Inicial} - \text{VPN (Sin costo total del proyecto)}$$

$$\text{Costo} = \text{Q}2\ 605\ 692,83 - \text{Q}664\ 650,34 = \text{Q}1\ 941\ 042,49$$

$$\text{Costo/beneficio} = \frac{\text{Q}1941\ 042,49}{1\ 670\text{hab}} = \text{Q}1\ 162,30 * \text{habitante}$$

El resultado muestra que el proyecto no es considerado como favorable financieramente para la Municipalidad; sin embargo si de gran impacto positivo para la comunidad.

3. PAVIMENTACIÓN RESIDENCIAL EL SOCORRO

3.1. Descripción del proyecto

El proyecto comprende el diseño de la pavimentación del residencial El Socorro, ubicado en la aldea Puerta Parada, municipio de Santa Catarina Pinula. En el análisis realizado en el residencial se determinó que no cuenta con pavimentación, lo cual dificulta el fluido vehicular y peatonal de los vecinos, causando molestias y gastos innecesarios por reparaciones de vehículos.

Este consistirá en diseñar una carretera tipo E, con una longitud de 2 327 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 %, no se aplicó selección de ruta, debido a que ya existe una carretera la cual los habitantes del sector 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.

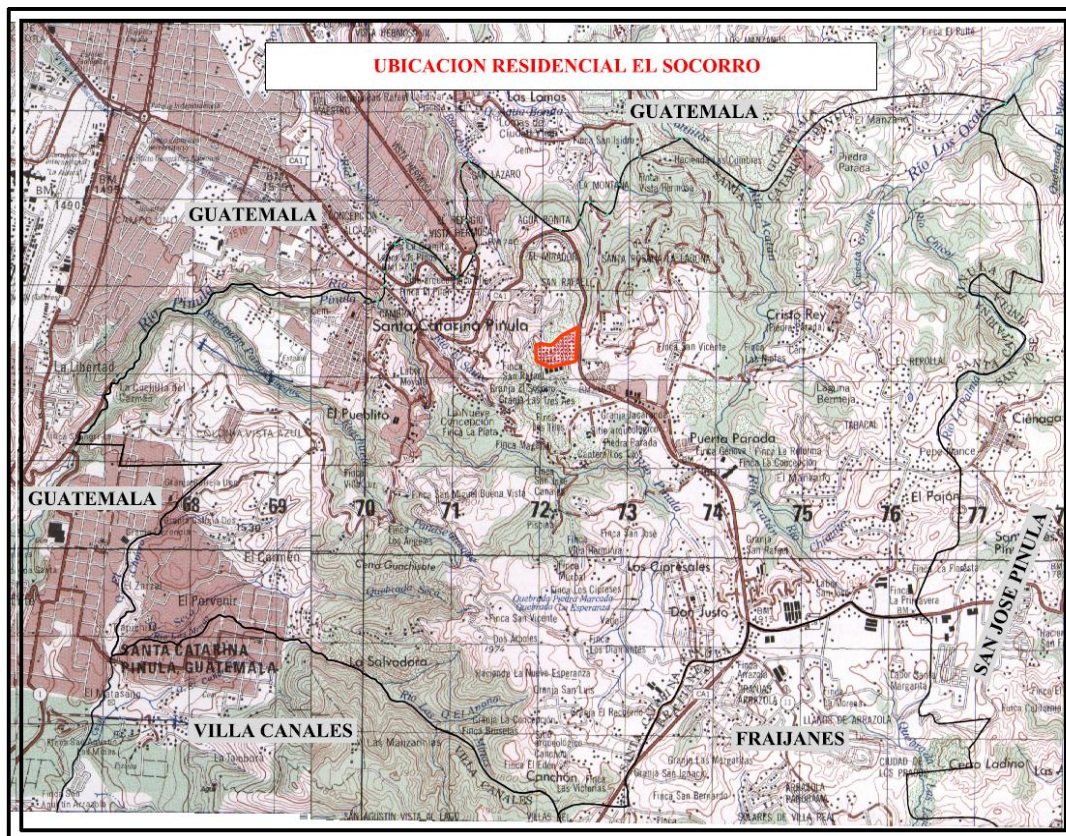
3.2. Ubicación geográfica del proyecto

El Residencial El Socorro se ubica en la aldea Puerta Parada, al oeste del municipio de Santa Catarina Pinula, a 1 850 metros sobre el nivel del mar, siendo las coordenadas 14° 33' 15" latitud norte y 90° 28' 21" longitud Oeste, el clima es templado, registrándose temperaturas no menores a 24 °C.

Las colindancias de el residencial El Socorro son:

- Al norte: con el residencial Vista al Valle (Sta. Cat. Pinula)
- Al sur: con el residencial La Encantada (Sta. Cat. Pinula)
- Al este: con la carretera Interamericana CA-I
- Al oeste: con el residencial Monte Bello (Sta. Cat. Pinula)

Figura 11. Mapa de ubicación residencial El Socorro, municipio de Santa Catarina Pinula



Fuente: OBIOLS GÓMEZ, Alfredo. Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.), hojas topográficas escala 1:50000, hoja ciudad de Guatemala, hoja San José Pinula.

3.3. Vía de acceso al proyecto

Para acceder al residencial El Socorro se puede utilizar la siguiente ruta: de la ciudad capital por la carretera Interamericana CA-1 hacia El Salvador, en el kilómetro 12,7 se ubica la garita de acceso hacia el residencial El Socorro.

Figura 12. Ruta de acceso hacia residencial El Socorro



Fue
nte:
De
part
am
ent
o
de
Ge
om
átic
a,
Mu
nici
pali
dad
de
San

ta Catarina Pinula.

3.4. Estudio 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, ubicando el comienzo de la carretera, estableciendo el rumbo o azimut de salida y marcando el norte magnético tomando como referencia el inicio el pavimento flexible existente.

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.

3.4.1. Planimetría y altimetría

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

Altimetría: se realizó tomando los datos de cada estación por medio del teodolito y estatal, luego se procesó la información por medio de la nivelación trigonométrica, para obtener las curvas de nivel y los perfiles de diseño.

3.5. 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.

3.6. 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.

3.6.1. 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 deflece perceptiblemente, y al unir todos los elementos antes mencionados, conforme una sola losa de concreto, de 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.

3.6.2. Pavimentos flexibles

Pavimentos flexibles son aquellos cuya estructura total del pavimento se defleca 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 y las extienden por toda la capa, para ser transferidas a la 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.

3.7. Elementos estructurales de un pavimento flexible

Estos se detallan en los siguientes subtítulos:

3.7.1. 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.

3.7.2. 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 C.B.R. a través de tablas.

3.7.2.1. 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.

Los materiales inapropiados para sub rasante son: 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.

3.7.3. 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.

3.7.3.1. Requisitos para los materiales 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 sub-base 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.

El equivalente de arena, no debe ser menor de 25, determinado por el método de la AASHTO T-176, y 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.

3.7.4. 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 de drenar del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento.

Estas bases pueden ser de materiales granulares tales como piedra o grava triturada, de arena y grava, de 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.

3.7.4.1. 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 C.B.R 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.

3.7.4.2. 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).

3.7.4.3. 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 C.B.R. 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.

3.7.4.4. 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, éste debe estar libre de impurezas.

3.7.4.5. 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.

3.7.5. 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).

3.7.6. Ensayos para la clasificación de suelo

Los ensayos son los siguientes:

3.7.6.1. Ensayo granulométrico

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen. A partir de la distribución de los granos en un suelo es posible formarse una idea aproximada de otras propiedades del mismo, este ensayo se basa en las normas A.A.S.H.T.O. T-27 y T-11.

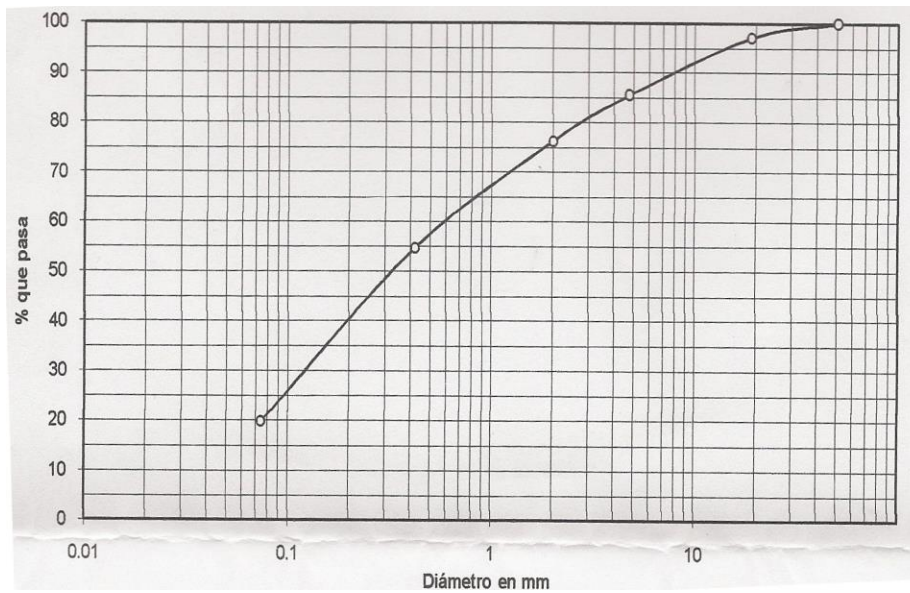
Los resultados del ensayo se presenta a continuación.

Tabla XIV. **Tabulación de datos obtenidos por ensayo de análisis de distribución granulométrica**

Análisis con tamices:			% de grava:	2,83
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa	% de arena:	77,22
2"	50,8	100	% de finos:	19,94
3/4"	19,00	97,17		
4	4,76	85,57		
10	2,00	76,31		
40	0,42	54,74		
200	0,074	19,94		

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Gráfica de datos obtenidos por ensayo granulométrico**



Fuente: elaboración propia.

3.7.6.2. Límites de consistencia de Atterberg

La finalidad del ensayo es determinar la humedad que se debe agregar a un suelo, para conocer los tres estados de consistencia, siendo estos, el límite de contracción, límite líquido y límite plástico, estos dos últimos son necesarios para determinar el índice de plasticidad (IP) y estos parámetros sirven para la clasificación del suelo, este ensayo se basa en las Normas A.A.S.H.T.O. T-89 y T-90.

Los resultados del ensayo de presenta a continuación:

Tabla XV. **Tabulación de datos obtenidos por ensayo de límites de consistencia**

Ensayo No.	Muestra No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U.*	Descripción del suelo
1	1	0	0	S.M.	Arena pómez limosa color beige

Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

(*) C.S.U. = Clasificación sistema unificado

3.7.6.3. Análisis de resultados

Con los resultados de los análisis granulométricos y límites de consistencia de Atterberg, se determinó que el tipo de suelo del residencial El Socorro se encuentra según el sistema S.C.U. en el grupo SM y según el

sistema de clasificación A.A.S.H.T.O. o P.R.A. en el grupo A-2-4, según el cual representa una calidad excelente para subrasante.

Por las características se determina que es una arena pómez limosa color beige.

3.7.7. Ensayos para el desarrollo de la construcción de la estructura

Los ensayos realizados se describen en los siguientes subtítulos.

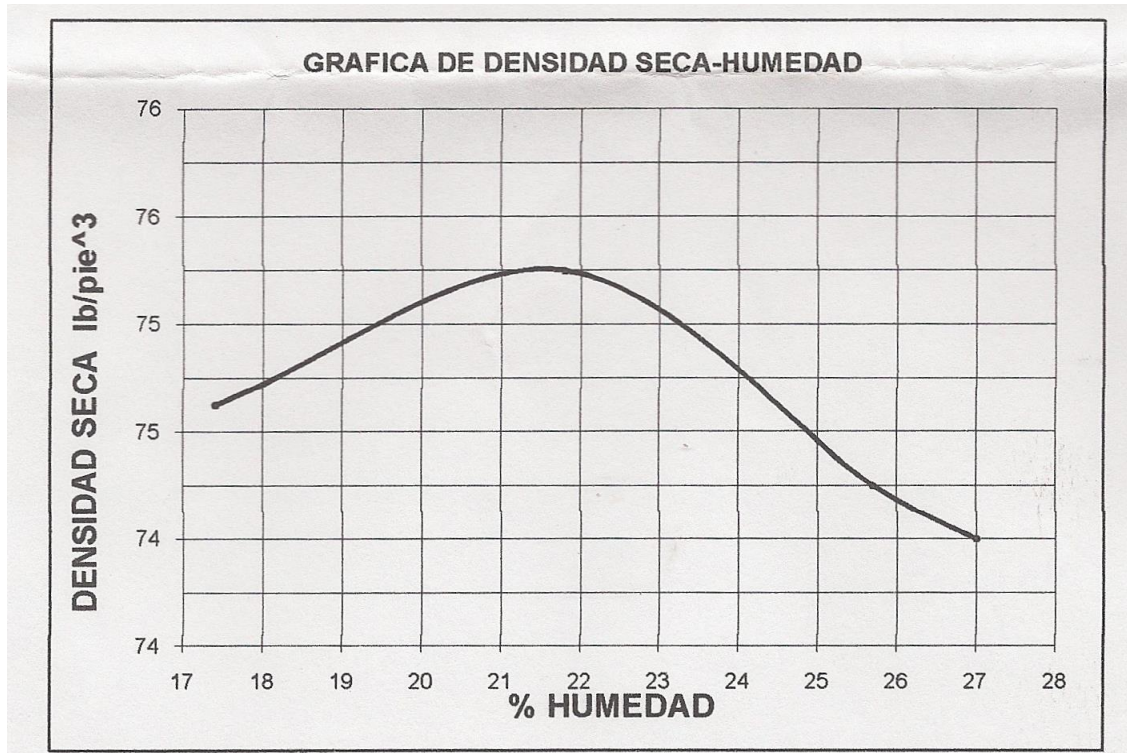
3.7.7.1. Contenido de humedad óptima

La humedad óptima de compactación en un suelo se conoce mediante la realización del ensayo denominado Proctor modificado, este ensayo se basa en las Normas A.A.S.H.T.O. T-180-01 y A.S.T.M. D1517-07

El resultado del ensayo se presenta a continuación:

Contenido de humedad óptima $H_{op} = 21,8 \%$

Figura 14. **Gráfica de compactación Proctor modificado**



Fuente: elaboración propia.

3.7.7.2. **Densidad seca máxima**

La masa del suelo está formada por partículas de sólidos y vacíos, si la masa del suelo se encuentra suelta, tiene mayor número de vacíos; al ser compactada la masa, y al agregar diferentes porcentajes de humedad, estos vacíos se reducen hasta llegar a un mínimo, en otras palabras: alcanza el menor volumen y el mayor peso.

La densidad se determina mediante la realización del ensayo denominado Proctor modificado, este ensayo se basa en las Normas A.A.S.H.T.O. T-180 y A.S.T.M. D1517-07.

El resultado del ensayo se presenta a continuación:

Densidad seca máxima $\gamma_d = 1208 \text{kg/m}^3 = 75,4 \text{lb/pie}^3$

3.7.7.3. Análisis de resultados

Con los resultados del ensayo del Proctor modificado, se determinó que la humedad óptima (Hop) de suelo del residencial El Socorro deberá de contar con el 21,8 %, con una densidad seca máxima γ_d es de 1208g/m^3 , para la reducción de vacío, aumentar la capacidad impermeable y la capacidad del suelo para soportar cargas.

3.7.8. Análisis para determinar la resistencia del suelo

El análisis es el del valor soporte del suelo el cual se define a continuación.

3.7.8.1. Valor soporte del suelo C.B.R.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un porcentaje de la relación de soporte. El porcentaje CBR está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, una probeta con una muestra estándar de material triturado.

El ensayo se realiza analizando diferentes condiciones de compactación del suelo, mismos que son analizados para determinar la expansión y C.B.R., este ensayo se basa en las Normas A.A.S.H.T.O. T-193.

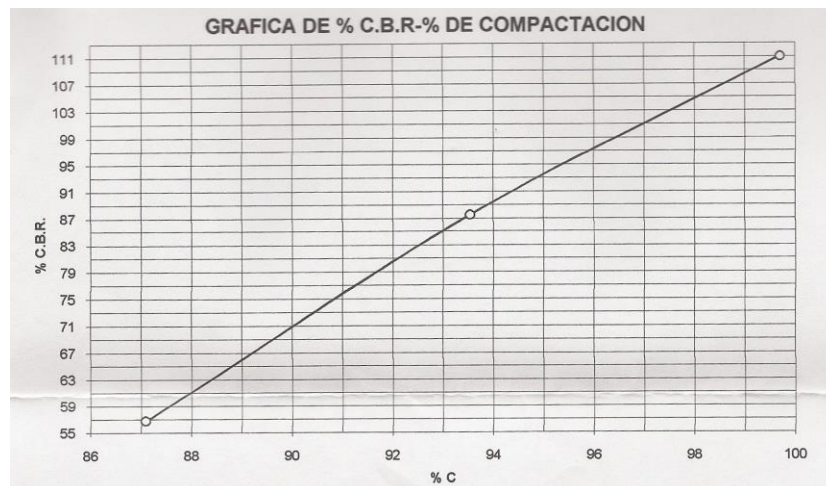
Los resultados del ensayo se presentan a continuación:

Tabla XVI. **Datos tabulados del ensayo CBR**

Probeta	Golpes	A la compactación		c	Expansión	C.B.R.
No.	No.	H (%)	yd (lb/pie3)	(%)	(%)	(%)
1	10	20,83	65,7	87,09	0,00	56,8
2	30	20,83	70,5	93,54	0,00	87,6
3	65	20,83	75,2	99,70	0,00	111,1

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Gráfica CBR**



Fuente: elaboración propia.

Según el resultado del ensayo se determina la resistencia del suelo, para lo cual en la tabla XVII se puede verificar la clasificación del suelo según el % C.B.R. obtenido.

Tabla XVII. **Resistencia del suelo**

% C.B.R.	Clasificación	Utilización en obra
0-3	Muy pobre	Subrasante
4-7	Pobre a regular	Subrasante
8-20	Regular	Subbase
21-50	Bueno	Subbase, base
51 o más	Excelente	Base

Fuente: elaboración propia.

El resultado del C.B.R en el suelo del residencial El Socorro es de 93 %, por lo que la clasificación es excelente, verificando que el suelo es apto para la base del pavimento.

3.8. Diseño del pavimento flexible

Este se describe en los siguientes subtítulos.

3.8.1. Análisis del tránsito del residencial El Socorro

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 %.

3.8.2. 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 utilizara el pavimento flexible específicamente debido a que el costo del pavimento rígido es más alto, 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.

3.8.3. 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 trazado 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.

3.8.4. 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 de Guatemala, sin embargo el diseño se estableció debido que ya se cuenta con una ruta determinada.

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 determinó que es una carretera tipo E, ya que el tránsito promedio diario es de aproximadamente 100, la topografía del terreno es en algunos tramos es plana y en otros con una pendiente mínima por lo cual se consideró una carretera ondulada, 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.

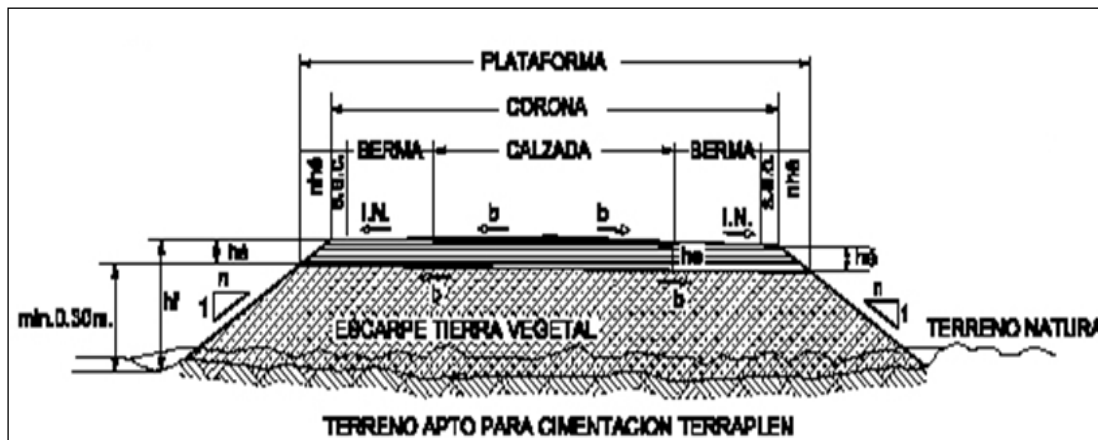
3.8.5. Sección transversal

La sección transversal de una carretera en un punto de esta es 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: anchura y pendiente transversal.

Figura 16. Sección transversal



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

3.8.6. Diseño horizontal

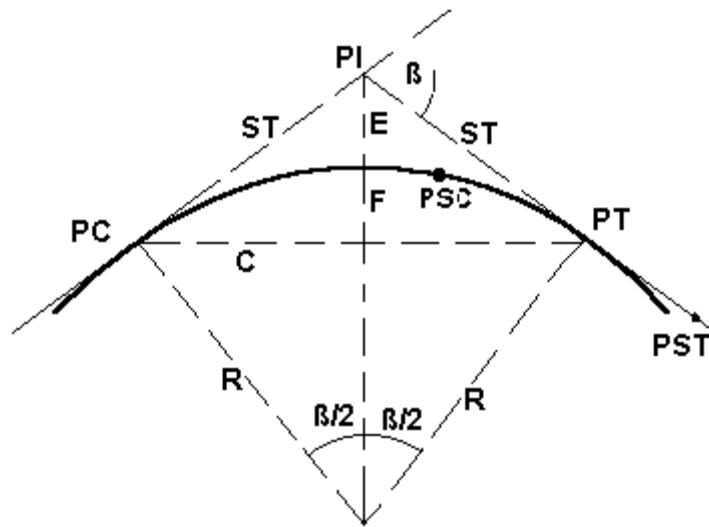
El diseño horizontal es la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal, los elementos que integran esta proyección son las tangentes y las curvas, sean estas circulares o de transición. El establecimiento del alineamiento horizontal depende de la topografía y características hidrológicas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

3.8.7. 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 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 17. **Elementos de la curva horizontal**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Donde

PIV = punto de intersección de las tangentes verticales

PCV = punto en donde comienza la curva vertical

PC = punto comienzo de curva

PT = punto término de curva

PI = punto de intersección de 2 alineamientos

ST = subtangente de la 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 mínima

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

$$\frac{G}{360} = \frac{20}{2 * \pi * R}$$

$$R = \frac{1\,145,9156}{G}, \text{ o } G = \frac{1\,145,9456}{R}$$

A continuación se describe el cálculo de cada una de las componentes de las curvas circulares:

- Longitud de curva (LC): es la longitud del arco comprendida entre el principio de curva (PC) y el principio de tangencia (PT).

$$Lc = \frac{\Delta * 20}{G} \text{ o } = \frac{2\pi R (\frac{\Delta}{360})}{1}$$

- Subtangente (St): es la distancia entre el principio de curva (PC) y el punto de intersección (PI), ya que la curva es simétrica, la distancia entre el punto de intersección (PI) y el principio de tangencia (PT).

$$St = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

- Cuerda máxima (Cm): es la distancia en línea recta desde el principio de curva (PC) al principio de tangencia (PT).

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

- External (E): es la distancia desde el PI al punto medio de la curva.

$$E = R * \left[\frac{(1 - \cos(\Delta/2))}{\cos(\Delta/2)} \right]$$

- Ordenada media (Om): es la distancia dentro del punto medio de la curva y el punto medio de la cuerda máxima.

$$O_m = R * [(1 - \cos(\Delta/2))]$$

A continuación se realizó un ejemplo donde se muestra la utilización de la anteriores formulas, basado en el cálculo real del tramo a pavimentar en el residencial El Socorro se utilizó el Pi=0+430.61 (punto de intersección de tangentes) R = 75m ya que es una carretera tipo E, ondulada.

Cálculo:

$$R = \frac{1\,145,9156}{G}, \text{ o } G = \frac{1\,145,9456}{47} = 24,38 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{(22^\circ 02' 47'') * 20}{24,38} = 5,29 \text{ m}$$

$$St = 47 * \tan\left(\frac{22^{\circ}02' 47''}{2}\right) = 2,65$$

$$Cm = 2 * 24,38 * \sin\left(\frac{22^{\circ}02' 47''}{2}\right) = 5,28 \text{ m}$$

$$E = 47 * \left[\frac{\left(1 - \cos\left(\frac{22^{\circ}02' 47''}{2}\right)\right)}{\cos\left(\frac{22^{\circ}02' 47''}{2}\right)} \right] = 0,074 \text{ m}$$

$$Om = 47 * \left[\left(1 - \cos\left(\frac{22^{\circ}02' 47''}{2}\right)\right) \right] = 0,074 \text{ m}$$

El estacionamiento principal será:

$$\text{Est.PT} = \text{Est.PC} + Lc = 0 + 435,90$$

Tabla XVIII. **Tabulación datos curvas horizontales**

Ubicación		Curva No.	PC	Δ	R	G	ST	Lc	Cm	Om	E	EST PT
Eje 1	116.400	1	0+116.40	46°33'21.8"	47.000	24.381	6.806	13.518	13.471	0.485	0.490	129.918
Eje 1	204.200	2	0+204.20	112°36'45"	47.000	24.381	12.701	24.810	24.523	1.628	1.686	229.010
Eje 1	274.150	3	0+274.15	40°38'56"	47.000	24.381	3.340	6.669	6.663	0.118	0.119	280.819
Eje 1	430.610	4	0+430.61	22°02'47"	47.000	24.381	2.646	5.286	5.283	0.074	0.074	435.896
Eje 1-6	75.580	5	0+75.58	121°24'25"	47.000	24.381	5.628	11.203	11.176	0.333	0.336	86.783
Eje 1-6	115.070	6	0+115.07	94°14'38"	47.000	24.381	4.230	8.438	8.427	0.189	0.190	123.508
Eje 2-1	37.700	7	0+37.70	86°43'51"	47.000	24.381	3.210	6.411	6.406	0.109	0.110	44.111
Eje 2-1	89.550	8	0+89.55	48°26'31"	47.000	24.381	37.826	63.701	58.936	10.385	13.331	153.251
Eje 2-1	259.650	9	0+259.65	39°46'40"	47.000	24.381	30.105	53.552	50.701	7.423	8.815	313.202
Eje 3	56.160	10	0+56.16	27°10'16"	47.000	24.381	24.120	44.570	42.918	5.185	5.828	100.730
Eje 4	3.700	11	0+03.70	33°18'32"	47.000	24.381	52.536	79.050	70.057	15.663	23.491	82.750
Eje 4-1	31.300	12	0+31.30	67°15'49"	47.000	24.381	38.369	64.356	59.445	10.591	13.673	95.656
Eje 4-1	71.080	13	0+71.08	35°48'23"	12.000	95.493	14.201	20.861	18.332	4.255	6.592	91.941

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVIII 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 los siguientes:

- 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.

Tabla XIX. Especificaciones para curvas circulares

G	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 XXI 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 dicha 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 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. 1 se tiene un $\Delta=46^\circ 33' 21.8''$ se busca un valor en la tabla XXI que se aproxime a este y se escoge el posible valor de G.

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

$$PC - LS/2 = 116,40 - 24 = 92,4$$

y terminarán en la estación:

$$PT + LS/2 = 204,20 + 24 = 228,2$$

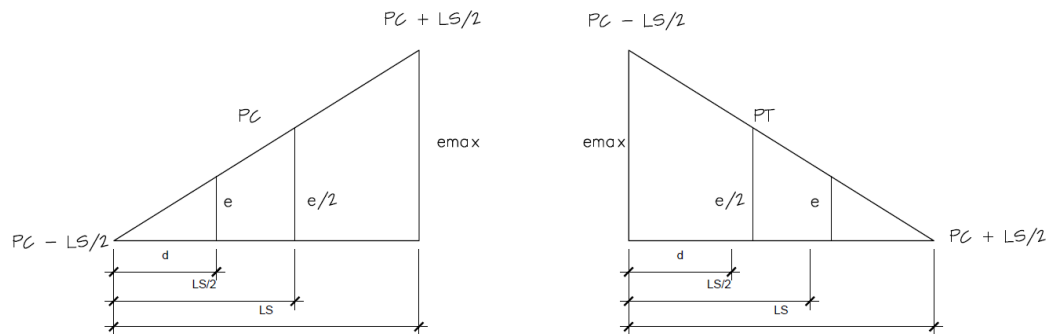
Como estos elementos se reparten proporcionalmente, tomando como punto intermedio el PC y PT, el peralte, sobre ancho y corrimiento tendrán la mitad del valor máximo en estos puntos; y en los puntos:

$$PC + LS/2 = 116,40 + 24 = 140,40$$

$$PT - LS/2 = 204,20 - 24 = 180,2$$

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 18, se ilustra el cambio proporcional del peralte, cuando se entra y sale de la curva horizontal.

Figura 18. Cambio proporcional del peralte



Fuente: elaboración propia con programa 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:

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

$$SA = \frac{d * a_{max}}{LS}$$

- 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 XX. **Cálculo de elementos de curva horizontal**

No. Curva	G	Radio	Vel. KPH	Especificaciones				LS/2	e%/LS	SA/LS
				e%	LS	Δ	SA			
1	24	46,55	40	10	39	46	1	24	0,256	0,033

Fuente: elaboración propia.

3.9. 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.

3.9.1. 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.

3.9.1.1. 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: la 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.

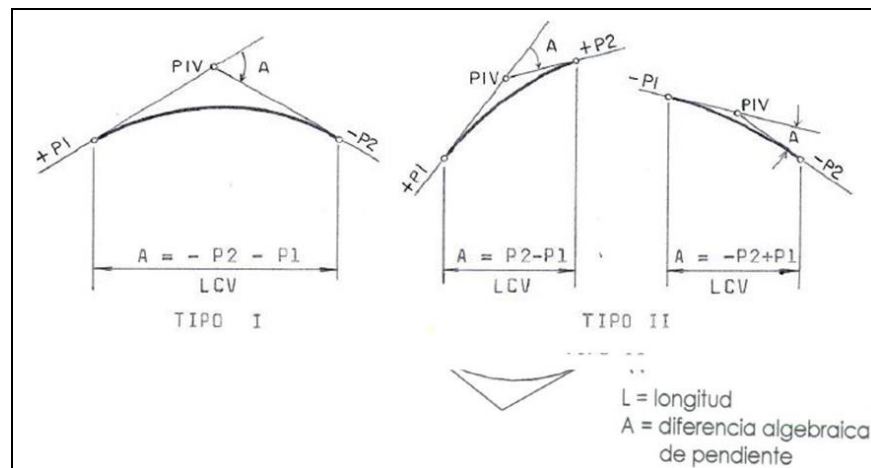
- Según las características geométricas de la presente pavimentación, la pendiente máxima que deberá utilizarse es del 9 %, según las características geométricas, tipo E, ondulada, pero como se observará en los planos, en algunas secciones no fue posible cumplir con esta pendiente, ya que debido a los 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: esta pendiente 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.

3.10. 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.

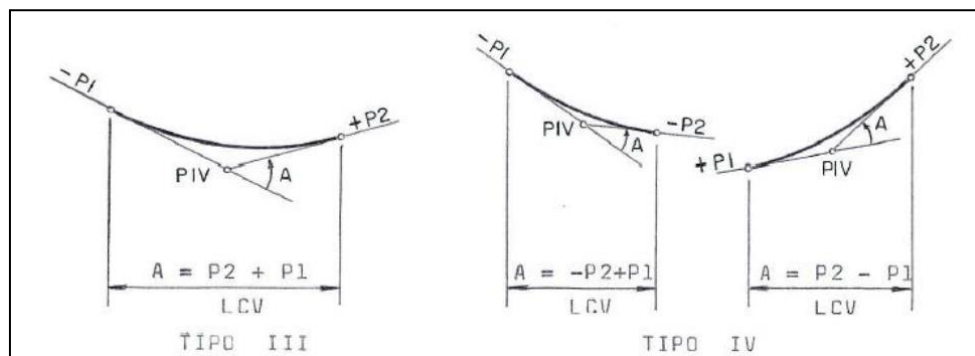
Generalmente, la curva vertical es el arco de una parábola, ya que se adapta bien al cambio gradual de dirección y permite el cálculo rápido de las elevaciones sobre la curva. Cuando las dos pendientes forman una especie de colina, la curva se llama convexa y cuando forman una depresión se llama cóncava.

Figura 19. **Curva convexa o cresta**



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

Figura 20. **Curva cóncava o columpio**



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

Donde

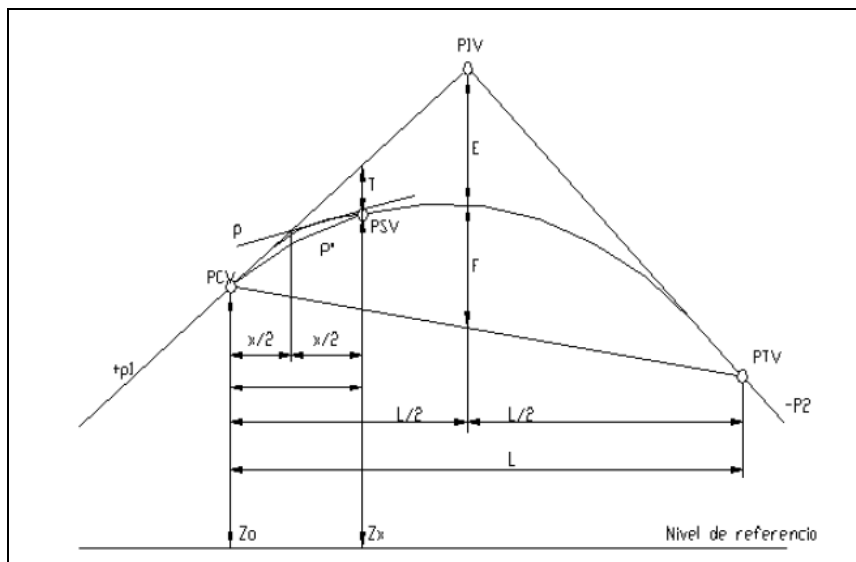
P1 = pendiente de entrada

P2 = pendiente de salida

A = diferencia de pendientes

LVC = longitud de curva vertical

Figura 21. **Elementos de la curva vertical**



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

Donde

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

p1 = pendiente de la tangente de entrada, en m/m

p_2 = pendiente de la tangente de salida, en m/m
 A = diferencia algebraica dependientes
 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
 Z_o = elevación del PCV, en metros
 Z_x = 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

D_p = distancia de visibilidad de parada (m)
 V = velocidad de diseño de la carretera (Kph)
 t_{pr} = tiempo de percepción + reacción (seg)
 f = coeficiente de fricción, pavimento húmedo
 i = pendiente longitudinal (decimal)
 $+i$ = subida respecto al sentido de circulación
 $-i$ = bajada respecto al sentido de circulación

Tabla XXI. **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	0,52	3
40	0,512	3
45	0,504	3
50	0,496	3
60	0,48	2,833
70	0,464	2,666
80	0,448	2,5
90	0,432	2,333
100	0,416	2,167
110	0,4	2

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, ondulada, la distancia de visibilidad de parada mínima es de 40 metros y la recomendada es de 50 metros.

3.10.1. 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 XXII. **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.

3.10.2. Criterio para el diseño de curvas verticales

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

3.10.2.1. 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

3.10.2.2. Criterio de apariencia

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

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

3.10.2.3. 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:

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

3.10.2.4. 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:

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

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.8, en donde se escogió una longitud de curva vertical LCV = 50m (Ver Tabla XXV), se tiene un $\Delta = P_s - P_e = 9,70\% - (-5,416) = 15,116\%$. Entonces la ordenada media es:

$$OM = \frac{15,116}{800} * 50 = 0,945$$

Las correcciones se calculan de la siguiente manera (tomando como ejemplo la estación 0 + 125):

$$Y = \frac{0,945}{\left(\frac{50}{2}\right)^2} * (125,26 - 175,26)^2 = 3,78$$

Subrasante corregida = subrasante + Y

Subrasante corregida = 103,06 + 3,78 = 106,84

Tabla XXIII. **Tabulación de curvas verticales**

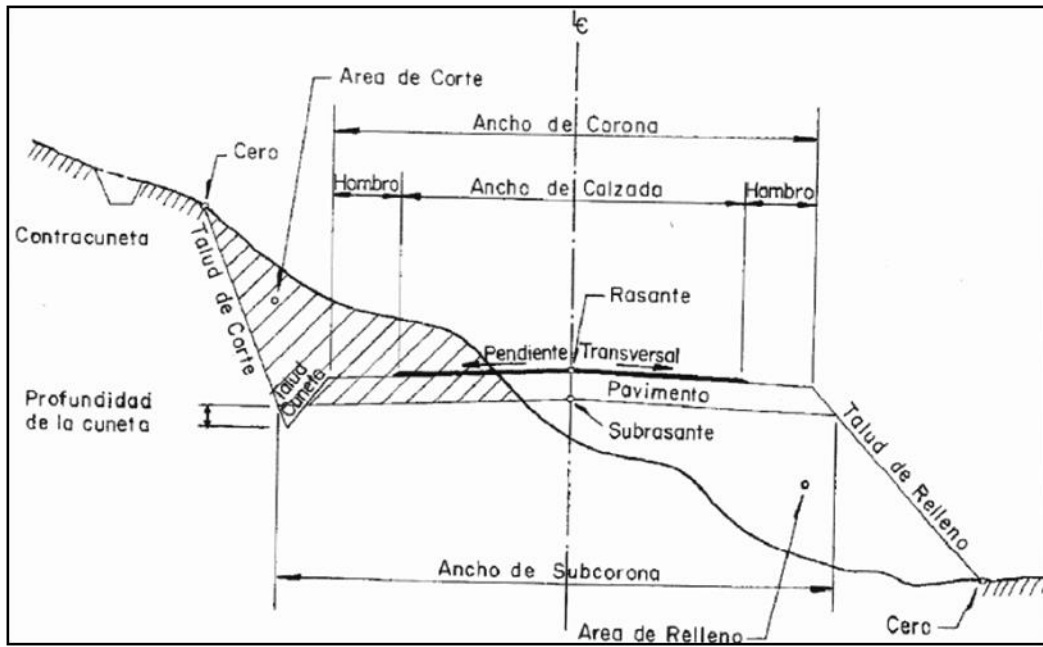
No. Curva	Pe	Ps	K	Δ	LCV	OM	Est	EST PIV	D²	(LCV/2)²	Corrección (Y)	Subrasante	Subrasante
1	-8.6	9.06	6	17.66	50	1.10375	40.00	97.758	3335.987	625	5.89135227	103.342	109.233
2	9.06	15.8	4	6.74	50	-0.42125	66.76	76.575	96.39312	625	-0.06496897	110.29	110.225
3	15.8	9.7	4	-6.1	50	0.38125	92.97	117.97	625	625	0.38125	110.85	111.231
4	9.7	-5.416	4	15.116	50	0.94475	125.26	175.26	2500	625	3.779	106.84	110.619
5	-5.416	-2.36	4	3.056	40	-0.1528	274.81	294.807	400	400	-0.1528	113.38	113.227
6	-2.36	4.28	4	6.64	50	-0.415	229.46	309.455	6400	625	-4.2496	118.48	114.230
7	4.28	1.2	4	-3.08	50	0.1925	318.67	338.67	400	625	0.1232	115.1108	115.234
8	1.2	-12.66	6	-13.86	50	-0.86625	350.84	370.846	400.12	625	-0.55456633	116.788	116.233
9	-12.66	-3.29	4	9.37	50	-0.585625	380.35	400.351	400	625	-0.3748	117.608	117.233
10	8.4	15.11	4	6.71	50	-0.419375	60.84	80.8735	401.5415	625	-0.26943433	118.503	118.234
11	15.11	-7.57	4	-22.68	50	1.4175	85.09	125.09	1600	625	3.6288	115.605	119.234

Fuente: elaboración propia.

3.11. 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 22. **Sección transversal en tangente**



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

3.11.1. 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 XXIV. **Valores de bombeo según 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 sobreelevación: 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. Los anchos de carril usado actualmente son de 2,75 m, 3,00 m, 3,25 m y 3,60 m, proyectándose los anchos de calzada con dos, tres o más carriles.

 - 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 y a 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 sobreamplio 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 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 en 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.

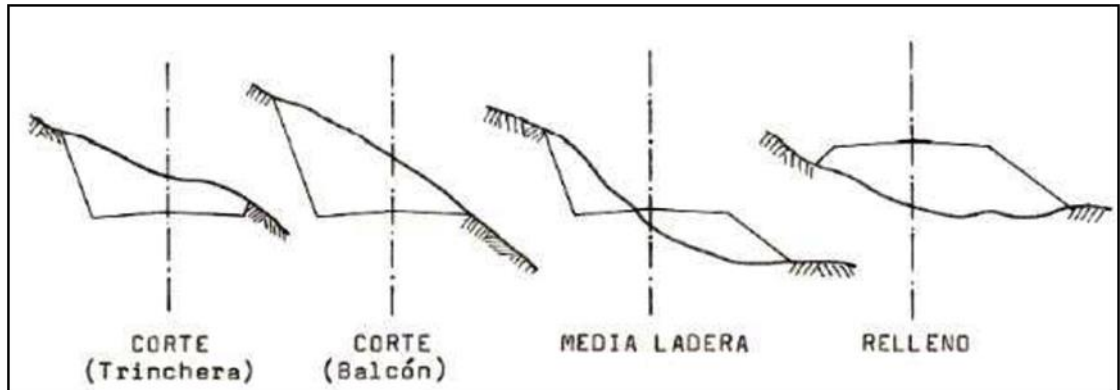
- Contracunetas: son canales que se construyen en uno o en ambos lados de la carretera, paralelamente a ella y fuera de los límites de construcción, con el fin de drenar el agua de lluvia que cae sobre las áreas contiguas a dichos límites.
- Rodadura: es la parte de la corona destinada al tránsito de 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.

3.12. 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 está 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 figura 23.

Figura 23. **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 poder 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 XXV. **Inclinación de taludes**

Talud de corte			Talud de relleno		
h (m)	horizontal	vertical	h (m)	horizontal	vertical
0 a 3	1	1	0 a 3	1	1
3 a 7	1	2	más de 3	1	2
más 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.

3.13. 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.

3.14. 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 costo global mínimo que incluya los costos 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

3.15. Período de diseño

Un pavimento debe ser diseñado para soportar los efectos acumulados del tránsito para cualquier período; 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 sobrecarpeta de refuerzo para restaurar la condición original. La vida útil del pavimento, o período de análisis, puede ser extendida indefinidamente, a través de sobrecarpetas 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 XXVI. **Períodos de diseño en función del tipo de carretera**

Tipo de carreteras	Periodo de diseño
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30-50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20-50 años
Pavimentada con bajo volúmenes de tránsito	13-25 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. 83.

3.15.1. 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.

3.15.2. 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 *pick-ups*; 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 tipo 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.

3.15.3. 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 dado, de la variación, de tasa de crecimiento y 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.

3.15.4. 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 determinado para el diseño del residencial El Socorro es de 100-500; el mismo fue establecido después de realizar el conteo de vehículos que circulan actualmente por dicho sector y las posibles interconexiones de carreteras de los residenciales contiguos.

3.16. 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.

3.17. 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

3.18. Confiabilidad

La confiabilidad está definida como la probabilidad de que un pavimento desarrolle la función durante la vida útil en condiciones adecuadas para 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 secundaria, es de 80.

Tabla XXVII. **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. 25.

3.19. Diseño de la estructura del pavimento flexible

En el residencial El Socorro se realiza el diseño de la carretera basándose en un T.P.D en un aproximado de 100-500, tomando en consideración futuras áreas de afluencia.

Tabla XXVIII. 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: Secciones típicas. Departamento de carreteras, Dirección General de Caminos.

Tabla XXIX. **Valores límites recomendados para las características de la carretera en estado final**

T.P.D.DE	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE TERRACERÍA		DERECHO DE VIA	RADIO MINIMO	PENDIENTE MAXIMA (m)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA		DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PASO	
				CORTE (m)	RELLEN O (m)				MINIMA (m)	RECOMEND ADA (m)	MINIMA (m)	RECOMEND ADA (m)
3000 A	TIPO "A"		2X7.20	25	24	50						
	RENGLONES											
	LLANAS	100					375	3	160	200	700	750
	ONDULADAS	80					225	4	110	150	520	550
1500 A	TIPO "B"		7.20	13	13	25						
	RENGLONES											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
900 A	TIPO "C"		6.50	12	11	25						
	RENGLONES											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
500 A	TIPO "D"		6.00	11	10	25						
	RENGLONES											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
100 A	TIPO "E"		5.50	9.50	8.50	25						
	RENGLONES											
	LLANAS	50					75	8	55	70	260	300
	ONDULADAS	40					47	9	40	50	180	200
10 A	TIPO "F"		5.50	9.50	8.50	15						
	RENGLONES											
	LLANAS	40					47	10	40	50	180	200
	ONDULADAS	30					30	12	30	35	110	150
	MONTAÑOSAS	20					18	14	20	25	50	100

Notas:

1 T.P.D.=Promedio de Tráfico Diario

2 La sección típica para carreteras Tipo "A" , incluyen isla central de 1.50 m de ancho

3 La calidad de la capa de recubrimiento de la calzada podrá ser para carreteras Tipo "A": hormigón, concreto asfáltico (frío o caliente) o tratamiento superficial múltiple: para tipo "B" y "C": concreto asfáltico (frío o caliente) o tratamiento superficial doble: para tipo "D" tratamiento superficial doble para tipo "E" tratamiento superficial doble y para tipo "F" recubrimiento de material selecto. Los recubrimientos para las carreteras, desde el tipo "A" al "E" , dependerán de las características mecánicas del suelo y de las propiedades de los materiales de construcción de la zona.

Fuente: Departamento de Carreteras. Dirección General de Caminos. *Secciones típicas*. p. 39.

Datos para el diseño de la carretera:

- TPD: 100 - 500 vehículos diarios
- Período de diseño 15 años
- Tasa de crecimiento anual de 2 %
- Tasa de crecimiento vehicular 17,29 % según tabla XXIX.
- Tipo de carretera: TIPO E según el TPDA
- Ancho de calzada: 5,50 metros
- El tipo de región de la carretera es ondulada.

Tabla XXX. Factores de crecimiento de tránsito

Periodo de analisis (años)	Factor sin crecimiento	Tasa de crecimiento anual (g) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1	1	1	1	1	1	1
2	2.0	2.2	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.1
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	5.2	5.42	5.53	5.64	5.75	5.84	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.8	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.9	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.9	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	14.94	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	14.65	16.63	17.71	18.88	20.14	21.5	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	23.6	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.7	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34	37.45	45.6
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.3	29.78	33.06	36.79	41	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	56.05	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*. p. 65.

La tasa de crecimiento anual es del 2 %, el período de análisis es de 15 años de diseño, se trabaja con un factor de crecimiento de tránsito del 17,29 %.

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


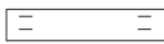




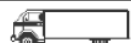







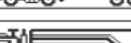

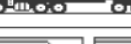



- Velocidad de diseño 40 km/h
- Derecho de vía es de 25 m
- Radio mínimo es de 47 m
- Pendiente máxima de 9 %

Tabla XXXI. **Distribución de tránsito para el diseño de la carretera**

Tipo de vehículo	Peso del vehículo (ton)	% de vehículos	Cantidad de vehículos
Ap	20	18,44	95
AC	4,9	23,30	120
B	12,5	53,40	275
C2	15,5	5,00	25
			515

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. 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
					C3
		3			T2 - S1
					T2 - S2
		4			T3 - S2
		5			T2 - S1
			R2		

Fuente: Departamento de Carreteras. Dirección General de Caminos. *Secciones típicas*. p. 52.

Tabla XXXII. **Cálculo 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"
Vehiculo sencillo		6%			2
Auto	115	36.79	1,544,260.25	0.003	4,632.78
Camion sencillo, 1 eje	B	2%			
Pick-up	98	24.3	869,211	5.21	4,528 589.31
Otros vehiculos, 2 ejes y 4 ruedas	56	24.3	496,692.00	5.21	2,587 765.32
Camion, 2 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.

Cálculo:

- Factor de dirección 0,5, Factor de carril: 0,9
- ESAL´s por carril de transito $0,5 \times 0,9 \times 5\,730\,442,13 = 2\,578,69$

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

En la columna B 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.

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, tabla XXXVX 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 XXXIII. **Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2,0**

Carga p/eje (kips)6	Número estructural (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.01	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.09	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	0.35	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1	1	1	1	1	1
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	3.4	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	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24	25.1
40	39.6	38	34.3	30.9	30	31.2
42	49.7	47.7	43	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73	65.6	58.3	55.7	57
48	92.9	89.1	80	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

Fuente: ASSHTO. *Manual Centroamericano de Pavimentos*. p. 85.

3.20. 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 24 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 5 730 443,13
- 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 0,35. 0,40
 - En sobrecapas 0,50

El módulo de resiliencia efectivo (que tome en cuenta las variaciones a lo largo del año) de la subrasante (M_r). 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 (M_r) con el CBR, el valor R y el índice de suelo, se han dado correlaciones para encontrar el valor del módulo de resiliencia (M_r) como la siguiente relación:

$$M_r = B \times \text{CBR}$$

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

La pérdida de serviciabilidad $PSI = P_o - P_t$

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

Cálculo:

- La cantidad estimada de ejes equivalentes (ESAL's) 5 730 443,13
- La desviación estándar pavimentos flexibles: 0,4

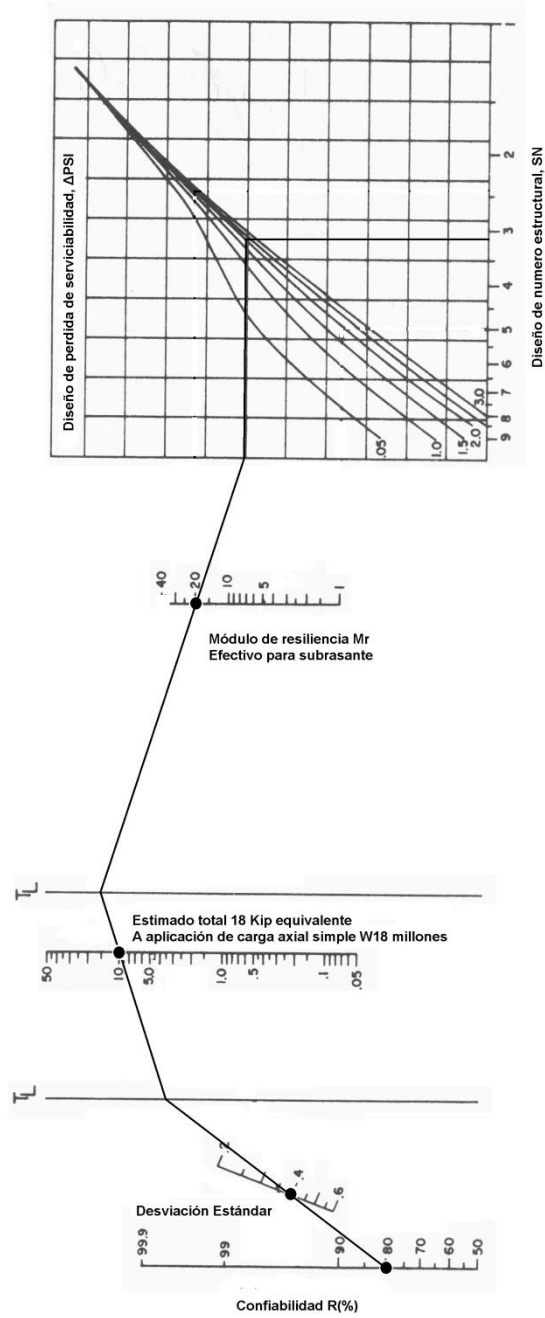
- La confiabilidad (R) 80 %
- La pérdida de serviciabilidad PSI: 2,2
- Módulo de resiliencia con ayuda de la tabla XXXV

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

Material	Mr
Capa asfáltica	400 000
Base	35 000
Subbase	24 000
Subrasante	20 000

Fuente: ASSHTO. *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. p. 32.

Figura 25. **Diseño de número estructural**



Fuente: AASHTO. *Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos*. p. 35.

De acuerdo a los Módulos de Resiliencia (M_r) se obtienen los números estructurales de diseño (SN), utilizando el ábaco de la figura 24, 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 estándar 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 T_L 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 5×10^6 ESAL's = 5,935410 = 6 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) = 2 0000 = 20 que está en la tabla XXXV 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 2,75 (para proteger la subrasante) que es el número estructural requerido para proteger toda la estructura del pavimento.

Tabla XXXV. **Tabla de valor del número estructural**

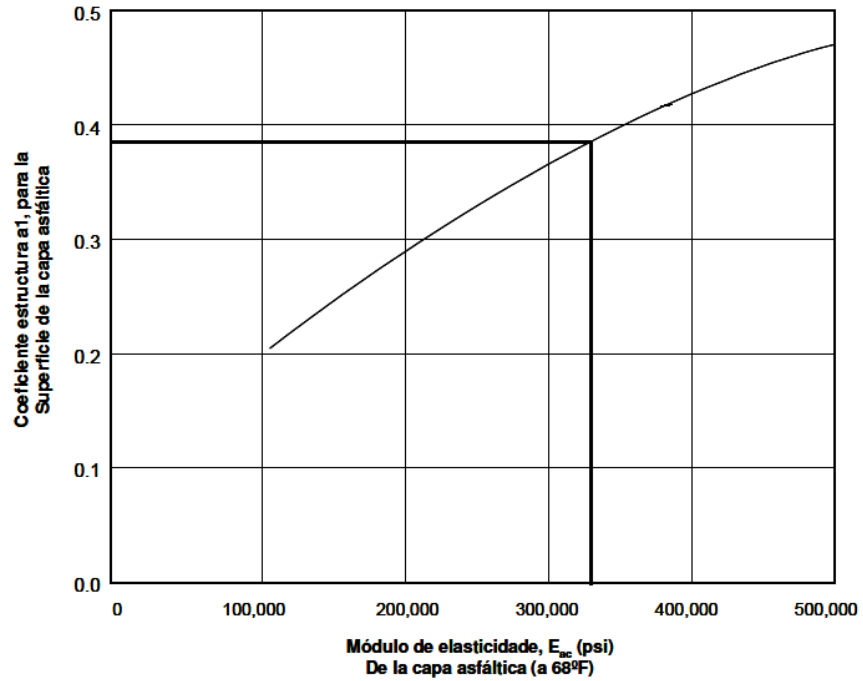
Material	SN
Capa Asfáltica	2,2
Base	2,3
Subbase	2,6
Subrasante	2,75

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 25, conociendo el valor de 400 000, de la capa asfáltica, se procede a encontrar el valor correspondiente en la gráfica, $a_1 = 0,35$.

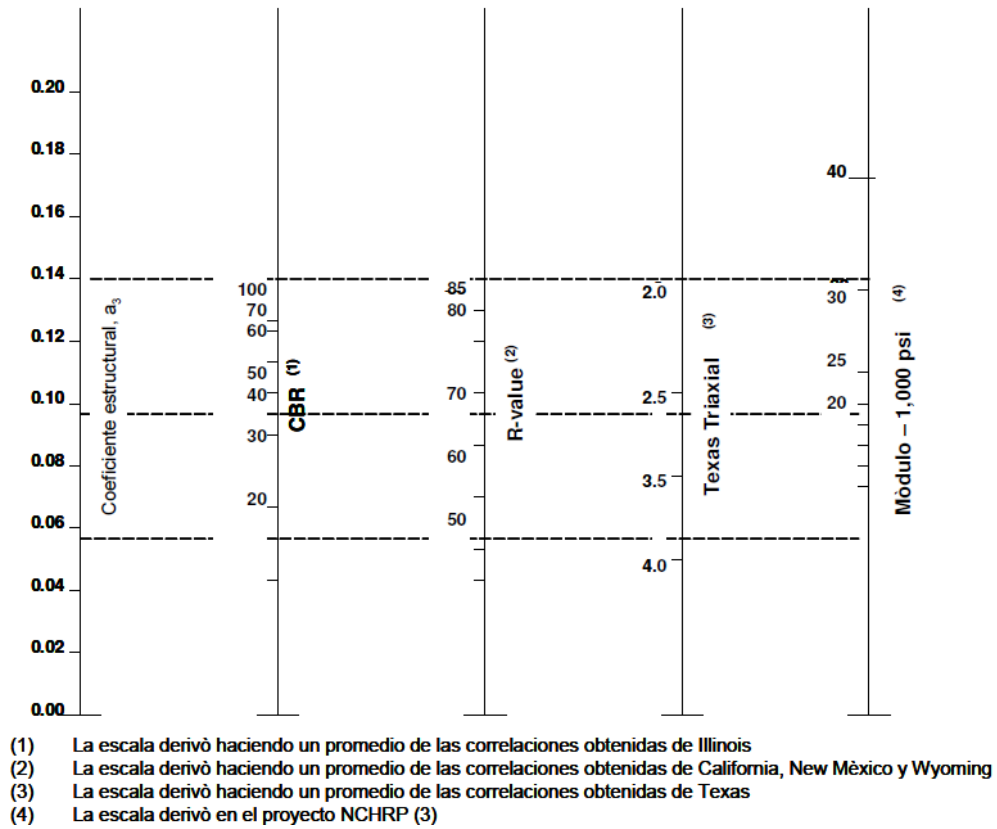
Figura 26. **Coefficiente estructural a partir del módulo elástico del concreto asfáltico**



Fuente. AASHTO. *Guía para el diseño de estructuras de pavimentos*. p 62.

Para tener el coeficiente de capa a_2 de las bases trituradas, se usa la figura 26, donde con los valores que se tienen se traza una línea de derecha a izquierda hasta encontrar la línea vertical del coeficiente.

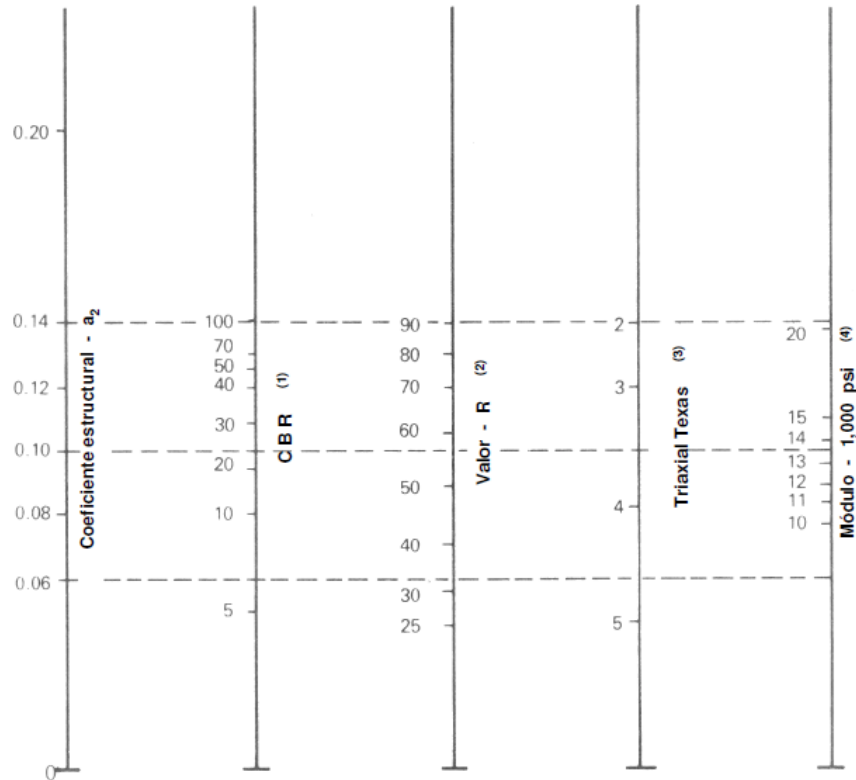
Figura 27. Variación en el coeficiente estructural de la capa base



Fuente: AASHTO. *Guía para diseño de estructuras de pavimentos*, p. 33.

Para encontrar el coeficiente de capa a3 de la subbase se hace uso de la figura 27, al igual que en el caso anterior se traza una línea horizontal del extremo derecho al izquierdo hasta encontrar la vertical.

Figura 28. Variación en el coeficiente estructural de la capa subbase



Fuente: AASHTO. *Guía para diseño de estructuras de pavimentos*. p. 54.

Tabla XXXVI. Resumen de datos

Material		SN		ax		Mi
Capa asfáltica		2,2	a_1	0,48		
Base	SN_1	2,3	a_2	0,17	m_1	1,3
Subbase	SN_2	2,6	a_3	0,14	m_2	0,7
Subrasante	SN_3	2,75				

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:

$$D1 \geq \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2,3}{0,48} = 4,79 \quad \text{utilizando } 5 = 12,7 \text{ cm}$$

Entonces el SN1*absorbido por el concreto asfáltico.

$$SN_1 = a_1 * D1 = 0,48 * 5 = 2,4$$

Después de calcula el espesor mínimo de la capa base.

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

$$D2 \geq \frac{2,6 - 2,3}{0,17 * 0,7} = 2,52 \quad \text{utilizando } 3 = 7,62 \text{ cm}$$

Entonces el SN2* absorbido por la base.

$$SN2 = a_2 * m_2 * D_2$$

$$SN2 = 0,17 * 0,7 * 2,52 = 0,3$$

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

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

$$D3 \geq \frac{2,75 - (0,3 + 2,4)}{0,14 * 1,3} = 0,27 \quad \text{utilizando } 1 = 2,54 \text{ cm}$$

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

Capa	Espesor en pulgadas	Espesor en centímetros
Subbase	1"	2,54 cm
Base	3"	7,62 cm
Carpeta	5"	12,7 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 XXXVIII. **Espesores mínimos sugeridos**

Número de ESAL's	Capa asfáltica	Base granular
Menos de 50 000	3 cm	10 cm
50 000 – 150 000	5 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 cm	15 cm
Más de 7 000 000	10 cm	15 cm

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

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

Cantidad de ejes equivalentes	Condición de tránsito	Espesores mínimos de la capa asfáltica (cm)
Hasta 10 000	ligero	7,5
Entre 10 000 y 1 000 000	mediano	10
Mayor de 1 000 000	pesado	12 ,5 o más

Fuente: *Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos*. p. 32.

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 XL. **Espesores del proyecto**

Capa	Espesor de la capa (cm)
Subrasante	30
Base	15
Carpeta	10
Total	55

Fuente: elaboración propia.

En el caso del pavimento flexible:

- Ancho de terracería de 6,00 metros
- Bombeo de 2 %
- Reacondicionamiento de subrasante: se reacondicionará la subrasante existente, escarificando 0,30 centímetros.
- 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, 10 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:

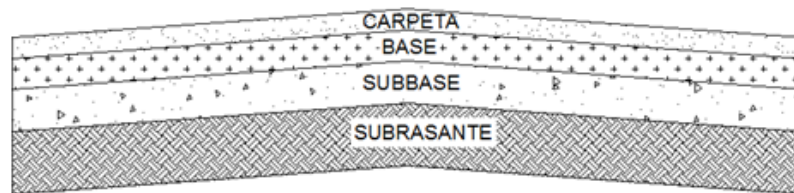
Tabla XLI. **Grados de asfalto de acuerdo con el tipo de clima**

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). p. 45.

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

Figura 29. **Detalle de garabito**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.20.1. 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.

3.20.1.1. 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.

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

Características	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Tolerable
Tamaño máximo (mm)	76	76	76
% de finos	---	---	---
Limite líquido %	30 max	40 max	50 max
Indice 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.

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 %.

3.20.1.2. 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.

3.20.2. 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 proporciona suficiente soporte, para poder trabajar de acuerdo con este espesor.

3.20.2.1. 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 $\frac{2}{3}$ 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 XLIII. **Características del material de la subbase**

Características	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Tolerable
Tamaño máximo (mm)	51	51	76
% de finos	15 max	25 max	10 min
Limite 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	45min	30 min	
CBR %	40 min	30 min	30 min

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

3.20.2.2. 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.

3.20.3. 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.

3.20.3.1. 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 el 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 XLIV. **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 %	100 min	80 min

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

3.20.3.2. 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.

3.20.4. 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 poder 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.

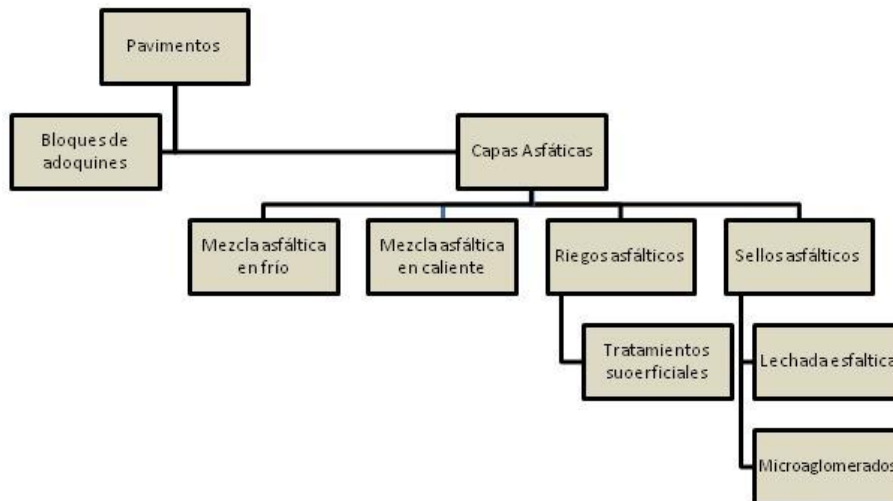
El contenido óptimo de asfalto para una carpeta es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con un espesor suficiente para resistir los elementos del interperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia 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 30. Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles



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

3.20.4.1. 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 rodadura para tráfico liviano y mediano, como base de pavimentos flexibles para tráfico 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).

3.20.4.2. Material adecuado para la capa de rodadura

Superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para pasar minimizados los esfuerzos hacia las traserías. 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 XLIII:

Tabla XLV. **Especificaciones del cemento asfáltico**

Tipo y grado de cemento asfáltico	Especificación
Graduación por viscosidad AC-10 AC-20 AC-40	AASHTO M 228
Graduación por viscosidad 40 -50 60-70 85-100 120-150	AASHTO M 20
Graduación por viscosidad 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.

3.20.4.3. 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 poder 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.

3.20.5. 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.

3.20.5.1. 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.

3.20.5.2. 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 en 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 obra, por lo que la solución adoptada debe tener en cuenta dos condicionantes adicionales:

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

3.20.6. 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 desfogue, 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.

3.20.6.1. 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.

3.20.6.1.1. 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.

3.20.6.2. 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.

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 reducidas 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 = longitud del cauce desde la cabecera de la cuenca tributaria (m)

H = desnivel de dicho cauce (m)

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 XLVI. **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%	0,30	0,50	0,60
	5-10%	0,40	0,60	0,70
	10 -30%	0,50	0,70	0,80
Potreros	<5%	0,10	0,30	0,40
	5-10%	0,15	0,35	0,55
	10 -30%	0,20	0,40	0,60
Bosques	<5%	0,10	0,30	0,40
	5-10%	0,25	0,35	0,50
	10 -30%	0,30	0,50	0,60

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 953,78 m y el desnivel es de 31,93 m. Aplicando la ecuación del tiempo de concentración se tiene que el $T_C = 5 \text{ min}$.

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_{Tr} = 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 XLVII. **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	5	10	20	25	30	50	100
A	5843	1991	1150	1321	1315	1221	1215	1217
B	25	14	11	13	13	12	12	12
N	1.037	0.769	0.016	0.633	0.63	0.61	0.61	0.61
R2	0.998	0.998	0.976	0.975	0.975	0.97	0.974	0.97

Fuente: INSIVUMEH, *Informe de intensidad de lluvia*, p. 25

$$i_{Tr} = \frac{1150}{(11+5)^{0.616}} = 206 \text{mm/hr}$$

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).

$$A = 5722,68 \text{m}^2 = 0,572 \text{ha}$$

$$Q = \frac{206 * 0,30 * 0,572}{360} = 0,098 \text{m}^3 / \text{s} = 98,19 \text{ts} / \text{s}$$

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

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

Donde

Q = es el caudal desaguado por la cuneta en m³/s

V = es la velocidad media de la corriente en m/s

K = es el 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 XLVIII. **Coeficiente 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
		20-25
Encachado		35-50
Revestimiento bituminoso		65-75
Hormigón proyectado		45-60
Tubo corrugado	Sin revestir	30-40
	Revestido	35-5
Tubo de fibrocemento	Sin juntas	100
	Con juntas	85
Tubo o cuneta de hormigón		60-75

Fuente: INSIVUMEH. *Informe de intensidad de lluvia*. p. 23.

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 0,60m, H=0,30 m.

$$R_h = \frac{H * 5^{1/2}}{6} = R_h = \frac{(0,30) * 5^{1/2}}{6} = 0.11m$$

$$A = \frac{5H^2}{4} = A = \frac{5(0,30)^2}{4} = 0.11m^2$$

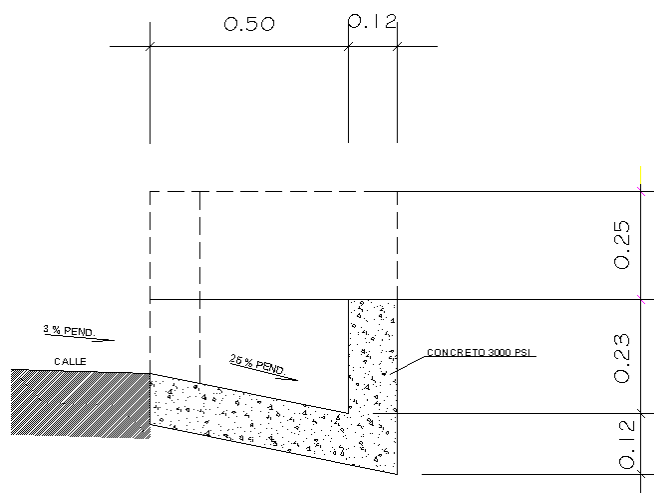
Si $Q_{\text{manning}} > Q_{\text{diseño}}$ la altura de cuneta cumple.

$$Q_{\text{manning}} = 67 * 0,11 * 0,11^{2/3} * 0,008^{1/2} = 0,15m^3 / s = 150\text{ts} / s$$

El Q_{manning} es mayor que el $Q_{\text{diseño}}$,

$$Q = 150\text{ts} / s > Q_{\text{diseño}} = 98,19\text{ts} / s$$

Figura 31. Dimensiones de cuneta



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD

Los principales elementos de desagüe superficial empleados en carreteras son los sumideros, estos elementos 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.

3.20.7. 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:

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

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

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

Donde

D = diámetro

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

Coeficiente de rugosidad para tuberías de concreto n = 0,013 φ>24",
n=0,015 φ<24". Coeficiente de rugosidad para tuberías de P.V.C. n = 0,009.

$$Q = 9,82 \text{ m}^3 / \text{s}$$

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

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

$$D = \left[\frac{Q * 4^{5/3} * n}{S^{1/2} * \pi} \right] = \left[\frac{9,82 * 4^{5/3} * 0,009}{0,3^{1/2} * \pi} \right]^{3/8} = 0,78 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0,78)^2}{4} 0,47\text{m}^2$$

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 36".

3.21. Evaluación de Impacto Ambiental

En los subtítulos siguientes se determinan los factores del medio que serán afectados por la realización del proyecto.

Tabla XLIX. Matriz de Leopold, pavimentación residencial El Socorro

Medio	Componentes		Construcción				Operación				Abandono				Total					
			Etapas de actividades Componente ambiental y social	Desechos sólidos	Desechos líquidos	Emanaciones gaseosas	Ruido	Desechos sólidos	Desechos líquidos	Emanaciones gaseosas	Ruido	Desechos sólidos	Desechos líquidos	Emanaciones gaseosas		Ruido				
																	Gases y Partículas en Suspensión		Subterráneas	
Características Físicas y Químicas Suelo y Agua	Etapas de actividades Componente ambiental y social	Gases y Partículas en Suspensión		0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3		
		Subterráneas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Superficiales		-3	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	
	Calidad		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Cantidad		0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Polvo		-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Olor		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Anfibios y reptiles		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Mamíferos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Aves		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Condiciones Biológicas	Residencial (rural)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
	Estética e Interés Humano		0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6
Factores culturales	Salud y seguridad		0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	9
	Empleo		3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	Relaciones sociales		-3	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6
Vegetación	Latifoliadas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sotobosque		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		-6	0	0	3	-6	18	9	3	9	3	0	0	0	0	0	0	0	24	

Fuente: elaboración propia.

Con el resultado de Matriz de Leopold se deberán de implementar medidas de mitigación para todo aquel factor o actividad que afecte el cualquier componente ambiental.

- Agua:
 - Fase de construcción: evitar cualquier ruptura de tubería de alcantarillado sanitaria, y que esta llegue hacia algún área hídrica, para lo cual se deberá contar con personal capacitado y materiales para cualquier reparación que se requiera.
Evitar derrames de cualquier tipo de químicos aditivos que se utilice en la ejecución del proyecto o que se requiera para la operación de la maquinaria, en áreas hídricas o fuentes que se utilicen en el proyecto.
 - Fase de operación: realizar mantenimiento constante en los elementos que constituyen las redes de alcantarillado sanitario y pluvial.
- Aire:
 - Fase de construcción: la aplicación de agua en los tramos que se trabajen y alrededores para que el polvo, no se levante y ocasione molestias y enfermedades a los habitantes del aérea.
La contaminación auditiva, producto de la utilización de la maquinaria y equipo, deberá mitigarse realizando los trabajos en horas hábiles.

- Suelo:
 - Fase de construcción: el suelo extraído debido a la excavación por zanqueo, se incorporará de nuevo a las mismas y el sobrante se esparcirá en el terreno.
El suelo extraído y que no servirá para relleno se deberá buscar el acomodamiento correcto del sitio donde se harán los depósitos de tierra, compactando de manera adecuada.

- Sociocultural:
 - Fase de construcción: instalar letrinas y basureros provisionales, para utilización de los trabajadores, así se evita contaminar los alrededores y provocar enfermedades o molestias a los vecinos.
La circulación peatonal y vehicular podría verse interrumpida, por tal razón, se deberá señalizar e informar los días y horas en que podría suceder.

3.22. 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 L. Presupuesto de pavimento flexible en quetzales

PRESUPUESTO DEL PROYECTO					
PAVIMENTACION EN RESIDENCIAL EL SOCORRO, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA					
PRESUPUESTO DEL PROYECTO					
PROYECTO:		PAVIMENTACION EN RESIDENCIAL EL SOCORRO, MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA			
No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	PAVIMENTACIÓN DE CALLE	2.33	km	Q 1,289,062.06	Q 3,003,514.61
1.1	Reacondicionamiento de Sub-Rasante existente	2,330.00	m ²	Q 28.30	Q 65,939.00
1.2	Capa de base, espesor = 0.15m	1,920.00	m ³	Q 173.54	Q 333,196.80
1.3	Riego de imprimación	3,840.00	Galones	Q 31.20	Q 119,808.00
1.4	Pavimento de concreto asfáltico en caliente, espesor = 0.10m	1,279.85	m ³	Q 1,543.20	Q 1,975,064.52
1.5	Cuneta	2,124.37	m ²	Q 156.20	Q 331,826.59
1.6	Bordillo	1,081.80	m	Q 103.50	Q 111,966.30
1.7	Señalización horizontal con pintura termoplástico para línea central de 0.10m de ancho y 0.002m de espesor, color amarillo.	2.33	km	Q 27,520.00	Q 64,039.04
1.8	Señalización horizontal con marcadores retroreflectivos de pavimento de doble cara color amarillo.	36.00	Unidades	Q 46.51	Q 1,674.36
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		Q3,003,514.61			

Fuente: elaboración propia.

3.23. Evaluación socioeconómica

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.

3.24. Valor Presente Neto (VPN)

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 %.

CONCLUSIONES

1. La realización del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) permite al estudiante de ingeniería civil, confrontar los conocimientos adquiridos en la universidad ante la realidad, y con ello poder brindar soluciones a problemáticas que existen en las comunidades del país.
2. Con el diseño de alcantarillado sanitario, se eliminarán los focos de contaminación que ocasionan malos olores, deteriore al ornato y al medio ambiente; la inversión asciende a Q 2 605 692,83, en el cual se beneficiarán a 1 670 habitantes; el análisis por medio de la evaluación socioeconómica y la relación costo/beneficio es de Q1 162,30 por habitante.
3. El proyecto de pavimentación es de gran beneficio para los transeúntes del residencial, debido que con ello se mejora el ornato y la calidad de vida de los vecinos; la inversión asciende a Q 3 003 514,61, beneficiando actualmente a 380 habitantes, obteniendo una relación costo/beneficio de Q 7 903,98 por habitante.
4. Los proyectos generarán fuentes de trabajo durante la ejecución de los mismos, y al ser finalizados mejorarán la calidad de vida de los habitantes de cada sector, aumentando la plusvalía y el ornato.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Municipalidad de Santa Catarina Pinula:

1. La construcción del alcantarillado sanitario en la calle principal de la aldea El Pajón, a efecto de evitar el incremento de enfermedades de las pobladores y la contaminación al medio ambiente.
2. Que previo a iniciarse con la ejecución del proyecto de alcantarillado sanitario, se verifiquen las escrituras de propiedad de los predios o en el defecto con los permisos correspondientes donde se instalará la tubería, se construirán los pozos de visita y los sistemas de tratamiento correspondientes, esto con la finalidad de evitar cualquier inconvenientes durante la operación del sistema.
3. Garantizar un personal adecuado para la ejecución de los proyectos, así como la supervisión del proyecto de forma permanente por parte de personal de la Municipalidad, para que por medio de ellos se apliquen y cumplan con todas las especificaciones técnicas.
4. Crear un cronograma de mantenimiento para los proyectos, así poder aumentar el período de vida de diseño.
5. Verificar la calidad de los materiales constructivos y de ser posible, realizar ensayos a los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C.: AASHTO, 1986. 73 p.
2. ARÉVALO AQUINO, Adan Enrique. *Diseño del drenaje sanitario sector la Laguneta aldea Don Justo y Pavimentación calle principal la salvadora 1 del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 138 p.
3. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda República de Guatemala. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: MICIVI 2000. 72 p.
4. Instituto de Fomento Municipal, *Normas generales para el diseño de alcantarillados*. Guatemala: INFOM 2001. 25 p.
5. Instituto Nacional de Estadística. *XI Censo poblacional y VI de habitación*, Guatemala: INE, 2002. 29 p.
6. Secretaría de Integración Económica de Centro América. *Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*, Guatemala: SIECA, 2004. 89 p.

APENDICES

APÉNDICE A HOJAS DE CÁLCULO ALCANTARILLADO SANITARIO ALDEA EL PAJÓN

Sistema 1

Pozo de visita (Pv) de	Cota de terreno		Distancia (DH)	Pendiente de terreno S (%)	Longitud acumulada (m)	No. Habitanes acumulado		FH		Caudal de diseño Qd(L/s)		Diámetro de tubería (pulg)	Pendiente de tubería S (%)	Seccion llena		Relaciones hidráulicas				Velocidad real en tramo v (L/s)		Tirante		Cota invert		Altura de pozo (m)																								
	inicio	final				actual	futuro	actual	futuro	V	Q			Qd/Q	w/v	d/D	Qd/Q	w/v	d/D	Qd/Q	w/v	d/D	actual	futuro	actual	futuro	inicio	final	inicio	final																				
1	2	1004.1	1003	66.78	11.5	1.59	32	48	4.35	4.32	0.69	1.03	1.6	1.43	26.13	0.0262	0.42	0.12	0.0395	0.47	0.14	0.6	0.67	12.00%	14.00%	1022.60	1001.51	1.52	1.56																					
2	3	1003	1001.9	66.12	11	1.73	106	160	4.24	4.18	2.24	3.36	1.7	1.48	26.93	0.0632	0.59	0.21	0.1245	0.66	0.25	0.87	0.97	21.00	25.00%	1001.60	1000.49	1.86	1.55																					
3	4	1001.9	1001.2	44.26	7.5	1.56	127	192	4.21	4.15	2.67	3.99	1.45	1.36	24.87	0.1073	0.64	0.23	0.1604	0.72	0.28	0.87	0.98	23.00	28.00%	1000.46	998.82	1.55	1.52																					
4	5	1001.2	1001.6	37.17	6.5	-1.00	144	219	4.2	4.13	3.03	4.52	0.5	0.8	14.6	0.2073	0.77	0.32	0.3094	0.87	0.39	0.62	0.7	32.00	39.00%	999.79	996.61	1.52	1.12																					
5	6	1001.6	1002.8	86.85	14.5	-1.36	367	556	4.04	3.95	7.41	10.99	0.5	0.8	14.6	0.5078	1.01	0.5	0.7525	1.14	0.6	0.81	0.91	50.00	60.00%	996.57	999.14	1.12	3.75																					
6	7	1002.8	999.71	99.3	17	3.07	414	627	4.02	3.92	8.31	12.3	1	1.13	20.65	0.4024	0.95	0.44	0.5966	1.06	0.53	1.08	1.2	44.00	53.00%	999.11	998.12	3.75	1.74																					
7	8	1001.8	1000.5	60.6	10	3.82	49	74	4.32	4.28	1.05	1.57	6	2.22	40.53	0.0259	0.41	0.12	0.0388	0.47	0.14	0.91	1.04	12.00	14.00%	1002.73	1000.39	1.53	1.52																					
8	7	1000.5	999.71	34.26	6	2.16	124	189	4.22	4.16	2.62	3.92	5	2.53	46.18	0.037	0.46	0.14	0.0554	0.52	0.17	1.16	1.32	14.00	17.00%	1000.35	999.06	1.52	1.52																					
7	7A	999.71	999.12	24.89	4.5	2.37	24.89	538	3.95	3.95	10.87	16.05	8	1.66	30.29	0.0666	0.6	0.21	0.1284	0.67	0.26	1	1.11	21.00	26.00%	999.05	998.31	1.52	1.74																					
7A	7B	999.12	996.03	103.47	18	12.65	548	848	3.93	3.83	11.78	17.37	8	4.03	73.46	0.1603	0.72	0.28	0.2364	0.81	0.34	2.9	3.26	28.00	34.00%	997.88	994.60	1.54	1.54																					
																									648.53																								18.87	

Diámetro (pulg)	No. Tubos	Longitud (m)
6"	520.17	88.5
8"	128.36	22.5
total	648.53	111

Sistema 2

Pozo de agua (PV)	Cota de terreno		Distancia (m)	No. tubos	Pendiente terreno S (%)	Longitud acumulada (m)	No. habitantes acumulado		PH		Causal de diseño (Cob./s)		Diámetro de tubería (pulg)	Profundidad de tubería S (%)	Ección línea			Relaciones hidráulicas						Velocidad real en tramo V (L/s)		Trámite		Cota invert		Altura de pozo (m)	
	inicio	final					actual	futuro	actual	futuro	actual	futuro			V	Q	Q/DF	V/F	DF	Q/DF	V/F	DF	Q/DF	V/F	DF	actual	futuro	actual	futuro	inicio	final
10	11	1004.2	1003.4	57.68	10	1.33	57.68	7	9	4.35	4.42	0.14	0.21	6	5.13	1.73	49.74	0.0028	0.21	0.04	0.0042	0.24	0.05	0.57	0.65	4.00%	5.00%	1002.76	996.74	1.53	2.53
11	12	1000.1	996.57	44.82	7.5	3.51	102.5	22	33	4.38	4.35	0.52	0.78	6	3.5	2.12	38.64	0.0134	0.34	0.09	0.0202	0.36	0.11	0.72	0.8	9.00%	10.00%	998.74	997.17	2.53	1.53
12	13	996.57	994	50.21	8.5	9.14	152.71	46	70	4.32	4.28	1.08	1.63	6	9.15	3.42	62.48	0.0173	0.37	0.1	0.028	0.42	0.12	1.27	1.44	10.00%	12.00%	997.14	992.57	1.53	3.47
13	14	994	990.05	53.38	9	1.78	206.1	73	110	4.28	4.23	1.68	2.51	6	1.75	1.5	27.32	0.0914	0.54	0.18	0.032	0.61	0.22	0.81	0.91	10.00%	22.00%	992.54	991.60	3.47	1.58
14	15	990.05	992.16	41.4	7	2.15	247.5	93	141	4.25	4.2	2.13	3.19	6	2.15	1.66	30.29	0.0704	0.56	0.19	0.053	0.63	0.23	0.93	1.05	19.00%	23.00%	991.57	990.68	1.58	1.61
15	16	992.16	996.06	44.41	7.5	2.66	291.91	115	174	4.23	4.17	2.62	3.91	6	2.65	1.84	33.62	0.0778	0.58	0.2	0.1163	0.65	0.24	1.07	1.2	20.00%	24.00%	990.65	989.48	1.61	1.63
16	17	996.06	990.44	33.85	6	1.60	325.76	131	199	4.21	4.15	2.98	4.45	6	1.6	1.43	26.13	0.1141	0.65	0.24	0.1704	0.73	0.29	0.93	1.05	24.00%	29.00%	989.45	988.91	1.63	1.66
17	18	990.44	990.63	14.5	2.5	-1.31	340.36	138	209	4.2	4.14	3.14	4.68	6	0.5	0.8	14.6	0.2149	0.78	0.33	0.3208	0.88	0.4	0.62	0.7	33.00%	40.00%	988.98	988.89	1.66	1.59
18	19	990.63	994.51	65.44	15	-3.95	428.7	166	262	4.16	4.08	4.19	6.24	6	0.5	0.8	14.6	0.2897	0.85	0.38	0.4271	0.98	0.46	0.68	0.77	38.00%	46.00%	988.77	988.25	1.59	0.38
23	22	1007.9	1006	32.16	5.5	6.09	32.16	16	24	4.39	4.37	0.37	0.56	6	6.058	2.79	50.8	0.0074	0.28	0.06	0.0111	0.32	0.08	0.78	0.89	6.00%	8.00%	1006.51	1004.56	1.52	3.78
22	21	1006	998.7	66.88	14.5	8.35	119.64	228	345	4.13	4.05	5.07	7.54	6	8.35	3.27	59.88	0.085	0.59	0.21	0.1254	0.67	0.25	1.93	2.19	21.00%	25.00%	1002.58	995.35	3.78	3.48
21	20	998.7	997.28	14.97	2.5	9.53	134.01	255	356	4.12	4.05	5.23	7.77	6	9.5	3.49	63.96	0.0821	0.59	0.21	0.1221	0.66	0.25	2.06	2.3	21.00%	25.00%	995.32	993.90	3.48	3.5
20	19	997.28	994.51	25.38	4.5	10.88	159.39	247	375	4.11	4.04	5.49	8.16	6	10.98	3.75	68.44	0.0802	0.58	0.2	0.1193	0.66	0.25	2.19	2.48	20.00%	25.00%	992.32	989.25	3.5	6.38
19A	19B	994.51	994.62	12.9	2.5	-0.85	12.9	434	724	3.98	3.88	10.42	15.39	8	0.5	0.8	14.6	0.7134	1.12	0.58	1.054	1.26	0.7	0.9	1.01	55.00%	70.00%	988.25	988.19	6.38	0.58
19A	19B	994.62	989	48.85	8.5	13.79	61.75	467	770	3.97	3.87	10.89	16.09	8	3.25	2.04	37.24	0.2925	0.86	0.38	0.4319	0.67	0.46	1.76	1.85	38.00%	46.00%	988.16	986.60	6.56	4.08
19B	19C	989	986.38	47.51	8	3.45	109.26	462	783	3.85	3.85	11.9	17.58	8	1	0.8	14.6	0.8152	1.17	0.62	1.2028	1.32	0.75	0.94	1.00	62.00%	75.00%	984.03	983.55	4.08	2.94
19C	19D	986.38	981.68	58.05	10	5.31	167.31	528	814	3.93	3.83	12.73	18.77	8	3.6	1.94	35.47	0.3589	0.91	0.42	0.5291	1.03	0.51	1.77	2	42.00%	51.00%	983.52	981.43	2.94	0.58
755.4																															

44.12

Diámetro (pulg)	No. Tuberías	Longitud (m)
6"	568.09	100
8"	167.31	29
total	735.4	129

Sistema 3

Pozo de visita (PV)	Cota de terreno		Distancia (DH)	No. tubo	Pendiente de terreno S (%)	Longitud acumulada (m)	No. Habitantes acumulados		PH		Caudal de diseño (Qt/Ls)		Diámetro de tubería (pulg)	Pendiente de tubería S (%)	Sección tubería			Relaciones hidráulicas						Velocidad real en tramo v (L/s)		Cota invert		Altura de pozo (m)									
	inicio	final					actual	futuro	actual	futuro	actual	futuro			V	Q	Qd/Q	WV	d/D	Qd/Q	WV	d/D	actual	futuro	actual	futuro	actual	futuro	inicio	final	inicio	final					
23	24	1007.5	1006.6	58.65	10	1.63	58.65	24	36	4.37	4.34	0.5	0.75	6	1.95	1.58	28.84	0.0713	0.37	0.1	0.026	0.42	0.12	1	10.00%	12.00%	1008.51	1005.36	1.52	1.55							
24	25	1006.6	1006.4	35.01	5.5	1.02	60.96	67	148	4.25	4.19	1.98	2.97	6	3.85	1.13	20.65	0.0861	0.61	0.22	0.4538	0.69	0.27	1	22.00%	27.00%	1005.31	1003.64	1.55	2.94							
39	38	1014.5	1014	30	8.5	1.02	50	20	31	4.38	4.35	0.42	0.64	6	1.05	1.16	21.16	0.02	0.38	0.1	0.0302	0.43	0.13	0	10.00%	13.00%	1013.11	1012.59	1.51	1.53							
38	37	1013.3	1011.2	48.22	8	4.25	168.74	67	102	4.29	4.24	1.38	2.06	6	4.1	2.29	41.62	0.0337	0.45	0.13	0.4596	0.50	0.16	1	13.00%	16.00%	1012.555	1011.64	1.53	1.57							
37	36	1012.1	1011.2	35.77	6	2.35	202.51	165	250	4.18	4.11	3.31	4.94	6	0.5	0.8	14.6	0.227	0.8	0.34	0.3385	0.90	0.41	1	34.00%	41.00%	1008.769	1008.82	2.37	1.73							
36	35	1011.2	1011	8.13	1.5	2.88	210.64	203	307	4.15	4.07	4.04	6.01	6	0.75	0.88	17.89	0.2257	0.79	0.34	0.336	0.90	0.41	1	34.00%	41.00%	1008.59	1008.83	1.73	1.61							
35	34	1011	1010.8	11.63	2	1.63	222.27	208	315	4.14	4.07	4.13	6.14	6	0.75	0.88	17.89	0.2207	0.8	0.34	0.3434	0.90	0.41	1	34.00%	41.00%	1006.499	1006.41	1.61	1.54							
34	33	1010.6	1010.5	60.79	10.5	0.86	283.06	232	352	4.12	4.05	4.6	6.84	6	0.5	0.8	14.6	0.2148	0.88	0.39	0.4682	0.90	0.48	1	38.00%	48.00%	1006.381	1006.08	1.54	1.54							
33	32	1010.5	1010.2	81.81	14	0.34	364.87	265	402	4.1	4.02	5.22	7.76	8	0.5	0.8	14.6	0.2075	0.91	0.42	0.5312	1.03	0.51	1	42.00%	51.00%	1006.047	1006.64	1.54	1.69							
32	31	1010.2	1009.9	7.49	15	4.67	372.36	298	406	4.1	4.02	5.28	7.84	8	2.5	1.79	32.66	0.1816	0.72	0.29	0.24	0.81	0.35	1	28.00%	35.00%	1006.608	1008.42	1.69	1.96							
31	30	1009.9	1007	66.61	15	3.16	461.97	304	461	4.08	3.98	5.95	8.84	8	3.1	1.99	36.37	0.1837	0.72	0.29	0.243	0.81	0.35	1	28.00%	35.00%	1006.39	1005.61	1.96	1.53							
29	28	1007	1007	15.12	2.5	0.30	477.09	310	470	4.07	3.98	6.07	9	8	0.5	0.8	14.6	0.2156	0.86	0.45	0.6167	1.08	0.54	1	45.00%	54.00%	1005.944	1005.51	1.53	1.63							
28	27	1006.6	1006.6	58.57	10	0.58	536.66	677	1328	3.84	3.72	16.14	23.7	8	0.5	0.67	31.45	0.1333	1.02	0.5	0.7536	1.14	0.6	1	50.00%	60.00%	1005.478	1005.18	1.63	1.57							
27	26	1006.6	1006.8	34.95	6	-0.36	572.61	622	1396	3.82	3.7	16.91	24.81	8	0.5	0.67	31.45	0.1379	1.03	0.51	0.7989	1.16	0.61	1	51.00%	61.00%	1005.148	1005.03	1.57	2.32							
26	25	1006.5	1006.4	38.88	7	-0.39	603.28	697	1510	3.8	3.68	18.18	26.05	8	1	1.37	44.48	0.0688	0.95	0.45	0.6982	1.07	0.64	1	45.00%	54.00%	1005.6	1004.14	2.32	2.29							
25	25A	1006.4	1006.5	6.5	1.5	-0.42	6.5	1113	1629	3.77	3.64	20.13	29.47	8	0.5	0.67	31.45	0.0888	1.06	0.53	0.88	1.19	0.64	1	53.00%	64.00%	1004.11	1003.84	2.29	2.84							
25A	25B	1006.5	1003.6	72.55	12	3.35	78.95	1166	1768	3.76	3.63	20.62	30.18	8	3.15	2.43	78.95	0.2812	0.83	0.36	0.3623	0.93	0.43	2	38.00%	43.00%	1004.809	1002.62	1.66	1.56							

Resumen tramo 3		Resumen general	
Diámetro (pulg)	No. Tubos	Diámetro (pulg)	Longitud No. Tubos
6"	374.02	6"	148.5
8"	499.25	8"	1462.3
total	873.27	total	2277.2

96.65

APENDICE B
CÁLCULO HIDRÁULICO ALCANTARILLADO SANITARIO ALDEA EL
PAJÓN

Sistema 1

Cálculo de diseño de red, tramo 1		Cálculo diseño fosa séptica, sistema 1		Cálculo diseño pozos de absorción, sistema 1	
Datos preliminares para cálculo		Datos preliminares para cálculo		Datos preliminares para cálculo	
Año Censo	2011 año	Dotación de agua potable (Dot)	120,00 L/hab/día	Viviendas futura c/fosa	57 viviendas
Año de inicio ejecución proyecto	2012 año	Factor de retorno (Fr)	80,00 %	Población futura (Pf) c/ fosa	283 habitantes
Periodo de diseño	20 años	Población futura (Pf)	847,85 habitantes	Coefficiente de absorción K1	0,4721 m ² /hab/día
Tasa de crecimiento Sta. Cat. Pinula	2,1 %	Periodo de retención	24,00 horas	diámetro de perforación (D) asumiendo	2 m
Dotación de agua potable (Dot)	120 L/hab/día	Periodo de limpieza	1 año	Caudal (Q)	20,35 L/día
Factor de retorno (Fr)	80 %	Gasto de lodos (Gl)	30 L/hab/día	Cálculo	
Viviendas inicial	110 viviendas	Relación longitud/anchcho	L=2A	Profundidad de pozo (H)	31,15 m
Población inicial (Po)	548 habitantes	Altura fosa (H) asumido	2 m	Pozos de absorción	2 pozos
Resultados de cálculo		Cálculo		Profundidad de pozo (H)	16 m
Viviendas futura	170 viviendas	Caudal (Q)	81394,00 L/día	Resultados finales	
Población futura (Pf)	848 habitantes	Volumen líquidos (Vliq)	81,39 m ³	No de pozos * fosa	2 fosas
Factor Hardmond (F.H.)	3,85	Volumen para lodos (Vlodos)	25,44 m ³	Total de pozos de 4 fosas	6 m
Caudal Domiciliar (Qdom)	0,94 L/hab/s	Volumen total (V)	106,83 m ³	diámetro de perforación (D)	2 m
Caudal Comercial (Qcom)	0 L/hab/s	Se divide el volumen		Profundidad de pozo (H)	16 m
Caudal Industrial (Qind)	0 L/hab/s	Fosas propuestas	3 fosas		
Caudal de Infiltración (Qinf)	0 L/hab/s	Volumen por fosa	35,61 m ³		
Caudal Conexiones Ilícitas(Qconex ilic)	0,09 L/hab/s	No habitantes por fosa	283 hab		
Caudal Medio (Qmed)	1,04 L/s	Resultados finales			
Factor de caudal medio (fqm)	0,002 L/hab/s	No de fosas	3 fosas		
Caudal de diseño (Qdis)	6,5 L/s	Altura (h)	2 m		
		Ancho(a)	2,98 m		
		Longitud (l)	5,97 m		

Sistema 2

Cálculo de diseño de red, tramo 2		Cálculo diseño fosa séptica, sistema 2		Cálculo diseño pozos de absorción, sistema 2	
Datos preliminares para cálculo		Datos preliminares para cálculo		Datos preliminares para cálculo	
Año Censo	2011 año	Dotación de agua potable (Dot)	120,00 L/hab/día	Viviendas futura c/ fosa	54 viviendas
Año de inicio ejecución proyecto	2012 año	Factor de retorno (Fr)	80,00 %	Población futura (Pf) c/ fosa	271 habitantes
Periodo de diseño	20 año	Población futura (Pfi)	813,82 habitantes	Coefficiente de absorción K1	0,4721 m ² /hab/día
Tasa de crecimiento Sta. Cat. Pimula	2,1 %	Periodo de retención	24,00 horas	diámetro de perforación (D) asumiendo	2 m
Dotación de agua potable (Dot)	120 L/hab/día	Periodo de limpieza	1 año	Caudal (Q)	19,53 L/día
Factor de retorno (Fr)	80 %	Gasto de lodos (G)	30 L/hab/día	Cálculo	
Viviendas inicial	105 viviendas	Relación longitud/anchura	L=2A	Profundidad de pozo (H)	29,90 m
Población inicial (Po)	526 habitantes	Altura fosa (H) asumido	2 m	Pozos de absorción	2 pozos
Resultados de cálculo		Cálculo		Profundidad de pozo (H)	15 m
Viviendas futura	163 viviendas	Caudal (Q)	78126,35 L/día	Resultados finales	
Población futura (Pf)	814 habitantes	Volumen líquidos (Vliq)	78,13 m ³	No de pozos * fosa	2 fosas
Factor Hardmond (F.H.)	3,86	Volumen para lodos (Vlodos)	24,41 m ³	Total de pozos de 4 fosas	6 m
Caudal Domiciliar (Qdom)	0,90 L/hab/s	Volumen total (V)	102,54 m ³	diámetro de perforación (D)	2 m
Caudal Comercial (Qcom)	0 L/hab/s	Se divide el volumen		Profundidad de pozo (H)	14,9 m
Caudal Industrial (Qind)	0 L/hab/s	Fosas propuestas	3 fosas		
Caudal de Infiltración (Qinf)	0 L/hab/s	Volumen por fosa	34,18 m ³		
Caudal Conexiones Ilícitas (Qconex. ilic)	0,09 L/hab/s	No habitantes por fosa	271,27 hab		
Caudal Medio (Qmed)	0,99 L/s	Resultados finales			
Factor de caudal medio (fqm)	0,002 L/hab/s	No de fosas	3 fosas		
Caudal de diseño (Qdis)	6,3 L/s	Altura (h)	2 m		
		Ancho(a)	2,92 m		
		Longitud (l)	5,85 m		

Sistema 3

Cálculo de diseño de red, tramo 3		Cálculo diseño fosa séptica, sistema 3		Cálculo diseño pozos de absorción, sistema 3	
Datos preliminares para cálculo		Datos preliminares para cálculo		Datos preliminares para cálculo	
Año Censo	2011	Dotación de agua potable (Dot)	120,00	Viviendas futura c/fosa	60
Año de inicio ejecución proyecto	2012	Factor de retorno (Fr)	80,00	Población futura (Pf) c/ fosa	298
Periodo de diseño	20 años	Población futura (Pf)	1789,00	Coefficiente de absorción K1	0,4721
Tasa de crecimiento Sta. Cat. Pinula	2,1 %	Periodo de retención	24,00	diámetro de perforación (D) asumiendo	2
Dotación de agua potable (Dot)	120 L/hab/día	Periodo de limpieza	1	Caudal (Q)	42,94
Factor de retorno (Fr)	80 %	Gasto de lodos (Gl)	30	Cálculo	
Viviendas inicial	231 viviendas	Relación longitud/ancho	L=2A	Profundidad de pozo (H)	32,86
Población inicial (Po)	1156 habitantes	Altura fosa (H) asumido	2	Pozos de absorción	3
Resultados de cálculo		Cálculo		Profundidad de pozo (H)	11
Viviendas futura	358 viviendas	Caudal (Q)	171744,00	Resultados finales	
Población futura (Pf)	1789 habitantes	Volumen líquidos (Vliq)	171,74	No de pozos * fosa	3
Factor Hardmond (F.H.)	3,62	Volumen para lodos (Vlodos)	53,67	Total de pozos de 4 fosas	18
Caudal Domiciliar (Qdom)	1,99 L/hab/s	Volumen total (V)	225,41	diámetro de perforación (D)	2
Caudal Comercial (Qcom)	0 L/hab/s	Se divide el volumen		Profundidad de pozo (H)	11,0
Caudal Industrial (Qind)	0 L/hab/s	Fosas propuestas	6		
Caudal de Infiltración (Qinf)	0 L/hab/s	Volumen por fosa	37,57		
Caudal Conexiones lícitas (Qconex lic)	0,20 L/hab/s	No habitantes por fosa	298,17		
Caudal Medio (Qmed)	2,19 L/s	Resultados finales			
Factor de caudal medio (fqm)	0,002 L/hab/s	No de fosas	6		
Caudal de diseño (Qdis)	13 L/s	Altura (h)	2		
		Ancho(a)	3,06		
		Longitud (l)	6,13		

APENDICE C
RESULTADOS DE LABORATORIO DE SUELOS



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



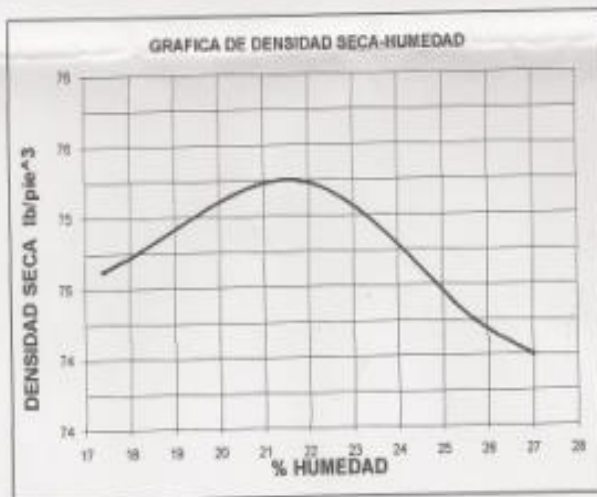
Nº 12685

INFORME No. 089 S.S. Q.T.: 26,560

Interesado: Vilma Paola Roque López
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Proctor Estándar: () Norma:
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-150

Proyecto: Pavimentación de residenciales el Socorro
Ubicación: Santa Catarina Pinula, Guatemala
Fecha: 26 de Febrero de 2010



Descripción del suelo: Arena pomez limosa color beige.
Densidad seca máxima: 1208 Kg/m³ 75.4 lb/ft³
Humedad óptima Hop.: 21.8 %
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Aterramiento.

Vo. Bo:

Inga. Telma Marcela Cano Morales
DIRECTORA CIUSAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

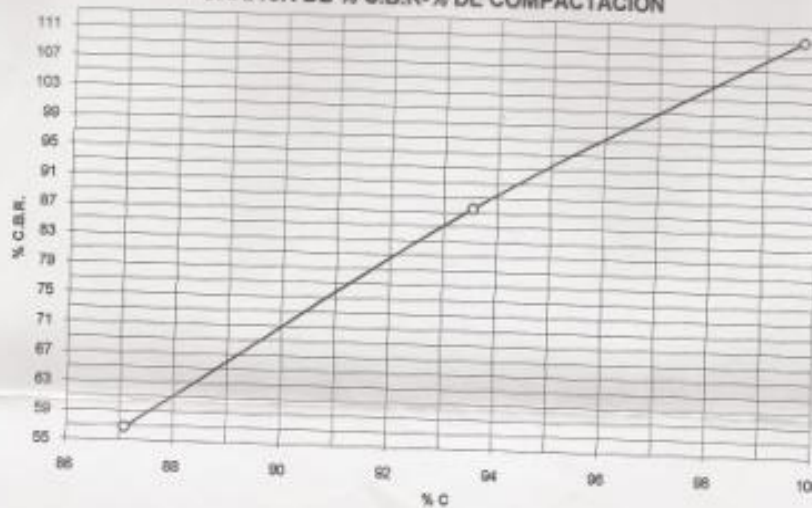


Nº 12686

INFORME No.: 090 S.S. O.T.: 28.560
Interesado: Vilma Paola Roque López
Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193
Proyecto: Pavimentación de residenciales el Socorro
Ubicación: Santa Catarina Pinula, Guatemala
Descripción del suelo: Arena pomez limosa color beige.
Muestra No.: 1
Fecha: 26 de Febrero de 2010

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d Lb/pie ³			
1	10	20.83	65.7	87.09	0.00	56.8
2	30	20.83	70.5	93.54	0.00	87.6
3	65	20.83	75.2	99.70	0.00	111.1

GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CI/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

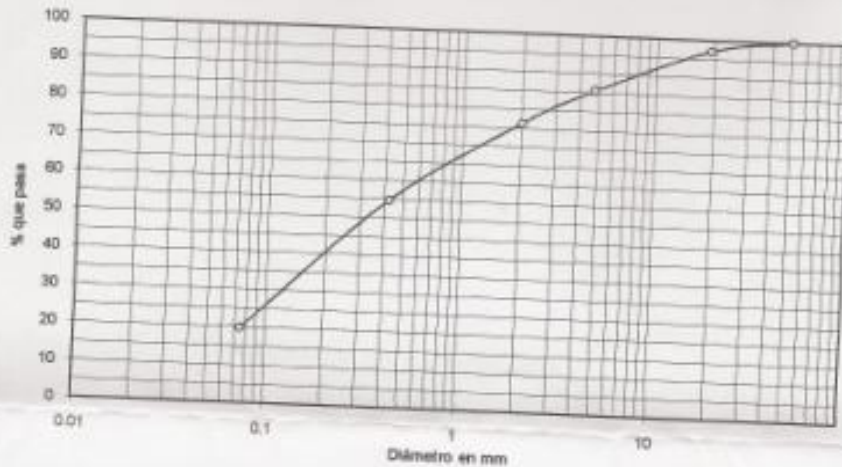


Nº 12687

INFORME No. 091 S.S. O.T. No. 26,560
Interesado: Vilma Paola Roque López
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11
Proyecto: Pavimentación de residenciales el Socorro
Procedencia: Km 45 Carretera a Parramos
Fecha: 26 de Febrero de 2010

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	97.17
4	4.76	85.57
10	2.00	76.31
40	0.42	54.74
200	0.074	19.94

% de Grava: 2.83
% de Arena: 77.22
% de Finos: 19.94



Descripción del suelo: Arena pomez limosa color beige.
Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-2-4
Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Alertamiento.

Vo. Bo.
Inga. Telma Maricela Carrero Morales
DIRECTORA CIIUSAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 12688

INFORME No. 092 S. S. O.T.: 20060

Interesado: Vilma Pacía Roque López
Proyecto: Pavimentación de residenciales el Socorro

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: CII USAC

FECHA: 26 de Febrero de 2010

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	LP. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	0	0	S.M.	Arms c6mez inosa color beige

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

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vs. Bc.

Inga. Telma Mariela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Enrique Medrano Méndez
Ing. Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 12659

INFORME No.: 093 S. S. O.T.: 26560

INTERESADO: Vilma Paola Roque López

PROYECTO: Pavimentación de residenciales el Socorro.

ASUNTO: ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA

Norma: A.A.S.T.H.O T-176

UBICACIÓN: Santa Catarina Pinula, Guatemala

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena pómez limosa color beige.

FECHA: 26 de Febrero de 2010


RESULTADO DEL ENSAYO:

E.A=	60
------	----

OBSERVACIONES: Muestra tomada por el interesado

Atentamente,

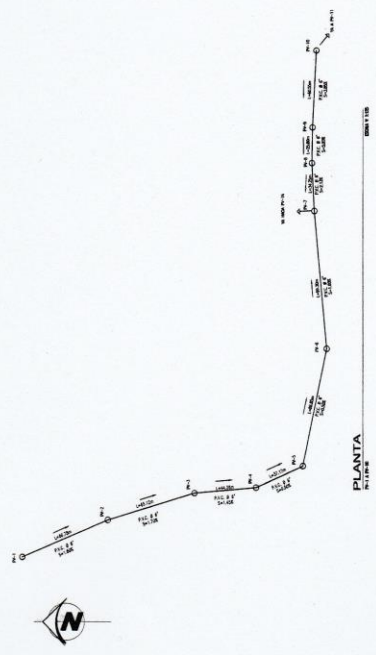
Vo. Bo.


Inga. Teima Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC




Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

APENDICE D
PLANOS DE ALCANTARILLADO SANITARIO

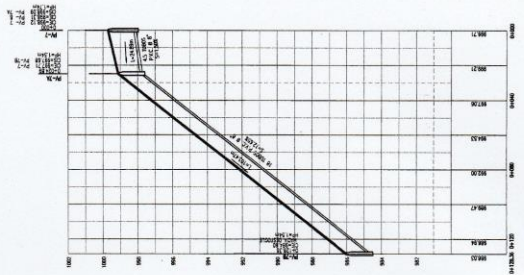




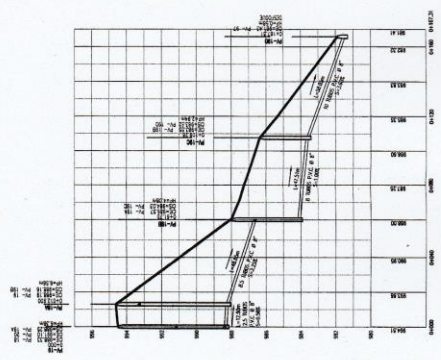
PLANTA
P-18/P-19



PLANTA
P-7/P-8



PERFIL 6
P-7/P-8



PERFIL 7
P-18/P-19

SIMBOLOGIA	
[Symbol]	ALINEAMIENTO
[Symbol]	SEÑALIZACION
[Symbol]	PROTECCION
[Symbol]	REPERTE
[Symbol]	COLONIAS
[Symbol]	DETERMINACION
[Symbol]	VEREDAS

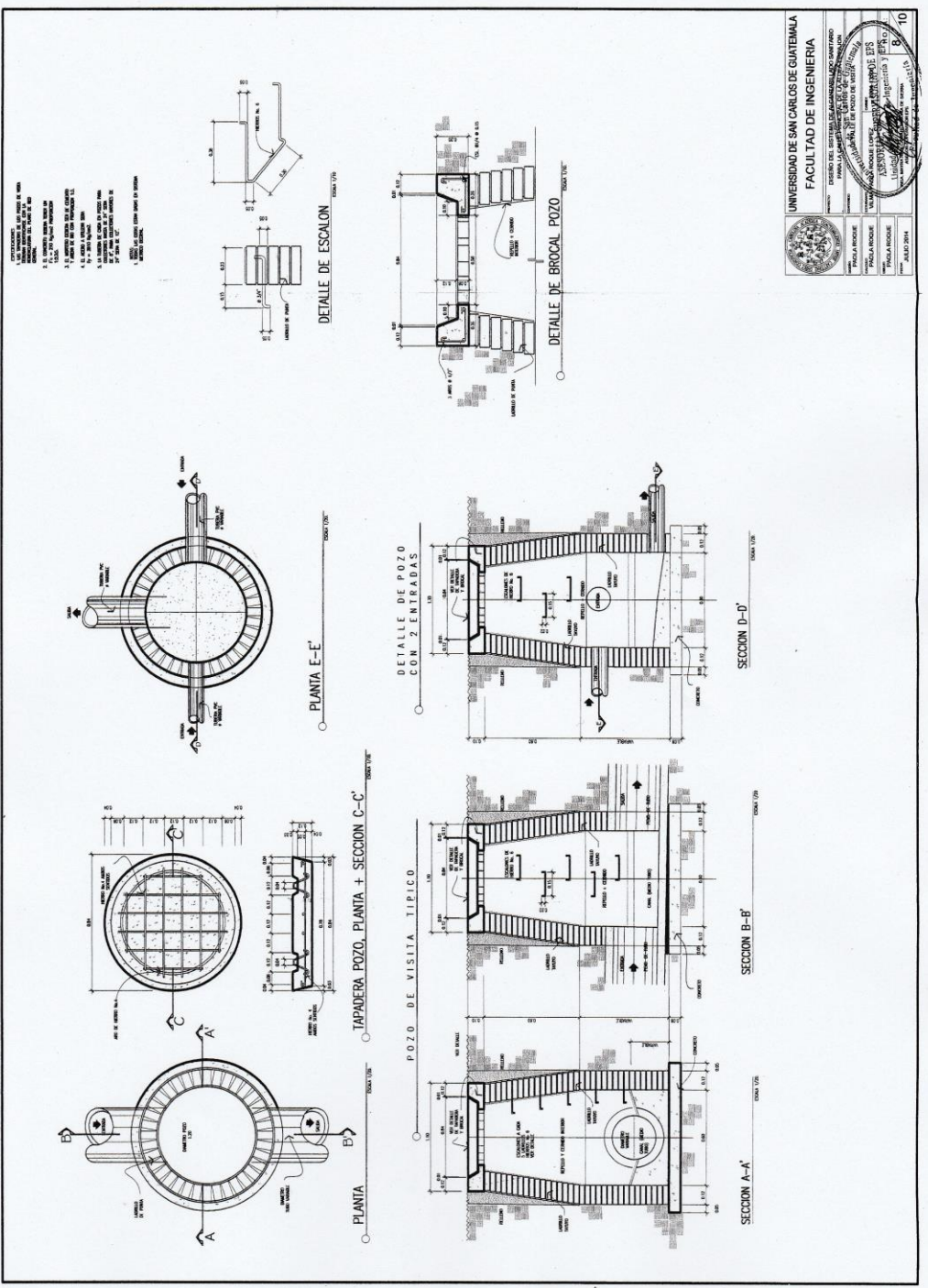
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA EN INGENIERIA CIVIL
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
CATEDRA DE INGENIERIA CIVIL

PLANTA: P-18/P-19
PERFIL: P-18/P-19

FECHA: 2014

5 10



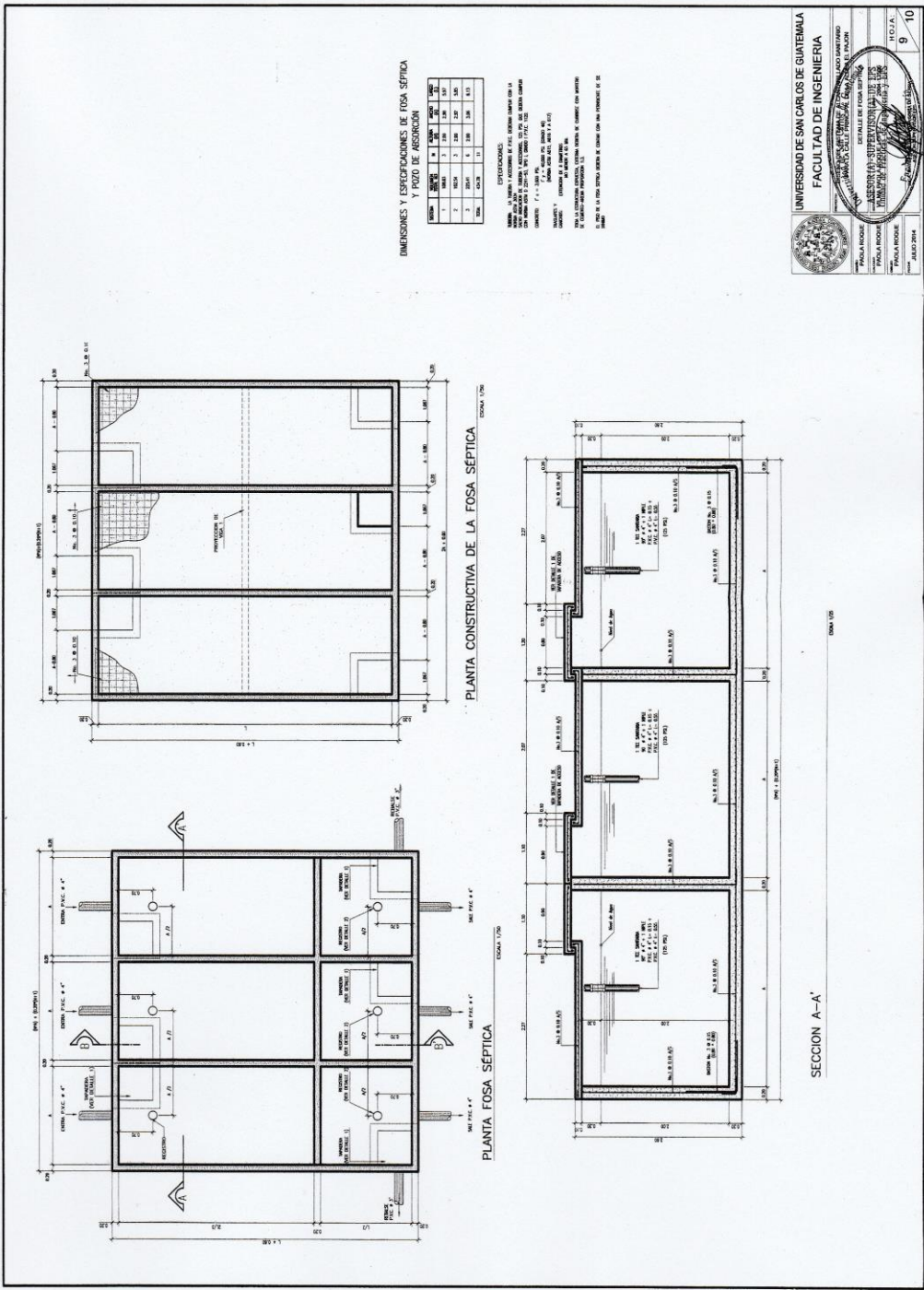
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PROFESOR: DR. JUAN CARLOS GONZALEZ
 ALUMNO: JUAN CARLOS GONZALEZ

FECHA: 15/05/2014

8/10



PLANTA FOSA SÉPTICA

PLANTA CONSTRUCTIVA DE LA FOSA SÉPTICA

SECCION A-A'

DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES DE FOSA SÉPTICA Y POZO DE ABSORCIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	CONCRETO	m ³	1.20
2	CEMENTO	kg	1.20
3	ACERO	kg	1.20
4	LABOR	h	1.20
5	REJILLA DE BARRERA	kg	1.20
6	VALVULA	kg	1.20
7	CONDUITO	m	1.20
8	REJILLA DE BARRERA	kg	1.20
9	VALVULA	kg	1.20
10	CONDUITO	m	1.20

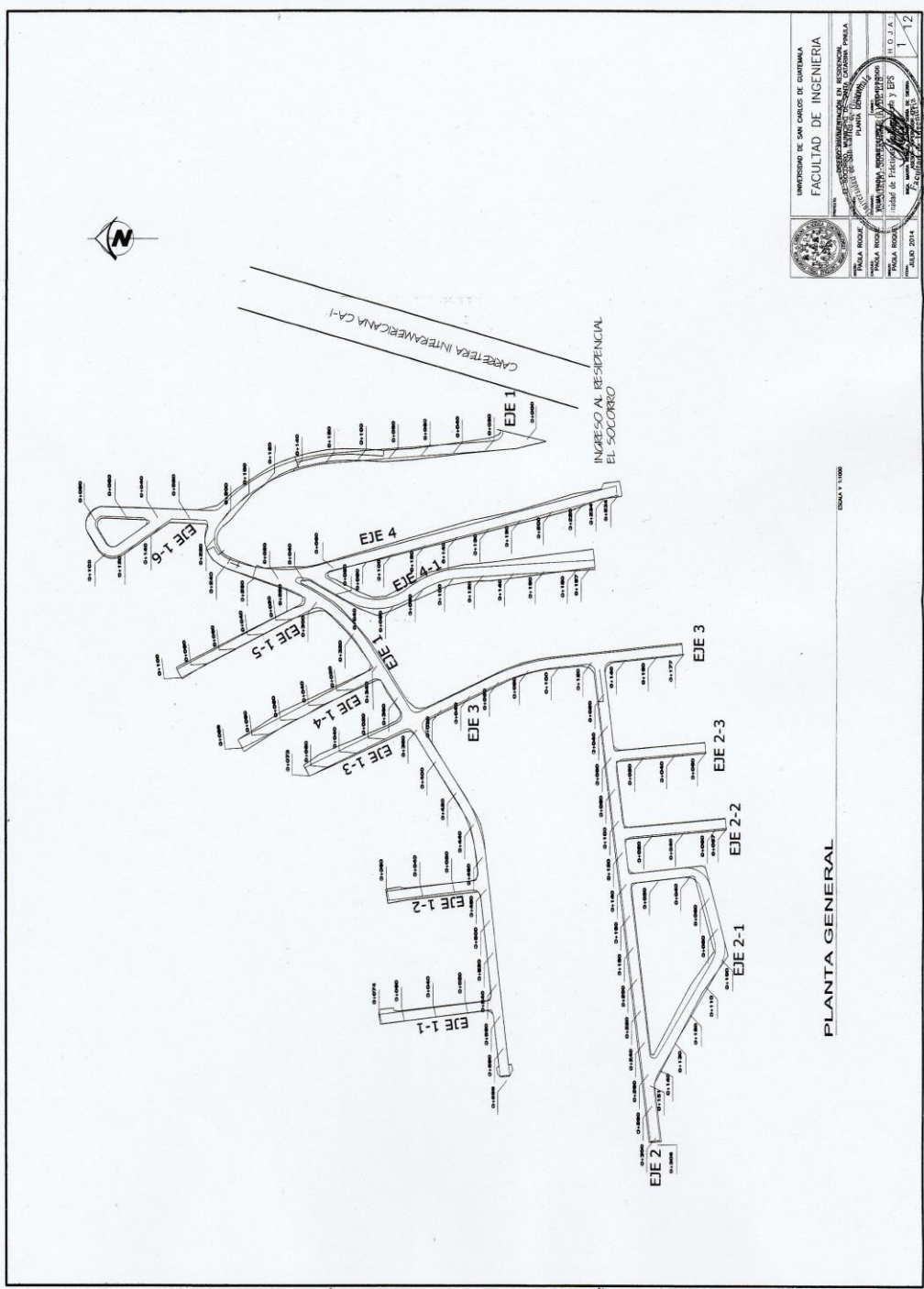
ESPECIFICACIONES:
 MATERIAL: CONCRETO Y ACERO DE CALIDAD COMERCIAL PARA SU USO EN OBRAS DE CONSTRUCCION CIVIL.
 DIMENSIONES: 1.20 m x 1.20 m x 1.20 m.
 MATERIAL: CONCRETO Y ACERO DE CALIDAD COMERCIAL PARA SU USO EN OBRAS DE CONSTRUCCION CIVIL.
 DIMENSIONES: 1.20 m x 1.20 m x 1.20 m.
 MATERIAL: CONCRETO Y ACERO DE CALIDAD COMERCIAL PARA SU USO EN OBRAS DE CONSTRUCCION CIVIL.
 DIMENSIONES: 1.20 m x 1.20 m x 1.20 m.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

PROFESOR: DR. JUAN JOSÉ GONZÁLEZ
 ALUMNO: JUAN JOSÉ GONZÁLEZ
 TÍTULO: TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
 MATERIA: DISEÑO DE OBRAS DE CONSTRUCCION CIVIL
 FECHA: 10/05/2014

N.O.A.: 9/10

APENDICE E
PLANOS PAVIMENTACIÓN



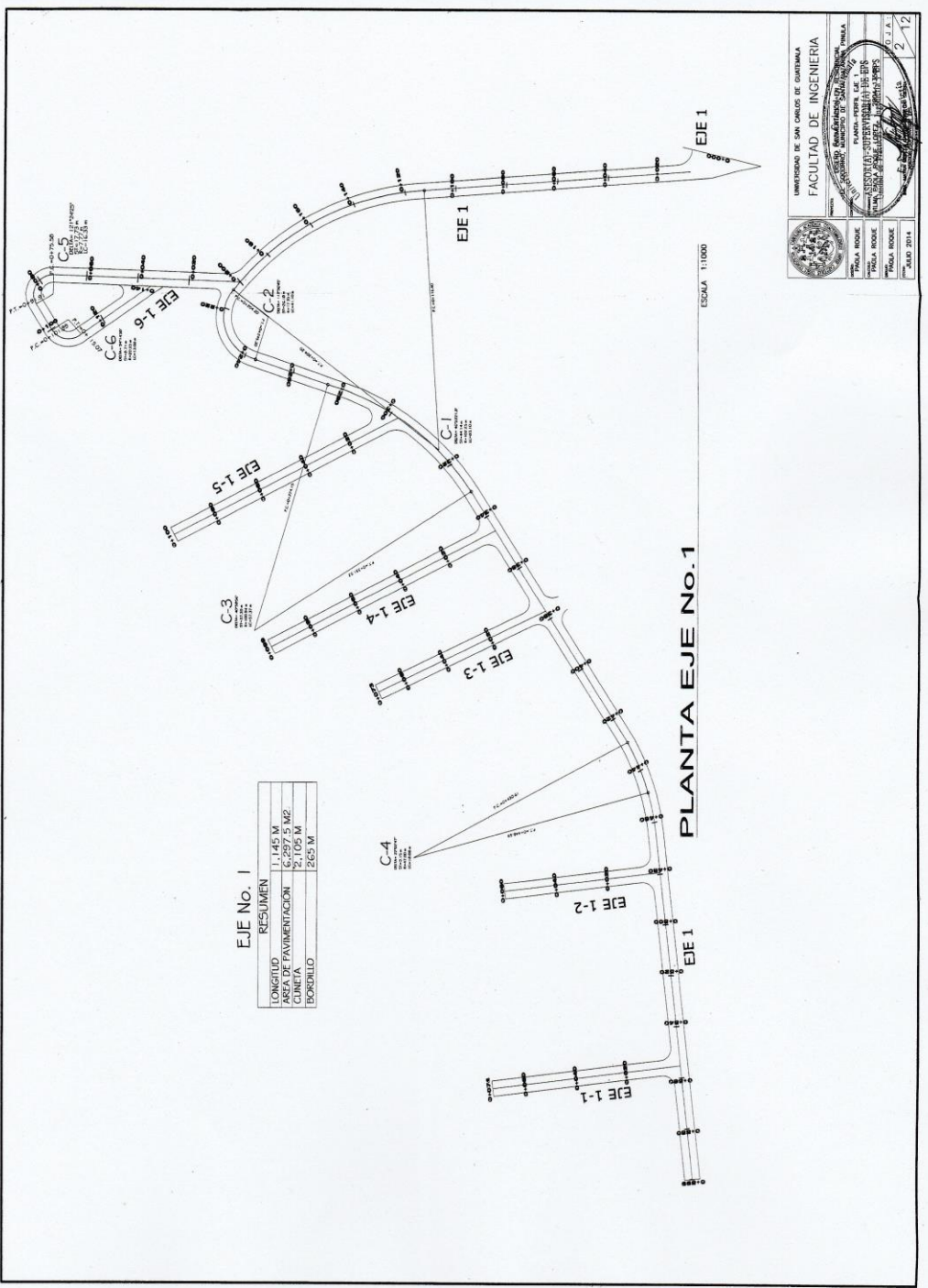
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 PLAN DE GRADUACION

PROFESOR: RAFAEL ROSA
 ALUMNO: RAFAEL ROSA
 TITULO: INGENIERIA CIVIL
 TITULO DE ESPECIALIZACION: INGENIERIA CIVIL EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

FECHA DE ENTREGA: 15/05/2014

1/12

PLANTA GENERAL




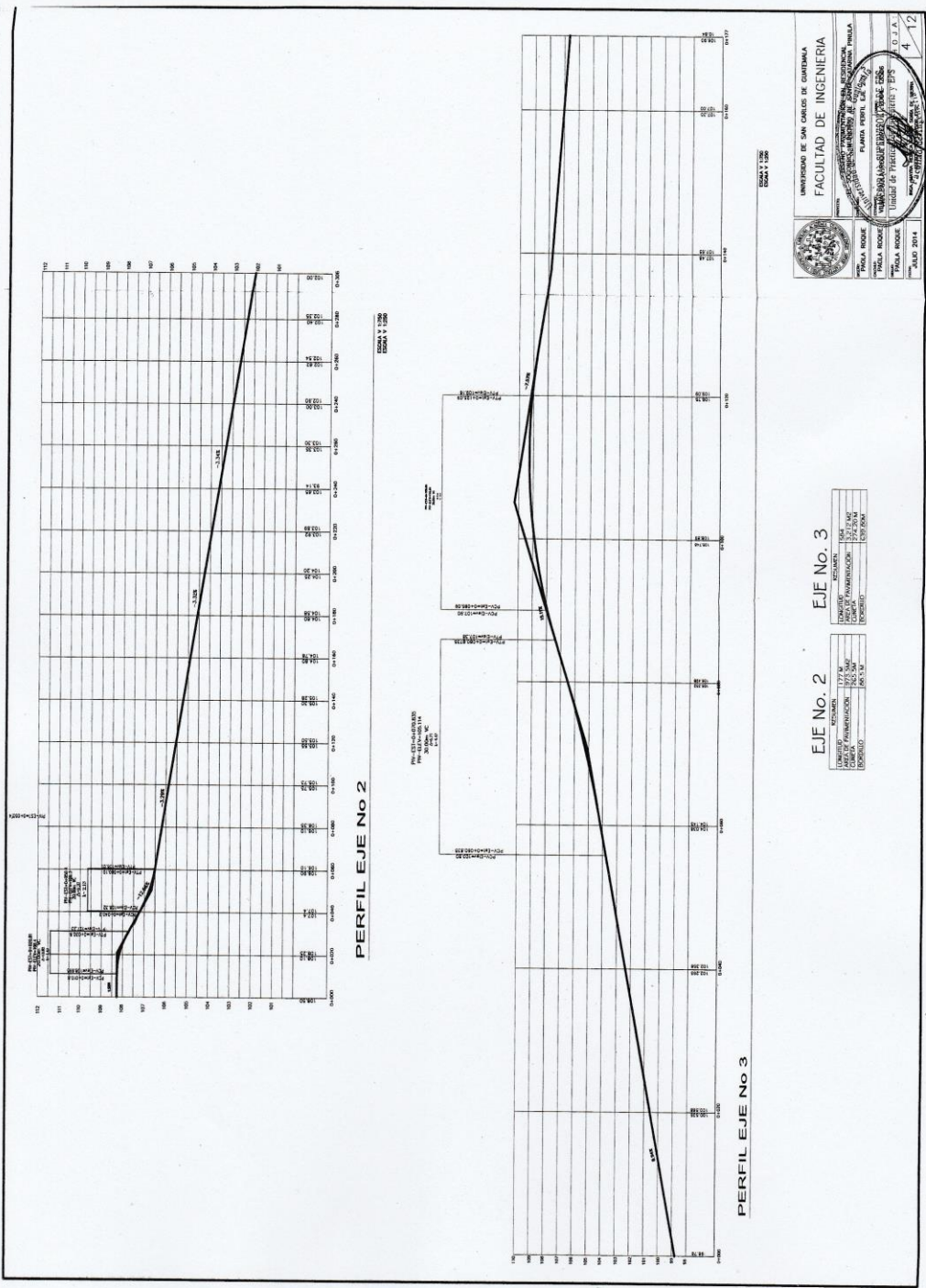
EJE No. 1

RESUMEN	
LONGITUD	1.145 M
AREA DE PAVIMENTACION	6.297,5 M2
CUNETA	2.105 M
BORDELLO	265 M

PLANTA EJE NO. 1

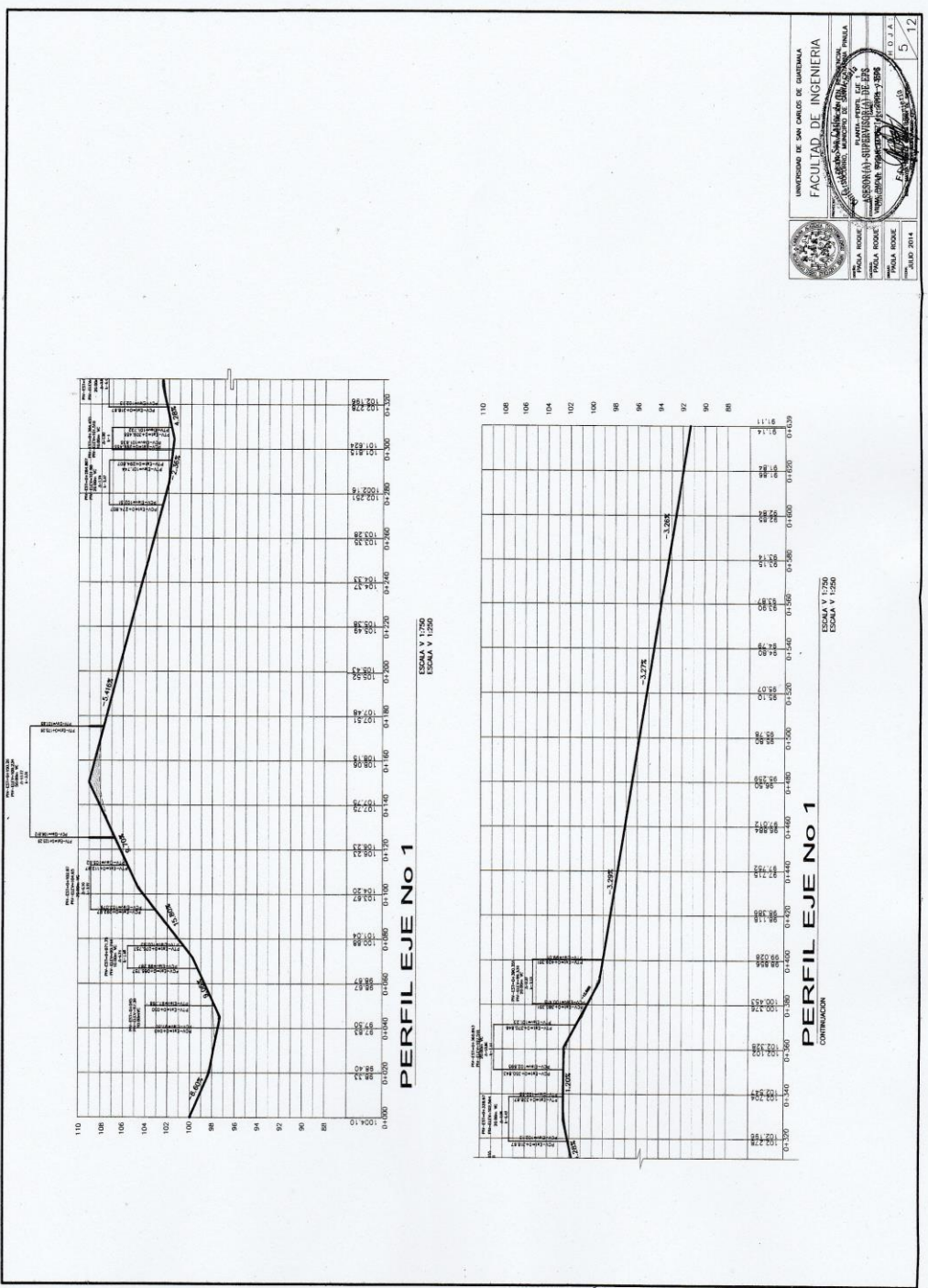
ESCALA 1:1000

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
	
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y OBRAS PUBLICAS DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS PLAZA ROOSEVELT, C.A.	
TITULO: OBRAS DE RECONSTRUCCION DEL TRAMO DE LA AV. 15 DE JUNIO ENTRE LAS AV. 15 DE JUNIO Y AV. 15 DE JUNIO C.A.	D. J. A. 2012
PLAZA ROOSEVELT, C.A. JUNIO 2012	2/12

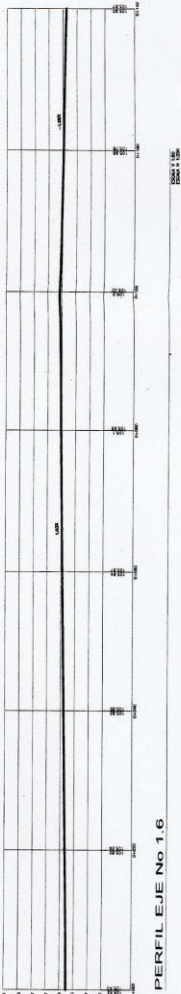
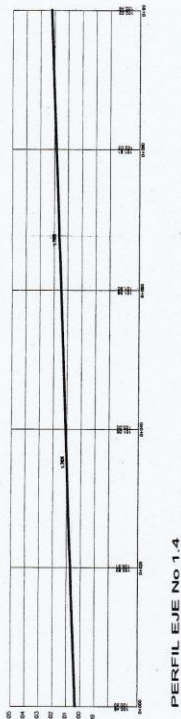
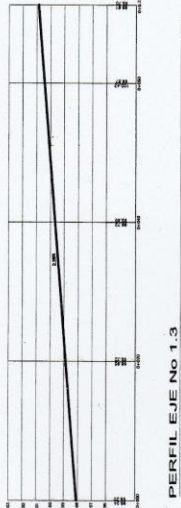
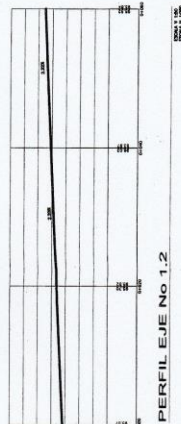
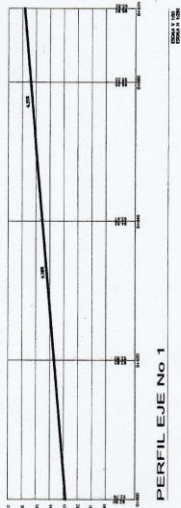


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA EN INGENIERIA CIVIL
 PUNTO VEINTIUNO DE LA AVENIDA DE LA AMPLIACION
 PARRAL ROJO
 Unidad de Estudios de Tránsito y EPS
 GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.
 15 de Julio 2014

EJE No. 2		EJE No. 3	
LONGITUD	177.7 M	LONGITUD	177.7 M
ANCHO DE CALZADA	12.0 M	ANCHO DE CALZADA	12.0 M
ANCHO DE PAVIMENTACION	10.0 M	ANCHO DE PAVIMENTACION	10.0 M
ESQUELO	100.0 M	ESQUELO	100.0 M



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 ASIGNATURA: SISTEMAS DE DISEÑO
 TÍTULO: DISEÑO DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA
 TEMA: DISEÑO DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA
 FECHA: 10/05/2014
 PÁGINA: 5 DE 12



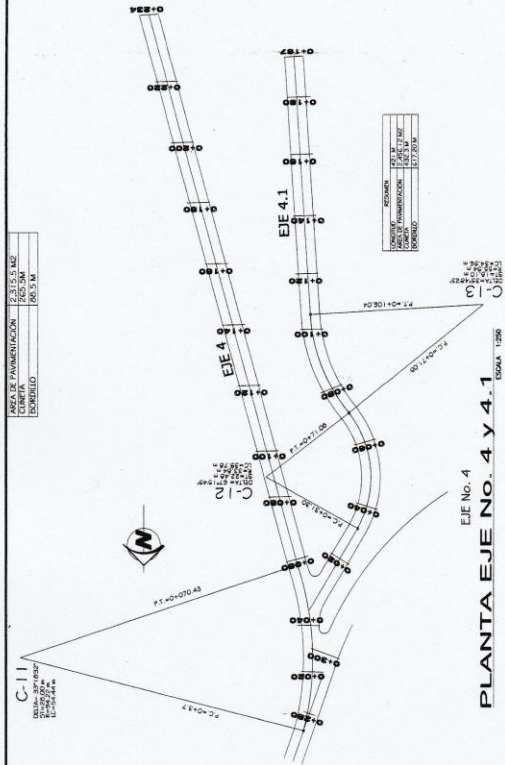
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA

PRÁCTICA NÚMERO 11
 DISEÑO DE UN TRAMO DE CARRETERA EN UN TERRENO CON PENDIENTES
 PARA UN VEHICULO CON MOTOR DE 1.6 LITROS
 Y UN VEHICULO CON MOTOR DE 1.8 LITROS
 EN UN TERRENO CON PENDIENTES

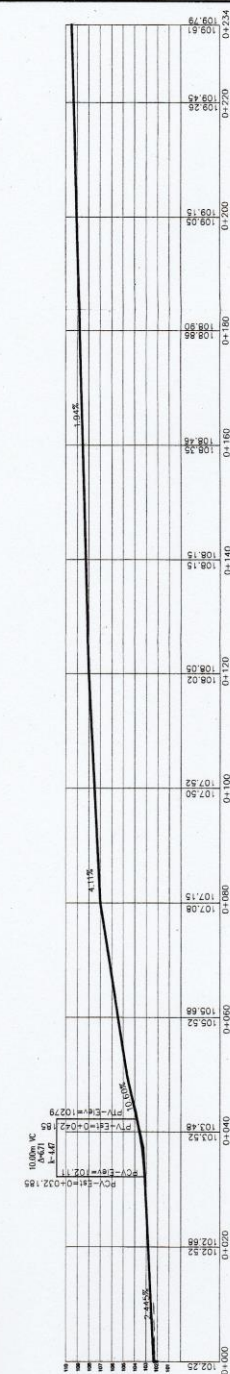
PRÁCTICA NÚMERO 11
 DISEÑO DE UN TRAMO DE CARRETERA EN UN TERRENO CON PENDIENTES
 PARA UN VEHICULO CON MOTOR DE 1.6 LITROS
 Y UN VEHICULO CON MOTOR DE 1.8 LITROS
 EN UN TERRENO CON PENDIENTES

6/12

ÁREA DE PAVIMENTACIÓN: 2.261,52 M²
 ANCHURAS DE CARRETERA: 100,00 M
 ANCHURAS DE CAMINO: 100,00 M



PLANTA EJE No. 4 Y 4.1
 EJE No. 4
 ESCALA: 1:200



PERFIL EJE No 4
 ESCALA V:1:300

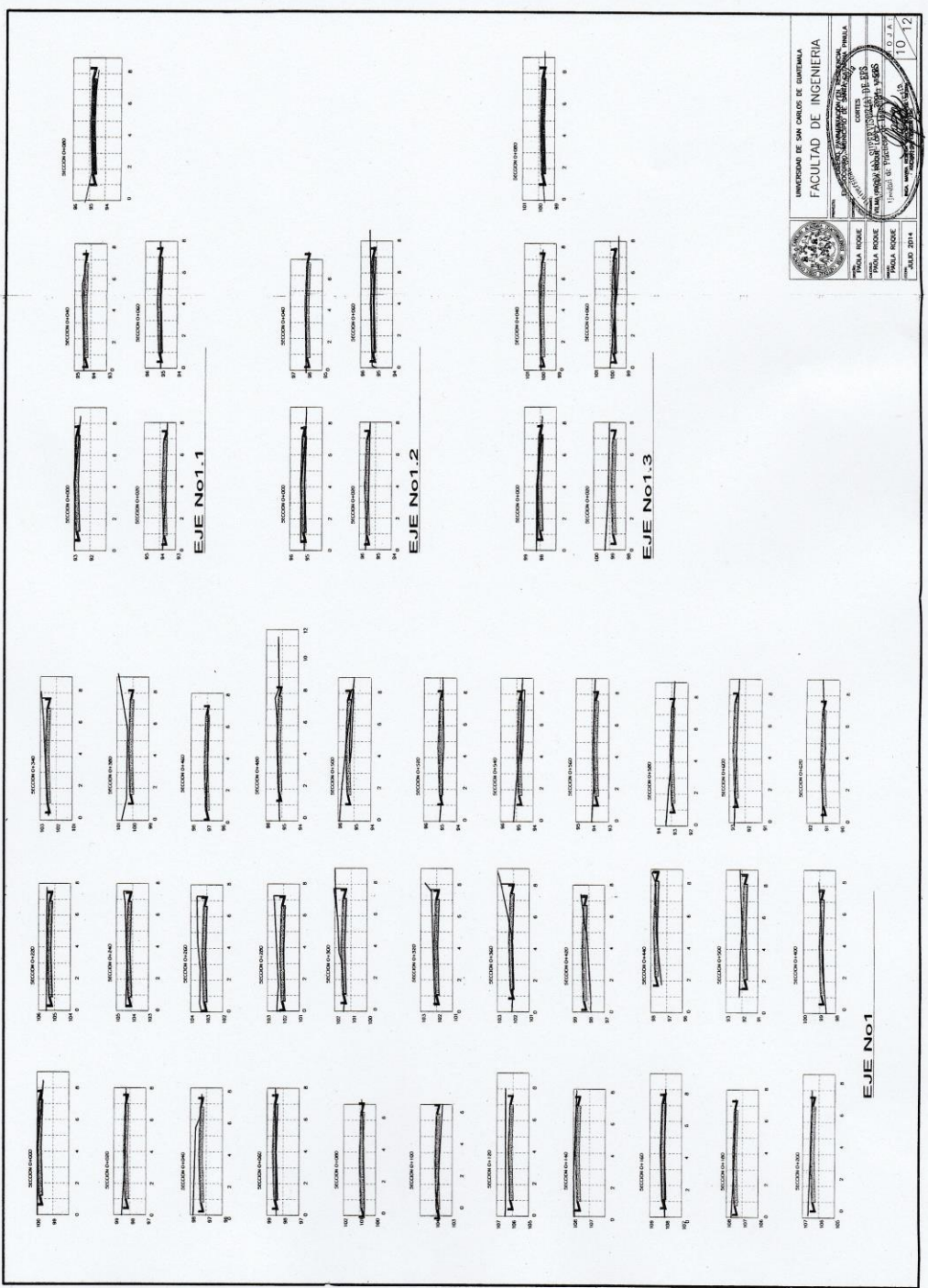
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA

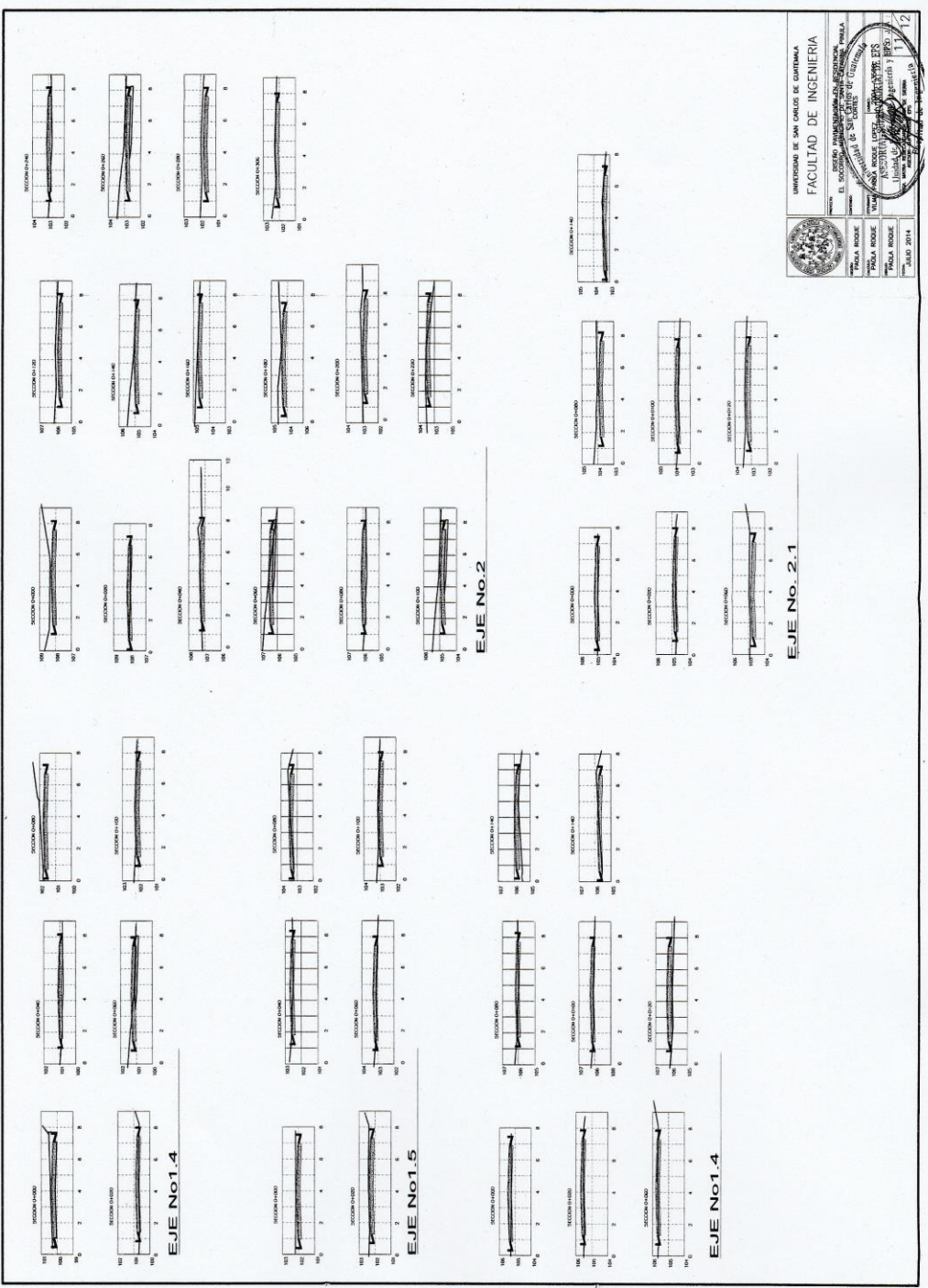
INSTITUTO VECINAL DE INGENIERIA CIVIL
 PUNTA-PIER, LACA Y RIG
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



PAULA RODRIGUEZ
 PAULA RODRIGUEZ
 PAULA RODRIGUEZ

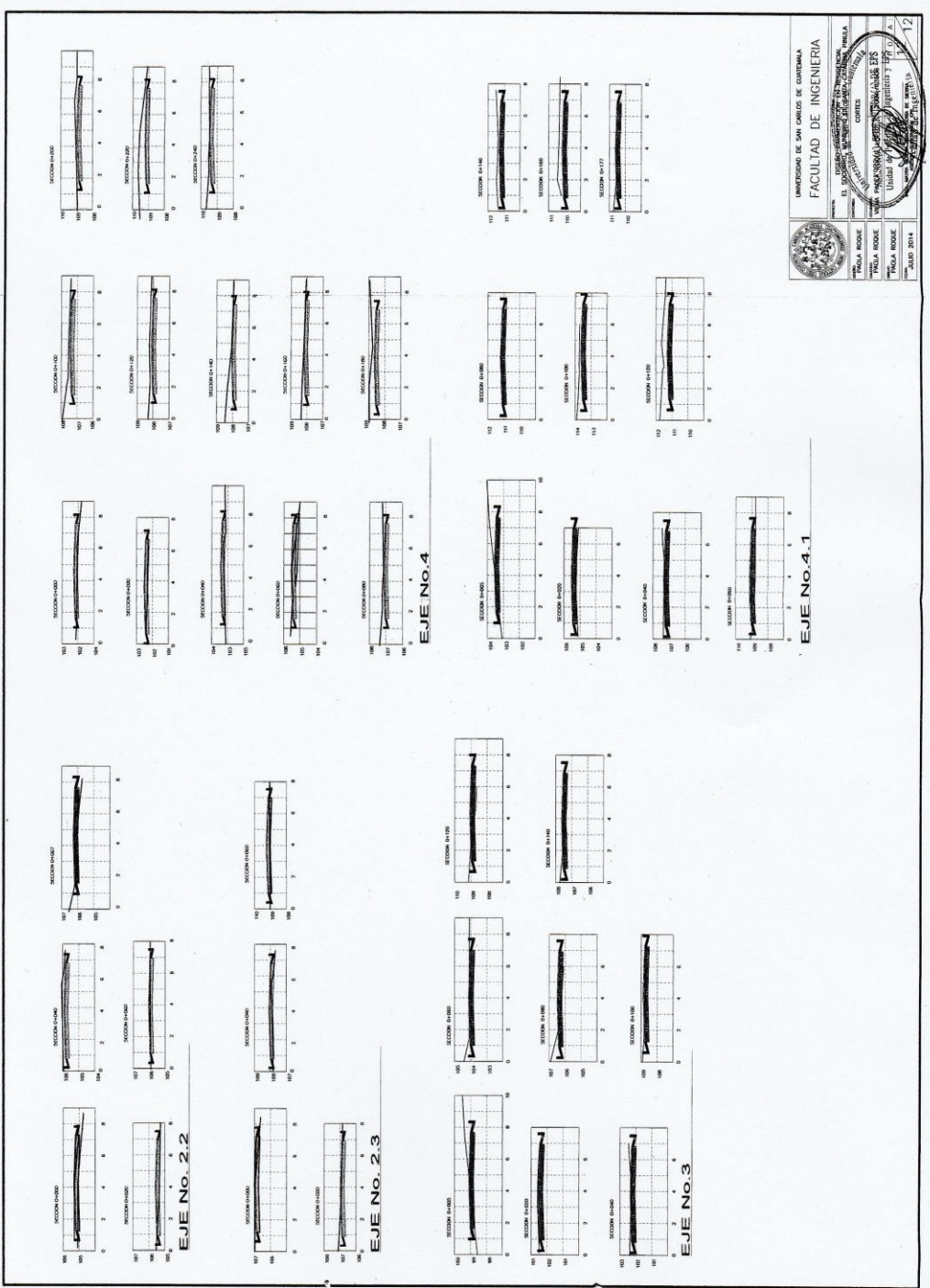
15 DE JULIO 2014

8/12





		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA
		COLEGIO PARAMATEMATICO DE GUATEMALA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TALLA ROQUE WILLIAM ROQUE LITVINOVICH TALLA ROQUE WILLIAM ROQUE LITVINOVICH	TALLA ROQUE WILLIAM ROQUE LITVINOVICH TALLA ROQUE WILLIAM ROQUE LITVINOVICH	TALLA ROQUE WILLIAM ROQUE LITVINOVICH TALLA ROQUE WILLIAM ROQUE LITVINOVICH
JULIO 2014		12



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 EL QUINCE DE SEPTIEMBRE DE 2014
 TRABAJO NO. 1
 TRABAJO NO. 2
 TRABAJO NO. 3
 TRABAJO NO. 4
 TRABAJO NO. 5
 TRABAJO NO. 6
 TRABAJO NO. 7
 TRABAJO NO. 8
 TRABAJO NO. 9
 TRABAJO NO. 10
 TRABAJO NO. 11
 TRABAJO NO. 12

