



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

**DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38  
CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

**Gerardo Francoise Maldonado Ajxup**  
Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, octubre de 2017



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38  
CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**GERARDO FRANCOISE MALDONADO AJXUP**  
ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

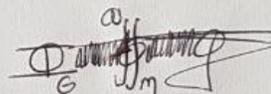


**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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 TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38  
CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 15 febrero de 2017.



**Gerardo Francoise Maldonado Ajjup**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 17 de agosto de 2017  
Ref.EPS.DOC.546.08.17

Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora  
Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Gerardo Francoise Maldonado Ajxup, Registro Académico 201213465 y CUI 2731 08786 0101**, de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5 SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, 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"

Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo  
MAAO/ra





Guatemala,  
08 de septiembre de 2017

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 TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Gerardo Francoise Maldonado Ajxup , con Registro académico No. 201213465 y CUI 2731 08786 0101 quien contó con la asesoría del Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

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

mrrm.



FACULTAD DE INGENIERIA/  
DEPARTAMENTO  
DE  
TRANSPORTE  
= US





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 11 de septiembre de 2017  
REF.EPS.D.330.09.17

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

Estimado Ingeniero Montenegro Franco:

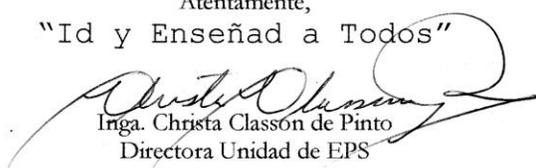
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5 SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Gerardo Francoise Maldonado Ajxup, Registro Académico 201213465 y CUI 2731 08786 0101**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS

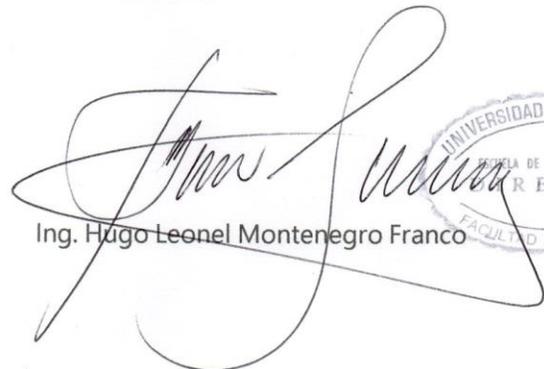
CCdP/ra







El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta y de la Coordinadora de E.P.S. Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto, al trabajo de graduación del estudiante Gerardo Francoise Maldonado Ajxup titulado **DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA** da por éste medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre  
/mrrm.





Universidad de San Carlos  
de Guatemala

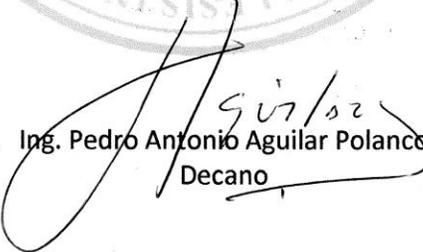


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 522.2017

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 TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Gerardo Francoise Maldonado Ajxup**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, octubre de 2017

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme todas las fuerzas necesarias para culminar esta etapa de mi vida y por darme cada día más vida.
<b>Mis padres</b>	Erick Maldonado y Elba de Maldonado por ser un ejemplo en mi vida, por tener el apoyo incondicional durante todo este tiempo y por acompañarme en este sueño. Con todo mi amor.
<b>Mis hermanos</b>	Hans, Bianka, Alisson y Jennifer Maldonado Ajxup, por ser parte importante durante todo este trayecto.
<b>Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila</b>	Por enseñarme la verdadera pasión y dedicación que implica la carrera de ingeniería civil.
<b>Rosa Marina Lavicount Mendoza</b>	Por ser parte de mi familia y tener siempre ese apoyo incondicional
<b>Mis amigos</b>	Oscar Osoy, Alan Tercero, Ramiro Quiroa, por su ayuda incondicional y por ser un ejemplo a seguir en mi vida personal.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios durante todo este tiempo.
<b>Facultad de ingeniería</b>	Por darme la oportunidad de ser parte de ella y sentirme orgulloso de ser integrante de la facultad.
<b>Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta</b>	Por su apoyo incondicional, sus consejos y toda la asesoría necesaria para culminar el trabajo de graduación.
<b>Unidad del Ejercicio Profesional Supervisado</b>	Por permitir ser parte de la unidad y desarrollar todos los procesos debidos para realizar el trabajo de graduación.
<b>Municipalidad de San Juan Sacatepéquez</b>	Por darme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado en sus instalaciones.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Monografía .....	1
1.1.1. Generalidades .....	1
1.1.1.1. Ubicación y localización.....	1
1.1.1.2. Límites y colindancias.....	4
1.1.1.3. Condiciones geológicas.....	7
1.1.1.4. Servicios .....	9
1.1.1.5. Transporte .....	9
1.1.1.6. Industria.....	10
1.1.1.7. Clima .....	10
1.1.2. Aspectos sociales .....	11
1.1.2.1. Demografía .....	12
1.1.2.2. Religión.....	13
1.1.2.3. Población.....	13
1.1.2.4. Educación .....	14
1.1.3. Diagnóstico de necesidades en infraestructura y servicios básicos.....	15
1.1.3.1. Descripción de las necesidades .....	16

1.1.3.2.	Priorización de las necesidades .....	16
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	17
2.1.	Diseño del tramo carretero comprendido de la comunidad Zet al km 38 carretera RN-5, San Juan Sacatepéquez, Guatemala.....	17
2.1.1.	Descripción del proyecto .....	17
2.1.2.	Levantamiento topográfico .....	18
2.1.2.1.	Altimetría .....	19
2.1.2.2.	Planimetría .....	19
2.1.3.	Consideraciones de diseño .....	20
2.1.3.1.	Ubicación y localización del tramo carretero .....	21
2.1.3.2.	Aspectos del camino existente .....	22
2.1.3.3.	Factores de diseño .....	24
2.1.4.	Estudio de suelos .....	25
2.1.4.1.	Granulometría .....	26
2.1.4.2.	Límites de Atterberg .....	27
2.1.4.2.1.	Límite líquido (LL) .....	28
2.1.4.2.2.	Límite plástico (LP) .....	28
2.1.4.2.3.	Índice plástico (IP).....	28
2.1.4.3.	Ensayo de compactación (proctor modificado).....	29
2.1.4.4.	CBR (ensayo de relación de soporte de california).....	31
2.1.4.5.	Análisis de resultados .....	32
2.1.5.	Diseño geométrico .....	32
2.1.5.1.	Especificaciones de diseño .....	33
2.1.5.2.	Alineamiento horizontal .....	35

	2.1.5.2.1.	Curva circular simple ....	35
	2.1.5.2.2.	Grado de curvatura.....	37
	2.1.5.2.3.	Longitud de curva .....	38
	2.1.5.2.4.	Subtangente .....	38
	2.1.5.2.5.	Cuerda máxima .....	39
	2.1.5.2.6.	External .....	39
	2.1.5.2.7.	Ordenada media.....	40
	2.1.5.2.8.	Curva de transición.....	40
	2.1.5.2.9.	Peralte .....	41
	2.1.5.2.10.	Sobreancho .....	43
	2.1.5.2.11.	Diseño geométrico de curva horizontal .....	45
	2.1.5.3.	Alineamiento vertical.....	47
	2.1.5.3.1.	Criterio de seguridad ....	51
	2.1.5.3.2.	Criterio de apariencia ...	53
	2.1.5.3.3.	Criterio de comodidad ..	53
	2.1.5.3.4.	Criterio de drenaje .....	54
	2.1.5.3.5.	Diseño geométrico de curva vertical .....	54
2.1.6.		Subrasante .....	57
	2.1.6.1.	Reacondicionamiento de subrasante existente .....	57
	2.1.6.2.	Materiales inadecuados para subrasante .....	57
	2.1.6.3.	Materiales adecuados para subrasante .....	57
2.1.7.		Elementos geométricos del alineamiento transversal .....	58
	2.1.7.1.	Ancho de corona.....	59

2.1.7.2.	Rasante .....	59
2.1.7.3.	Ancho de carril .....	59
2.1.7.4.	Bombeo .....	60
2.1.7.5.	Taludes.....	61
2.1.7.6.	Cunetas .....	62
2.1.7.7.	Drenajes transversales.....	63
2.1.8.	Movimiento de tierras .....	63
2.1.8.1.	Secciones transversales.....	64
2.1.8.2.	Cálculo de áreas .....	64
2.1.8.3.	Cálculo de volúmenes .....	66
2.1.8.4.	Diagrama de masas .....	68
2.1.9.	Estructura de pavimento.....	70
2.1.9.1.	Capa de subrasante .....	70
2.1.9.2.	Capa subbase .....	71
2.1.9.3.	Base .....	73
2.1.9.4.	Capa de rodadura .....	74
2.1.10.	Diseño de pavimento rígido.....	75
2.1.10.1.	Determinación de TPDA.....	75
2.1.10.2.	Método simplificado PCA (Asociación del Cemento Portland) .....	77
2.1.10.3.	Juntas.....	80
2.1.10.3.1.	Juntas longitudinales.....	81
2.1.10.3.2.	Juntas transversales .....	82
2.1.10.3.3.	Juntas de expansión .....	82
2.1.10.3.4.	Juntas de construcción .....	82
2.1.10.4.	Diseño de mezcla.....	82
2.1.11.	Drenajes .....	87
2.1.11.1.	Estudio hidrológico .....	88

2.1.11.2.	Hidrografía del lugar .....	88
2.1.11.3.	Precipitación .....	89
2.1.11.4.	Diseño de drenaje transversal .....	89
2.1.11.4.1.	Coeficiente de escorrentía.....	90
2.1.11.4.2.	Intensidad de lluvia.....	91
2.1.11.4.3.	Área tributaria .....	92
2.1.11.4.4.	Diámetro mínimo .....	93
2.1.11.4.5.	Radio hidráulico.....	93
2.1.11.5.	Procedimiento de cálculo.....	93
2.1.11.6.	Diseño de drenaje longitudinal.....	96
2.1.11.6.1.	Cálculo de dimensiones de cuneta.....	96
2.1.11.6.2.	Velocidad máxima permisible .....	100
2.1.12.	Elaboración de planos .....	100
2.1.13.	Presupuesto.....	100
2.1.13.1.	Integración de precios unitarios.....	101
2.1.13.2.	Resumen del presupuesto .....	112
2.1.14.	Cronograma de ejecución física y financiera .....	113
2.1.15.	Evaluación de impacto ambiental .....	114
CONCLUSIONES .....		121
RECOMENDACIONES .....		123
BIBLIOGRAFÍA.....		125
APÉNDICES .....		127
ANEXOS.....		157



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación y localización del municipio de San Juan Sacatepéquez, departamento de Guatemala.....	2
2.	Ubicación y localización de la aldea comunidad Zet .....	3
3.	Ubicación de regiones de San Juan Sacatepéquez .....	6
4.	Mapa de tipos de suelos .....	8
5.	Organización comunitaria.....	14
6.	Estación total Nikon DTM-322.....	19
7.	Mapa de localización del tramo carretero, ubicado en aldea comunidad Zet .....	21
8.	Situación actual de tramo carretero .....	22
9.	Situación actual del tramo final de carretera. ....	23
10.	Proceso de chapeo, para medición topográfica. ....	23
11.	Elementos de curva circular simple.....	36
12.	Diagrama de grado de curvatura.....	37
13.	Diagrama de fuerzas en curva con peralte.....	41
14.	Transición del sobreancho en las curvas .....	43
15.	Tipos de curvas verticales.....	49
16.	Diagrama de curva vertical.....	50
17.	Elementos geométricos de sección transversal .....	58
18.	Diagrama de estructura del pavimento.....	59
19.	Diagrama de taludes de corte y relleno.....	62
20.	Diagrama del diseño de cuneta.....	63
21.	Tipos de secciones transversales .....	64

22.	Volumen en secciones del mismo tipo.....	66
23.	Volumen entre secciones de diferente tipo .....	67
24.	Diagrama de masas.....	68
25.	Diagrama de compensación de volúmenes .....	69
26.	Esquema de juntas en un pavimento.....	81
27.	Diagrama de sección transversal de drenaje.....	89
28.	Mapa del área de influencia de la cuenca.....	92
29.	Predimensionamiento de cuneta.....	98
30.	Diagrama de cuneta dimensionada .....	100

## TABLAS

I.	Lugares poblados San Juan Sacatepéquez, Guatemala .....	4
II.	Datos meteorológicos estación Suiza Contenta .....	11
III.	Población por sexo y edad del municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala 2002-2016 (habitantes).....	12
IV.	Centros educativos en el municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala 2016 .....	15
V.	Resultado de laboratorio.....	32
VI.	Clasificación y características geométricas de carreteras .....	34
VII.	Tabla de peraltes y longitudes espiral.....	42
VIII.	Valores de diseño para sobrecanchos.....	44
IX.	Resumen de cálculos de curvas horizontales.....	47
X.	Valores de K, en función de velocidad.....	49
XI.	Comparación de volúmenes de corte y relleno.....	52
XII.	Resumen de cálculos de curvas verticales .....	56
XIII.	Valores de bombeo para carreteras.....	60
XIV.	Valores referenciales para taludes en corte (relación H:V).....	61
XV.	Valores referenciales para taludes en relleno (relación H:V) .....	61

XVI.	Cálculo de área transversal mediante determinantes .....	65
XVII.	Análisis de resultado del laboratorio.....	71
XVIII.	Correlación aproximada de la clasificación de los suelos .....	73
XIX.	Valores de módulo de reacción de base .....	74
XX.	Clasificación funcional de las carreteras regionales.....	76
XXI.	Categorías de tráfico en función de cargas por eje .....	77
XXII.	Tipos de suelo de apoyo y sus módulos de reacción aproximados .....	78
XXIII.	TPPD permisible, categoría de carga por eje Núm. 1, pavimento con junta de trabazón de agregado (no se necesitan dovelas) .....	80
XXIV.	Asentamientos recomendados para diversas estructuras.....	83
XXV.	Relación de agua cemento para diferentes asentamientos y tamaños máximos de los agregados.....	84
XXVI.	Porcentaje de arena sobre agregado grueso .....	84
XXVII.	Relación agua-cemento en función a la resistencia a compresión del concreto.....	85
XXVIII.	Tabla resumen de relación de mezcla en peso .....	86
XXIX.	Tabla resumen de relación de mezcla en volumen .....	87
XXX.	Valores de coeficiente de escorrentía .....	90
XXXI.	Fórmulas de intensidad de lluvia .....	91
XXXII.	Cálculo de volumen de excavación de cunetas .....	97
XXXIII.	Replanteo topográfico .....	102
XXXIV.	Excavación no clasificada .....	103
XXXV.	Excavación no clasificada de desperdicio .....	104
XXXVI.	Excavación estructural para cimentaciones de estructuras (bóvedas, cajas y cabezales de alcantarillas) .....	105
XXXVII.	Excavación estructural para alcantarillas .....	106
XXXVIII.	Conformación de la capa base.....	107
XXXIX.	Acarreo .....	108
XL.	Carpeta asfáltica de concreto.....	109

XL I.	Drenaje transversal.....	110
XLII.	Cunetas .....	111
XLIII.	Formulario de evaluación ambiental inicial .....	114
XLIV.	Listado taxativo de proyectos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. ....	120

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b>AC</b>	Área de corte
<b>AR</b>	Área de relleno
<b>Q</b>	Caudal a sección llena en tuberías expresada en metros cúbicos por segundo
<b>cm</b>	Centímetro
<b>C</b>	Coefficiente de escorrentía superficial
<b>n</b>	Coefficiente de rugosidad
<b>Cm</b>	Cuerda máxima
<b>D</b>	Diámetro hidráulico
<b><math>\Delta</math></b>	Diferencia algebraica de pendientes
<b>DT</b>	Drenaje transversal
<b>Elev</b>	Elevación
<b>t</b>	Espesor de losa de concreto del pavimento
<b>Est</b>	Estación
<b>E</b>	External
<b>G</b>	Grado de curvatura
<b>IP</b>	Índice plástico
<b>I</b>	Intensidad de lluvia
<b>ACI</b>	Instituto americano del concreto
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo por centímetro cuadrado
<b>Kg/cm<sup>3</sup></b>	Kilogramo por centímetro cúbico

<b>K.P.H.</b>	Kilómetros por hora
<b>lb</b>	Libra
<b>lb/pie<sup>3</sup></b>	Libra por pie cúbico
<b>LL</b>	Límite líquido
<b>LP</b>	Límite plástico
<b>LC</b>	Longitud de curva
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup>/seg</b>	Metros cúbicos por segundo
<b>m/seg</b>	Metros por segundo
<b>mm</b>	Milímetro
<b>milímetros/h</b>	Milímetros por hora
<b>min</b>	Minutos
<b>Mr</b>	Módulo de rotura del concreto
<b>Q</b>	Moneda quetzal
<b>π</b>	Número PI, 3,141592654
<b>Om</b>	Ordenada media
<b>S</b>	Pendiente
<b>S%</b>	Pendiente expresada en porcentaje
<b>e%</b>	Peralte
<b>P</b>	Perímetro mojado
<b>PNH</b>	Peso neto húmedo
<b>PNS</b>	Peso neto seco
<b>PUH</b>	Peso unitario húmedo
<b>PUS</b>	Peso unitario seco
<b>H%</b>	Porcentaje de humedad
<b>PU</b>	Precio unitario
<b>PC</b>	Principio de curva
<b>PCV</b>	Principio de curva vertical

<b>PT</b>	Principio de tangente
<b>PTV</b>	Principio de tangente vertical
<b>PI</b>	Punto de intersección
<b>PIV</b>	Punto de intersección vertical
<b>Pulg</b>	Pulgada
<b>R</b>	Radio
<b>f'c</b>	Resistencia a la compresión del concreto
<b>St</b>	Subtangente
<b>TPD</b>	Tránsito promedio diario
<b>TPDA</b>	Tránsito promedio diario anual
<b>TPDC</b>	Tránsito promedio diario de camiones
<b>TPPD</b>	Tránsito pesado promedio diario
<b>Ha</b>	Unidad de medida de hectáreas
<b>PSI</b>	Unidad de medida de presión en libras fuerza por pulgada cuadrada



## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes. <i>American Association of State Highway and Transportation Officials.</i>
<b>ACI</b>	Instituto Americano del Concreto, <i>American Concrete Institute.</i>
<b>Aforo vehicular</b>	Método estadístico que tiene como finalidad la determinación del número de vehículos que transitan en un lugar determinado durante un tiempo estimado
<b>Agregado</b>	Materiales inertes de determinadas características que conforman el concreto, excluyendo el agua.
<b>Agregado fino</b>	Agregado del concreto que sus partículas tienen un diámetro entre 0,074 y 4,76 milímetros (arena).
<b>Agregado grueso</b>	Agregado que sus partículas tienen un diámetro que varía entre 4,75 y 19,10 milímetros, normalmente se le denomina pedrín o grava.
<b>Asentamiento</b>	Descenso de nivel que presenta una estructura debido al hundimiento del suelo.

<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para pruebas y materiales, <i>American Society for Testing and Materials</i> .
<b>Base</b>	Capa de material seleccionado de granulometría específica que se construye sobre la subbase.
<b>Bombeo</b>	Pendiente transversal descendente de la corona o subcorona a partir de su eje y hacia ambos lados, en tangente horizontal.
<b>Capa de rodadura</b>	Capa superior del pavimento formado por mezclas bituminosas o mezcla de concreto hidráulico.
<b>Carril</b>	Superficie de rodamiento que tiene el ancho suficiente para permitir la circulación de una hilera de vehículos.
<b>Caudal</b>	Volumen por unidad de tiempo (ejemplo metros cúbicos por segundo o litros por segundo).
<b>Cemento</b>	Aglomerante hidráulico, es decir, que reacciona y fragua con agua, utilizada en el concreto y su función es aglomerar o pegar los agregados que conforman el concreto.
<b>COCODE</b>	Consejo Comunitario de Desarrollo.

<b>Corona</b>	Superficie terminada de una carretera, comprendida entre sus hombros.
<b>Cuneta</b>	Zanja revestida que se encuentra ubicada a los costados de los carriles, tiene la función de circular el agua debido a la acción de la gravedad.
<b>Derecho de vía</b>	Superficie de terreno cuyas dimensiones son nombradas por la Dirección General de Caminos que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción y ampliación, protección en general, para el uso adecuado de una vía de comunicación y de sus servicios auxiliares.
<b>Fórmula de Manning</b>	Se utiliza para determinar la velocidad de un flujo a cielo abierto; relaciona la rugosidad de la superficie, la pendiente y el radio hidráulico de sección.
<b>PCA</b>	<i>Portland Cement Association</i> , Asociación del Cemento Portland.
<b>Periodo de diseño</b>	Período durante el cual la obra diseñada presentará un servicio eficiente y satisfactorio para el cual fue diseñado.
<b>Rasante</b>	Proyección del desarrollo del eje de la corona de una carretera sobre un plano vertical.

<b>Sección transversal</b>	Representación gráfica transversal y acotada que muestra las partes de los componentes de una carretera.
<b>Talud</b>	Inclinación de la superficie de los cortes o de los terraplenes.

## RESUMEN

En el primer capítulo del siguiente trabajo, se describe la fase de investigación donde se desglosa la monografía de la comunidad, sus aspectos sociales y el diagnóstico de necesidades; con base en lo último mencionado se determina el proyecto que tiene como nombre diseño del tramo carretero comprendido de la comunidad Zet al km 38 carretera RN-5, San Juan Sacatepéquez, Guatemala.

En el segundo capítulo se realiza una descripción técnica del proyecto, se describen las consideraciones del diseño de dicho proyecto. Se realizó el estudio de suelos en donde se muestran los resultados de los ensayos realizados y el diseño geométrico del alineamiento vertical y horizontal. Se describen los elementos geométricos del alineamiento horizontal basados en las normativas.

De igual manera se realiza el cálculo del movimiento de tierras y el diseño de pavimento rígido mediante el método simplificado de TPDA, tomando en consideración los distintos parámetros, con el fin de realizar el diseño de mezcla del concreto. Se realizó el estudio hidrológico de la cuenca para realizar el diseño de los drenajes transversales y longitudinales.

Por último se elaboró la integración de precios unitarios por medio del presupuesto final asimismo; se realizó el cronograma de ejecución física y financiera, evaluación de impacto ambiental, los planos finales y se adjuntan los resultados de los laboratorios de suelos.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar el diseño del tramo carretero el cual se encuentra ubicado en aldea comunidad Zet al km 38 carretera RN-5, San Juan Sacatepéquez, Guatemala.

### **Específicos**

1. Elaborar una investigación de carácter monográfico y diagnóstico de necesidades de servicios básicos e infraestructuras de la aldea comunidad Zet.
2. Planificar la solución más viable y técnicamente factible para el diseño del tramo carretero, con el fin de cumplir con los estándares de diseño y al mismo tiempo tener una propuesta económica, según especificaciones de la Dirección General de Caminos.
3. Elaborar los planos correspondientes al diseño de la carretera al igual que el presupuesto, cronograma de ejecución y evaluación de impacto ambiental.
4. Realizar el diseño de pavimento adecuado mediante el método simplificado (PCA).



## INTRODUCCIÓN

El municipio de San Juan Sacatepéquez está ubicado a 31 km de la ciudad capital por la ruta nacional cinco, limita por el lado norte con el municipio de Granados, Baja Verapaz, al este con el municipio de San Raymundo, al sur con el municipio de San Pedro Sacatepéquez; y al oeste con el municipio de San Martín Jilotepeque.

En el diagnóstico realizado en el municipio de San Juan Sacatepéquez se detectaron diversas necesidades, incentivando a brindar una ayuda técnica y profesional con la realización del proyecto: “diseño del tramo carretero comprendido de la comunidad Zet al km 38 carretera rn-5, San Juan Sacatepéquez, Guatemala”, cuenta con la aprobación de la dirección municipal de planificación y el Cocode de aldea comunidad Zet.

En el proyecto anteriormente mencionado se presenta la propuesta del diseño de una vía alterna, consiste en la construcción de una carretera, siendo la misma una solución a uno de los problemas más graves, como es el tránsito vehicular de San Juan Sacatepéquez.



# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

El propósito de esta fase es conocer la comunidad y cada una de las necesidades que posee actualmente, forma de vida y todos los elementos que forman parte de la vida cotidiana de los habitantes.

## **1.1. Monografía**

Se presentará una descripción muy concisa sobre los aspectos sociales, físicos y ambientales del municipio.

### **1.1.1. Generalidades**

San Juan Sacatepéquez es un municipio del Departamento de Guatemala de la región metropolitana, tiene una extensión territorial de 287 km<sup>2</sup>, siendo uno de los municipios más grandes del departamento de Guatemala la municipalidad de San Juan Sacatepéquez ha dividido el departamento en cuatro regiones de las cuales la aldea comunidad Zet pertenece a la segunda región.

#### **1.1.1.1. Ubicación y localización**

El municipio de San Juan Sacatepéquez se encuentra situado en la parte noroeste del departamento de Guatemala. Se localiza en la latitud 14° 43' 02" y en la longitud 90° 38' 34". Cuenta con una extensión territorial de 187 kilómetros cuadrados, y se encuentra en una altura de 2 184,5 metros sobre el nivel del mar, por lo que generalmente su clima es frío. Dista 32 km de la cabecera

departamental de Guatemala. La cabecera municipal tiene categoría de villa, dividiéndose el municipio en 20 aldeas y 56 caseríos.

La aldea comunidad de Zet se encuentra situada al suroeste de San Juan Sacatepéquez, se localiza en la latitud 14,7333 y en la longitud -90,6333. Dista de 2 kilómetros del centro de San Juan Sacatepéquez.

En la figura 1 se encuentra el mapa de ubicación geográfica del municipio de San Juan Sacatepéquez, departamento de Guatemala.

Figura 1. **Ubicación y localización del municipio de San Juan Sacatepéquez, departamento de Guatemala**



Fuente: Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.



### 1.1.1.2. Límites y Colindancias

#### Límites

De acuerdo a la actualización de los lugares poblados realizados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) se puede observar la distribución en el siguiente cuadro:

Tabla I. **Lugares poblados San Juan Sacatepéquez, Guatemala**

<b>Categorización</b>	
Pueblo	1
Aldeas	20
Caseríos	56

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

El municipio de San Juan Sacatepéquez se divide en cuatro regiones con base a la distribución que existe por parte del Consejo Municipal de Desarrollo (COMUDE).

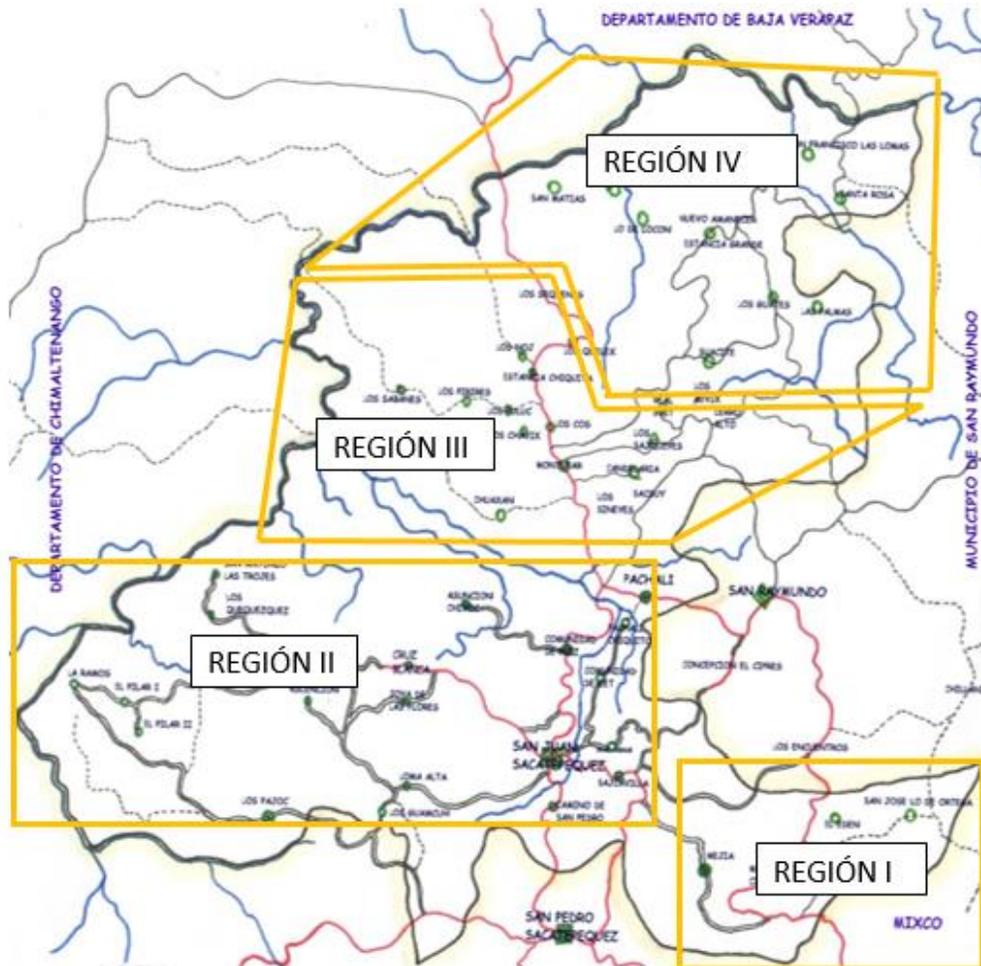
- Región I: área sur del municipio, está conformada por complejos habitacionales (colonias), es conocida como Ciudad Quetzal que actualmente son: Lo de Mejía, Carranza, La Económica, San José lo de Ortega, Villa Verde, San Juaneritos, Villa de Quetzal, Los Encerros, Colonia los Robles I, II, III, IV, Colonia Las Margaritas, San Francisco El Bosque I y II, Ciudad Quetzal (centro).
- Región II: área central de concentración comercial y turística, está integrada por: Chitol, Cruz Verde, Sajcavilla, comunidad Zet, Camino a

San Pedro, Pachali Chiquito, Comunidad de Ruiz, Cruz Blanca, Joya de las Flores, Pacayaj, Barrio Chitun, Lo de Ramos, Sector uno Ojo de Agua, Pajoques, Pilar II, San Antonio las Trojes I, Cruz de Ayapan, Los Guamuches, Loma Alta, La Viña, Asunción Chivoc, colonia Cerro Candelaria.

- Región III: área central norte comprende las comunidades de Joya Linda, Pachum, Los Caneles, Los Caneles II, Los Pirires, Sector la Buena Esperanza, Estancia el Rosario, San Jerónimo Chuaxan, Montufar, Caserío Los Simeyes, Caserío los Chajones, Sacsuy, Caserío Los Cux, Candelario, Cerro Alto, Los Patzanes II, Los Chajones, San Francisco Las Animas y Llanos de San Juan.
- Región IV: área norte se integra por las comunidades: Estancia Grande, Los Guates, Colonia San Jorge, La Soledad, Santa Rosa, Las Palmas, Patinil, San Matías y Suacité.

En la figura 3 se encuentra el mapa de regiones del municipio de San Juan Sacatepéquez, Departamento de Guatemala.

Figura 3. Ubicación de regiones de San Juan Sacatepéquez



Fuente: Municipalidad de San Juan Sacatepéquez, Guatemala. *Plan Estratégico para el Desarrollo Integral y la Gobernabilidad*. p. 12.

- Colindancias

San Juan Sacatepéquez, municipio del departamento de Guatemala, colinda al norte con Granados (Baja Verapaz), al este con los municipios de San Raymundo y San Pedro Sacatepéquez y Chinautla (Guatemala), al sur con

el municipio de San Pedro Sacatepéquez (Guatemala), al oeste con los municipios de San Martín Jilotepeque, el Tejar (Chimaltenango) y Santo Domingo Xenacoj (Sacatepéquez). Su municipalidad es de segunda categoría debido al tamaño de su extensión territorial y su población.

La aldea comunidad Zet está situada a 2 kilómetros del centro de San Juan Sacatepéquez, colinda al norte con el caserío Pachalí; al sur con el caserío Sajcavilla, colonia Cañas de San Juan, colonia Bosques de San Juan; al este, con el caserío Concepción; al oeste con la colonia Pinares de San Juan, con la aldea Comunidad Ruiz y con el caserío Cerro Candelaria.

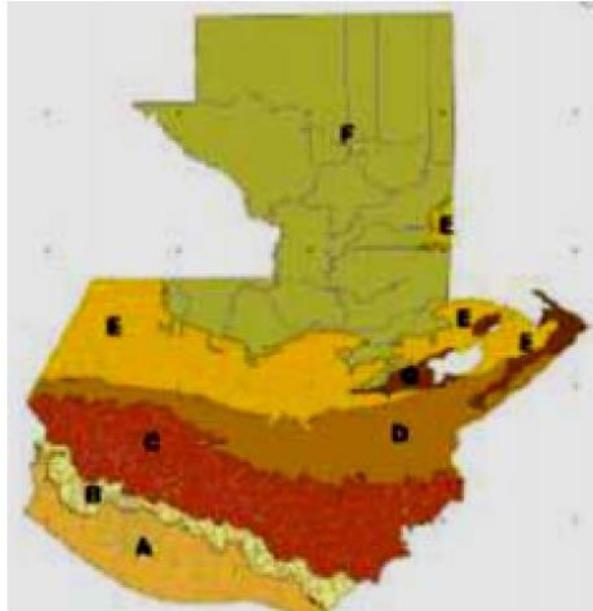
El municipio cuenta con tres accesos, uno por la Ruta Nacional (RN-5), conduce hacia la ciudad capital al municipio, dista 25 km; a la cabecera San Pedro Sacatepéquez y de allí a la de San Juan Sacatepéquez unos 6 km por la misma ruta asfaltada. Existe otra ruta alterna vía Santiago Sacatepéquez, posteriormente San Pedro Sacatepéquez para luego ingresar a la Ruta Nacional (RN-5), hacia San Juan Sacatepéquez, encontrándose en buenas condiciones y asfaltada.

### **1.1.1.3. Condiciones geológicas**

Guatemala tiene condiciones geológicas especiales, debido a su ubicación convergen tres placas tectónicas, las cuales son: placa de Cocos, del Caribe y de Norteamérica.

Por lo cual Guatemala posee distintos tipos de suelos debido a la formación geológica del país. Utilizando el sistema de clasificación de suelos Fao/Unesco, los tipos de suelos que predominan en el país son:

Figura 4. **Mapa de tipos de suelos**



- A Tierra de la llanura costera del pacífico
- B Tierra volcánicas de bocacosta
- C Tierra altas volcánicas
- D Tierra metamórficas
- E Tierra calizas altas del norte
- F Tierra calizas bajas del norte
- G Tierra de las llanuras de inundaciones del norte

Fuente: Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.

La clasificación en el área corresponde a la de tierras altas volcánicas, por lo que la composición del suelo del municipio de San Juan Sacatepéquez corresponde a esta clasificación.

#### **1.1.1.4. Servicios**

En el casco urbano de la cabecera municipal se cuenta con todos los servicios básicos, tales como: servicio de energía eléctrica, servicio de drenajes, agua potable, centro de salud, academias de computación, academias de inglés, escuelas pre-primaria, primaria, institutos y colegios de educación media; además existen en la localidad iglesias católicas, algunas aldeas y caseríos carecen de dichos servicios.

Los habitantes de aldea Comunidad Zet tienen acceso a la educación pre-primaria, primaria energía eléctrica, transporte público, por otra parte el agua potable y el servicio de aguas negras no tiene cobertura a todos los habitantes de la aldea.

Por otra parte en el aspecto de salud la aldea Comunidad Zet no cuenta con un puesto de salud accesible debido a la situación actual de la carretera existente, por lo cual únicamente existen comadronas capacitadas, quienes prestan sus servicios en los diferentes caseríos y contribuyen con el puesto de salud en la captación de pacientes para el control prenatal.

#### **1.1.1.5. Transporte**

San Juan Sacatepéquez cuenta distintos servicios de transportes entre los cuales podemos mencionar: buses extraurbanos, micro-buses, taxis. Dichos transportes mencionados se encuentran en el parque central de San Juan Sacatepéquez y las tarifas de los mismos son bastante económicas para los habitantes.

Por otra parte la aldea Comunidad Zet cuenta únicamente con el transporte de micro-buses los cuales son escasos debido a las malas condiciones de la vía principal, por lo cual los habitantes de dicha aldea optan por caminar grandes distancias o usar otros transportes alternos, como lo son la bicicleta, la motocicleta y en algunos casos especiales carros de doble tracción.

#### **1.1.1.6. Industria**

En la industria San Juan Sacatepéquez se ha caracterizado por realizar productos en tapicería, tejeduría y cestería, ya que en esta región se cosecha la palmera de secano, de donde se extrae el material para realizar los canastos.

Las principales actividades económicas a las que se dedican la población son: agricultura, industria, ganadería y avicultura. Su industria principal es la fabricación de inmobiliario, además existen otras industrias del sector privado las cuales han iniciado en los años recientes, y han sido fuente de generación de empleos nuevos para el municipio. Por otra parte la industria que lleva mayor tiempo en San Juan Sacatepéquez es la floricultura.

En la aldea Comunidad Zet, existe la industria de inmobiliario y también la de la floricultura.

#### **1.1.1.7. Clima**

Por su ubicación el municipio de San Juan Sacatepéquez (meseta y altiplano), presenta montañas que definen mucha variabilidad, generando diversidad de microclimas.

De acuerdo con la estación meteorológica más cercana al municipio de San Juan Sacatepéquez, la cual tiene el nombre “Suiza Contenta”, ubicada en finca Suiza Contenta, San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez, tiene las siguientes condiciones:

Las lluvias no son tan intensas, los registros más altos se obtienen de mayo a Noviembre con un precipitación de 1251.5 mm. Para el año 2015 en cuanto a la temperatura, su máxima es de 23.5 °C y una mínima 7.2°C.

Tabla II. **Datos meteorológicos estación Suiza Contenta**

Estación meteorológica, Suiza Contenta año 2016			
Latitud	143 708	Temperatura media °C	17
Longitud	903 940	Temperatura máxima °C	23,5
Altitud	2 105	Temperatura mínima °C	7,2
Precipitación anual (mm)	944,8	Nubosidad (octas)	6
Días lluviosos anual (días)	110	Velocidad del viento (km/h)	1,6

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

### 1.1.2. Aspectos sociales

En esta sección se explicarán los aspectos sociales de los habitantes de San Juan Sacatepéquez al igual que la aldea Comunidad Zet, dichos aspectos los cuales son: demografía, religión, tipo de población, y educación.

### 1.1.2.1. Demografía

Con base en las proyecciones estimadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE), la población total para el año 2016 era de 224,493 habitantes, cuya distribución por sexo y edad se proyecta en el cuadro siguiente:

Tabla III. **Población por sexo y edad del municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala 2002-2016 (habitantes)**

Edad	Año 2002			Año 2016		
	Población Total	Hombres	Mujeres	Población Total	Hombres	Mujeres
0-14	66,177	34,273	31,904	72,799	32,637	40,162
15 y Más	86,406	42,102	44,304	151,694	74,349	77,345
total	152,583	76,375	76,208	224,493	106,986	117,507

Fuente: INE. *Proyecciones de población 2016 con base en el censo poblacional XI y VI de habitación del 2002.* p. 18.

Relacionando los datos la tabla II, se establece que la población del municipio al 2016 presentó un crecimiento del 57,13 % con respecto al 2002. Según el XI censo de población y VI de habitación realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en el 2002 la población del municipio de San Juan Sacatepéquez, presentaba una concentración mayor en la población de edad de 0-30 años de edad, considerando esta tendencia para las proyecciones estimadas se puede establecer que la población de este municipio es joven.

### **1.1.2.2. Religión**

Los habitantes del departamento de San Juan Sacatepéquez en su mayoría practican la religión católica y su principal iglesia queda ubicada en el parque central del departamento y tiene como nombre, Iglesia Parroquia San Juan Bautista. Pero hoy en día existen muchas iglesias evangélicas, con lo cual los habitantes que practican esta religión son menores.

### **1.1.2.3. Población**

El municipio presenta una densidad poblacional media, ubicándolo en el noveno lugar a nivel departamental y concentra su población en el casco urbano, promediando aproximadamente una población de 532 habitantes por kilómetro cuadrado.

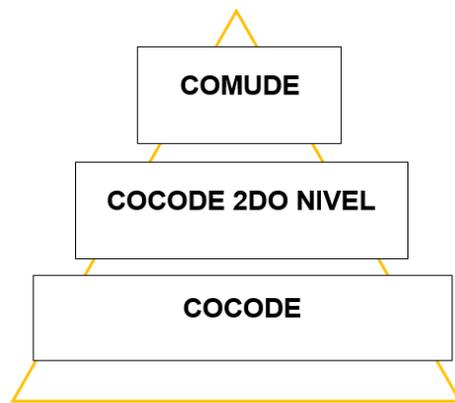
La estructura poblacional de acuerdo al grupo étnico se encuentra concentrada únicamente en el grupo Kaqchikel, siendo uno de los cuatro municipios del departamento de Guatemala con mayor población indígena, según los datos del último censo realizado en Guatemala, el municipio estaba conformado por el 65 % población indígena y el 35 % no indígenas.

Por otra parte en la actualidad el núcleo familiar se compone de un total de 3 a 4 hijos, con un promedio de 6 a 5 miembros por familia. La tasa de crecimiento anual es de 2,5 % y la mayoría de habitantes son bilingües hablantes del idioma español y Kaqchiquel.

El municipio cuenta con una organización comunitaria conformada por: 84 COCODES inscritos en el registro civil de la municipalidad representa el 95 %

del total de comunidades que conforman el municipio (88 en total, de los cuales 13 son aldeas y el resto caseríos, colonias, sectores).

Figura 5. **Organización comunitaria**



Fuente: Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.

#### **1.1.2.4. Educación**

Con respecto a la educación formal, San Juan Sacatepéquez cuenta con 571 centros educativos de los diferentes niveles de educación entre públicos, municipales, por cooperativa y privados.

Actualmente San Juan Sacatepéquez presenta un índice de cobertura por arriba del 100 % en lo referente a la educación primaria, sin embargo, en las coberturas de educación preprimaria (62 %) y básicos (45,3 %), a pesar de que estas cifras se encuentran por arriba de las presentadas a nivel nacional, 45,5 % y 44 % respectivamente, ésta aún no se han logrado cubrir en su totalidad, por lo que se puede establecer que actualmente los centros educativos son insuficientes a las demandas de la población de este municipio.

Tabla IV. **Centros educativos en el municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala 2016**

<b>Centro Educativo/Nivel educativo</b>	<b>Párvulos</b>	<b>Preprimaria</b>	<b>Primaria de adultos</b>	<b>Primaria</b>	<b>Básicos</b>	<b>Diversificado</b>	<b>Total por sector</b>
Público	100	38	1	119	34	5	297
Privado	60	2	7	62	76	56	263
Municipalidad	-----	-----	-----	-----	1	-----	1
Por cooperativa	-----	-----	-----	-----	10	-----	10
<b>Total por Nivel</b>	<b>160</b>	<b>40</b>	<b>8</b>	<b>181</b>	<b>121</b>	<b>61</b>	<b>571</b>

Fuente: Ministerio de Educación.

### **1.1.3. Diagnóstico de necesidades en infraestructura y servicios básicos**

Las necesidades tienen un origen dado la insuficiencia y baja calidad de los distintos servicios que deberían de ser prestados a la población, tales como: servicio de agua potable, servicio de drenajes sanitarios, recolección y manejo de basura, vivienda, servicio de transporte, energía eléctrica, educación, salud, cementerio y vías de acceso, entre otros.

Debido a todas las necesidades es conveniente realizar una lista en donde se encuentren planteadas por los COCODES para contar con la información a fin de realizar un inventario y clasificar y priorizar las necesidades conjuntamente con la municipalidad de San Juan Sacatepéquez.

### **1.1.3.1. Descripción de las necesidades**

El departamento de San Juan Sacatepéquez cuenta con diversas necesidades, de las cuales la municipalidad prioriza con base en la demanda de los proyectos, que es elaborada por los COCODES de las diferentes aldeas, comunidades o caseríos. Posteriormente la municipalidad es la encargada de gestionar todas las necesidades y darles solución mediante proyectos que cubran la demanda.

Por lo general los proyectos que más se ejecutan son los de: diseño de drenajes pluviales, de abastecimiento de agua potable, construcción de centros educativos, de puestos de salud y remodelación de una ruta existente.

La aldea comunidad Zet tiene muchas necesidades de las cuales surge el proyecto de diseño de un tramo carretero, ayudará a un desarrollo interno para la aldea tanto económico como social. Debido a que proporcionara una vía de acceso transitable, la cual a su vez, generará más comercio en dicha comunidad.

### **1.1.3.2. Priorización de las necesidades**

Posteriormente de identificar las necesidades y realizar una lista de proyectos priorizados en la aldea comunidad Zet, se llegó a la conclusión que era de suma importancia la elaboración del tramo carretero comprendido de la comunidad Zet al km 38 carretera RN-5, San Juan Sacatepéquez, Guatemala. Dicha conclusión se llevó a cabo mediante el COCODE de dicha aldea, y conjuntamente con la municipalidad para realizar los trámites legales que implica el derecho de vía en terrenos privados.

## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Diseño del tramo carretero comprendido de la comunidad Zet al km 38 carretera RN-5, San Juan Sacatepéquez, Guatemala**

Para el diseño de dicho proyecto se tomó en consideración la cantidad de tránsito vehicular, así como la clasificación del mismo para comenzar con el procedimiento de diseño y tomando en consideración los parámetros descritos a continuación.

#### **2.1.1. Descripción del proyecto**

Posteriormente al estudio de las necesidades de la aldea comunidad Zet, se determinó que la prioridad, es el proyecto que tiene como nombre, diseño del tramo carretero comprendido desde la comunidad Zet al km 38 de la carretera RN-5 (ruta nacional), el cual tiene una longitud de 4,40 km, se clasifica como una carretera tipo F montañosa con las siguientes características: ancho de calzada de 7,50 metros, velocidad de diseño 20 kilómetros por hora, radio mínimo de curvas horizontales de 30 metros y una pendiente máxima en el alineamiento vertical de 14 %.

Dado que el proyecto consiste en la pavimentación del tramo carretero fue necesario realizar los estudios de suelos, por lo cual se tomó una muestra significativa para posteriormente realizar los ensayos: granulometría, proctor modificado y el ensayo valor soporte CBR. Una vez obtenidos los resultados del estudio de suelos se realizó el diseño del pavimento rígido (concreto hidráulico), mediante el método simplificado PCA.

Posteriormente de obtener los resultados se realizó el diseño de las secciones transversales con sus respectivos parámetros, tomando en consideración las normas de la Dirección General de Caminos, con lo cual fue plasmado en los planos respectivos.

### **2.1.2. Levantamiento topográfico**

Debido a las características actuales del terreno se optó por realizar un estudio de planimetría y altimetría para obtener una representación gráfica de las características físicas del terreno.

El levantamiento topográfico consiste en una poligonal abierta formada por ángulos orientados a un mismo norte y distancias con estaciones intermedias a cada 20 metros, el estacionamiento inicial es de 0+000. Dado que las características del terreno son irregulares es necesario conocer el perfil para el análisis de movimientos de tierra y pendientes, por ello se realizó el estudio de altimetría para medir las respectivas diferencias de altitud en cada tramo.

Para la realización del levantamiento topográfico se efectuó mediante la estación total (Nikon DTM-322) con sus respectivos accesorios.

Figura 6. **Estación total Nikon DTM-322**



Fuente: *Nikon DTM-322*. Manual de estación total. p. 3.

#### **2.1.2.1. Altimetría**

Es la rama de la topografía que permite definir los niveles de una porción de terreno, es decir, la variación de alturas que existen respecto de un plano horizontal dentro del mismo.

El objetivo primordial de la altimetría es referir una serie de puntos a un mismo plano de comparación para deducir los desniveles de los puntos observados.

#### **2.1.2.2. Planimetría**

Es la rama de la topografía que comprende los métodos y procedimientos que tienen como finalidad conseguir la representación horizontal a escala, sobre una superficie plana, prescindiendo de su relieve.

Para obtener los datos se utilizan diferentes métodos, por lo cual se mencionaran los métodos más utilizados.

- Levantamiento por poligonales: este método consiste en medir distancias horizontales y azimut a lo largo de una línea quebrada a partir de un solo punto conocido.
- Levantamiento por proyección radial: este método consiste en medir distancias horizontales y azimut a partir de un punto hacia distintos puntos de visibilidad.
- Levantamiento por triangulación o intersección: Este método consiste en medir distancias horizontales y azimut a partir de dos puntos conocidos formando triangulaciones parciales.

Para el levantamiento topográfico del proyecto se utilizó el método de levantamiento por poligonal abierta, el cual consiste en la medición de ángulos horizontales y distancias que finalmente para el cálculo de los datos en campo se convierte en un trabajo sencillo, debido a que no se requiere de controles de cierre angular y lineal.

### **2.1.3. Consideraciones de diseño**

En esta sección se presentarán las consideraciones del diseño del tramo carretero, las cuales contiene la ubicación y localización del proyecto, al igual que los aspectos del camino existente. Posteriormente se definirán los factores de diseño que deben tomarse en consideración para el diseño de una carretera.

### 2.1.3.1. Ubicación y localización del tramo carretero

La ubicación del tramo carretero, se encuentra en la aldea Comunidad Zet, dicho proyecto está delimitado, por la carretera RN-5 en el kilómetro 38, San Juan Sacatepéquez, Guatemala y al mismo tiempo por el acceso principal de la aldea. Siendo este tramo de 1,5 km, totalmente asfaltado, desde el centro de San Juan Sacatepéquez hasta la aldea Comunidad Zet, con lo cual da como resultado un tramo total de 5,9 km totales.

El inicio del proyecto se localiza en la latitud  $14^{\circ} 43' 44,61''$  y en la longitud  $90^{\circ}38'4.85''$  de igual manera, termina en la latitud  $14^{\circ} 45' 28,5''$  y en la longitud  $90^{\circ} 37' 43,31''$ .

Figura 7. **Mapa de localización del tramo carretero, ubicado en aldea Comunidad Zet**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth.

### **2.1.3.2. Aspectos del camino existente**

Actualmente la única vía de transporte, que posee la aldea comunidad Zet, es una carretera de terracería. La cual actualmente es intransitable para vehículos livianos y pesados debido a que no cumple los parámetros mínimos de diseño.

Con base en las normas planteadas por la Dirección General de Caminos se realizó el nuevo diseño de dicha carretera se tomó en cuenta la pendiente máxima que debe de tener un camino de clasificación tipo (F montañosa). Por lo cual en el último tramo de diseño, se consideró bastante volumen de corte como de relleno debido a las restricciones de terrenos privados. Los cuales restringían el derecho de vía por otro lugar diferente al planteado.

En las figuras 8, 9, y 10 se mostrarán diferentes imágenes de la situación actual de la carretera.

**Figura 8. Situación actual de tramo carretero**



Fuente: Comunidad Zet, San Juan Sacatepéquez.

Figura 9. **Situación actual del tramo final de carretera**



Fuente: Comunidad Zet, San Juan Sacatepéquez.

Figura 10. **Proceso de chapeo, para medición topográfica**



Fuente: Comunidad Zet, San Juan Sacatepéquez.

Como se muestra en la figura 9 en el último kilómetro del tramo carretero, presenta un terreno con proporciones disparejas debido a que este lugar es un banco de materiales, el cual mediante trámites legales se concedió para construir el proyecto.

### **2.1.3.3. Factores de diseño**

Entre los factores que influyen directamente en el diseño geométrico de una carretera se encuentran:

- **Tráfico:** se debe tener conocimiento del tráfico al que va a estar sometido una carretera es de vital importancia para proyectarla, hay que tener conocimiento del número total de vehículos, su tipo, distribución en el tiempo y su factor de crecimiento anual; no solo para determinar la sección transversal más adecuada; sino también las pendientes longitudinales máximas admisibles, su longitud y la calidad que debe poseer la estructura del pavimento. Para determinar el parámetro del tráfico es necesario realizar un estudio preliminar, el cual nos brindará el TPDA (tráfico promedio diario anual) y es importante realizar una proyección del tráfico para un periodo de 10 a 20 años.
- **Topografía:** para realizar la construcción de una carretera donde la misma sea lo más económica posible hay que tratar de que el recorrido sea el mínimo posible, es decir, que los movimientos de tierra para alcanzar la cota de la subrasante del proyecto sea un mínimo también; y que se cumplan todas las normas y principios del diseño geométrico. Todas estas condiciones son difíciles de lograr en un proyecto, por lo cual en algunos casos es difícil de cumplir por diversas causas. Con base en la Dirección General de Caminos de Guatemala, una carretera

se puede clasificar según su topografía en: carretera llana, ondulada y montañosa.

- Estudio de señalización: se refiere a la especificación y ubicación de las diferentes señales verticales, preventivas, informativas y reglamentarias; así como el diseño de las líneas de demarcación del pavimento.
- Estudio de impacto ambiental: se encarga de determinar el impacto que pueda tener la construcción de una vía sobre el área de influencia de esta. Pero además se debe de indicar cuáles son las medidas a tener en cuenta para mitigar o minimizar estos efectos.
- Recursos económicos: el diseño de una carretera depende del costo total de fabricación de la misma, por lo cual se tendrán limitaciones en base al presupuesto de la entidad ejecutora.
- Estudio de suelos: todas las estructuras a construir tanto como; puentes, muros, edificaciones, carreteras, deben de tener su correspondiente estudio de suelos con el fin de diseñar la estructura más adecuada de acuerdo a la capacidad soporte del suelo.

#### **2.1.4. Estudio de suelos**

El suelo es el soporte último de todas las obras de infraestructura por lo cual se comporta como una estructura más y cuenta con sus características físicas propias entre las cuales se menciona: la densidad, porosidad y ángulo de fricción interna. Dichas características le otorgan propiedades tales como: la compresión y el corte. Por lo cual es necesario estudiar su comportamiento mediante las pruebas de laboratorio.

Las pruebas que se practican a los suelos, en el laboratorio tienen como finalidad descubrir sus características, tanto físicas como mecánicas. Esto con el fin de definir sus propiedades y posteriormente diseñar la estructura de la cual formará parte dicho suelo. Las pruebas de laboratorio se clasifican de la siguiente manera:

- Análisis granulométrico
- Límites de Atterberg: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad
- Proctor
- Determinación de la capacidad portante mediante el ensayo de CBR

Para dicho proyecto se realizaron los ensayos pertinentes a la subrasante para clasificar el tipo de suelo, determinar las propiedades, tanto físicas y mecánicas, al igual que determinar las capas que componen la carpeta asfáltica de pavimento rígido.

#### **2.1.4.1. Granulometría**

Este ensayo tiene como finalidad determinar la distribución de los distintos tamaños de las partículas del suelo en toda su totalidad. Es necesario realizar un análisis granulométrico para determinar la aceptación del suelo con el que se está trabajando.

Dicho ensayo consiste en colocar una serie de tamices estandarizados con diferentes diámetros, ensamblados uno encima de otro con un orden determinado, formando así una columna. En la parte superior de dicha columna se encuentra el tamiz de mayor diámetro, donde se agregará el material, el cual previamente deberá ser lavado para eliminar todas las impurezas y materiales orgánicos. Posteriormente la columna de tamices se somete a vibración y

movimientos rotatorios durante 5 minutos en una máquina especial. Al terminar se desmontan los tamices, tomando por separado los diferentes pesos de material retenido en cada uno de ellos, el cual deberá ser la suma del peso original de la muestra.

Para realizar la curva granulométrica se toma en consideración el peso total de la muestra y el retenido con los valores de porcentaje retenido de los diferentes diámetros de los tamices. Dicha curva permite visualizar la tendencia homogénea que tienen los tamaños de las partículas. El procedimiento está normado por la AASHTO T-27.

Según los resultados obtenidos en el laboratorio, el suelo posee un 6,73 % de grava, 66,27 % de arena y 27 % de finos. La muestra se clasifica como arena limosa color gris oscuro.

#### **2.1.4.2. Límites de Atterberg**

Este ensayo determina las propiedades plásticas de suelos arcillosos o limosos. Estos límites están representados por su contenido de humedad, y se conocen como: límite líquido y plástico.

Un suelo arcilloso con un alto contenido de humedad posee una consistencia semilíquida. Al perder agua por evaporación aumenta su resistencia hasta alcanzar una consistencia plástica. Al continuar el secado llega a adquirir un estado semisólido y se agrieta o desmorona al ser deformado. A dicho intervalo de humedad, el suelo posee consistencia plástica y se le denomina intervalo plástico.

#### **2.1.4.2.1. Límite líquido (LL)**

El límite líquido es una medida de la resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad. En base a la teoría muestra que el límite líquido aumenta a medida que el tamaño de los granos o partículas presentes en el suelo disminuyen.

El ensayo mediante el cual se determina este límite se basa en la Norma AASHTO T-89, teniendo como obligación hacerlo sobre una muestra preparada en húmedo. Debido al tipo de suelo analizado que cuenta con una característica arenosa, no presenta límite líquido debido a sus características.

#### **2.1.4.2.2. Límite plástico (LP)**

El límite plástico, está definido como el contenido de agua con el cual se agrieta un cilindro de material de 1/8 pulgadas de diámetro, al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa. El ensayo mediante el cual se determina este límite, está regido por la Norma AASHTO T-90. De la misma manera dicho ensayo no se realizó, debido a las características del material.

#### **2.1.4.2.3. Índice plástico (IP)**

El índice plástico es el más importante y el más utilizado. Es definido mediante la diferencia entre el límite líquido y el plástico.

$$IP=LL-LP$$

El índice plástico representa la variación de humedad que se puede presentar en un suelo que se mantiene en estado plástico, sin embargo, este

depende generalmente de la cantidad de arcilla en el suelo. Dicho índice plástico se clasifica mediante los resultados en donde se puede mencionar:

- $IP = 0$  = suelo no plástico
- $0 < IP < 7$  = suelo con baja plasticidad
- $7 < IP < 17$  = suelo con plasticidad media
- $IP > 17$  = suelo altamente plástico

Debido al tipo de suelo analizado no se pudo determinar ninguno de los índices anteriores por lo cual se determina que el suelo es no plástico.

#### **2.1.4.3. Ensayo de compactación (proctor modificado)**

Se entiende por compactación de los suelos al mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos. Para realizar el ensayo de compactación proctor (modificado) al igual que el ensayo de soporte (CBR), es necesario determinar el contenido de humedad que se usará en cada ensayo.

El ensayo de proctor modificado consiste en la compactación de muestras de suelo en un cilindro metálico que tiene un volumen de 1/30 pies cúbicos, dicha compactación se realiza en 5 capas compactadas a 25 golpes con un martillo de 10 libras, dicho impacto es realizado mediante una caída libre de 18 pulgadas de altura desde el cilindro hacia el martillo. Al terminar dicho procedimiento se pesa la muestra y el peso unitario húmedo se encuentra de la siguiente manera:

$$PUH = \frac{PNH}{VOLUMEN}$$

Donde:

PUH = peso unitario húmedo en libras por pie cúbico

PNH = peso neto húmedo en libras

Volumen= volumen del cilindro en libras por pie cúbico

Posteriormente para determinar el peso unitario seco se calcula el porcentaje de humedad de la siguiente manera:

$$\%H = \left( \frac{PNH - PNS}{PNS} \right) * 100$$

Donde:

PNS= peso neto seco

PNH= peso neto húmedo

%H = porcentaje de humedad

EL peso unitario seco se determina de la siguiente manera:

$$PUS = \left( \frac{PUH}{100 + \%H} \right) * 100$$

Donde:

PUS= peso unitario seco

PUH= peso unitario húmedo

%H = porcentaje de humedad

EL ensayo consiste en repetir dicho procedimiento con diferentes intervalos de humedad hasta encontrar la densidad máxima, la cual corresponderá a la humedad óptima. El ensayo esta normado por la Norma AASHTO T-180.

#### **2.1.4.4. CBR (ensayo de relación de soporte de california)**

El ensayo conocido como *california bearing ratio* (CBR) es un índice de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad. Es regido por la Norma AASHTO T-193.

El ensayo se realiza mediante la humedad óptica encontrada en el ensayo de proctor modificado. La muestra se compacta en 5 capas en un cilindro metálico de 0,075 pies cúbicos de volumen, dicha compactación se realiza con un martillo de 10 libras, a una caída libre de 18 pulgadas.

El material debe ser compactado a diferentes porcentajes, por lo cual se realizan 3 muestras en 3 cilindros diferentes, dichas muestras deben ser compactadas a 10, 30 y 65 golpes con el martillo descrito.

Posteriormente se sumergen las muestras compactadas en agua durante un período de 72 horas, tomando medidas del hinchamiento de la muestra cada 24 horas. Posteriormente se somete la muestra a una carga con velocidad constante producida por un pistón de 3 pulgadas cuadradas de área.

EL valor de CBR es expresado en porcentaje del esfuerzo determinado para penetrar el pistón a 0,1 y 0,2 pulgadas, en una muestra de piedra triturada.

#### 2.1.4.5. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados a la muestra representativa de suelo al igual que las gráficas, pueden observarse en los anexos.

El material cumple con los requisitos debido a que el 95 % de compactación es el mínimo, al cual debe estar la subrasante, se alcanzará con la humedad óptima según el ensayo de proctor modificado. El valor de soporte CBR a un 99,7 % de compactación es de 44,83 % de CBR, por lo cual según la tabla XVI se clasifica como una subbase buena.

Tabla V. Resultados laboratorio

Ensayo		Clasificación	
Granulometría	S.C.U	SM	
Granulometría	P.R.A.	A-2-4	
Descripción del suelo	Arena limosa color gris oscuro		
Límites de atterberg	N/A		
Proctor modificado	Densidad seca máxima	1 440,20 Kg/m <sup>3</sup> (89,90 lb/pie <sup>3</sup> )	
Humedad óptima	22 %		
CBR	25 % de CBR al 95 % de compactación		

Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.5. Diseño geométrico

El diseño geométrico de las carreteras es la técnica que consiste en situar el trazado de una carretera en un terreno específico. Para situar el trazado dependerá de muchos factores, entre los cuales se puede mencionar la

topografía del terreno, la geología, el medio ambiente, la hidrología o factores sociales. Por otra parte se mencionan los parámetros de diseño que corresponderán al país, y estos al mismo tiempo poseen diversos factores de diseño.

El diseño se realiza por medio de las curvas horizontales y los elementos que las conforman tales como: radio, tangentes, subtangentes, grados de curvatura, punto de intersección, cuerda máxima entre otras. De la misma manera se realizan las curvas verticales con los criterios de apariencia, comodidad, seguridad y drenaje.

#### **2.1.5.1. Especificaciones de diseño**

Las especificaciones de diseño son las que determinarán las características de los elementos que componen a una carretera, dichas especificaciones están normadas por una entidad que es encargada de realizar dichas especificaciones. La Dirección General de Caminos posee, parámetros de diseño, basados en las Normas AASHTO, en Guatemala también se puede auxiliar del libro azul de caminos en Guatemala.

Para este proyecto se determinó que la carretera será de una clasificación tipo F, debido a que la topografía del terreno en la mayoría de los tramos presenta una característica montañosa, por lo que la velocidad de diseño será de 20 KPH. En la tabla VI se describen las características geométricas, que deben tener las diferentes clasificaciones de carretera esta normado por la Dirección General de Caminos en Guatemala.

Tabla VI. Clasificación y características geométricas de carreteras

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS CARRETERAS EN ESTADO FINAL												
T.P.D.	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO (K.P.H.)	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE TERRACERÍA		DERECHO DE VIA (m)	RADIO MÍNIMO (m)	PENDIENTE MÁXIMA (m)	DISTANCIA VISIB PARADA *		DISTANCIA VISIB PASO	
				CORTE (m)	RELLENO (m)				MÍNIMA (m)	RECOMEN (m)	MÍNIMA (m)	RECOMEN (m)
3000 A 5000	TIPO "A"		2 * 7.20	25.00	24.00	50.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	100					375	3	160	200	700	750
	ONDULADAS	80					225	4	110	150	520	550
	MONTAÑOSAS	60					110	5	70	100	350	400
1500 A 3000	TIPO "B"		7.20	13.00	12.00	25.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	40	50	180	200
900 A 1500	TIPO "C"		6.50	12.00	11.00	25.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	40	50	180	200
500 A 900	TIPO "D"		6.00	11.00	10.00	25.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	40	50	180	200
100 A 500	TIPO "E"		5.50	9.50	8.50	25.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	50					75	8	55	70	260	300
	ONDULADAS	40					47	9	40	50	180	200
	MONTAÑOSAS	30					30	10	30	35	110	150
10 A 100	TIPO "F"		5.50	9.50	8.50	15.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	40					47	10	40	50	180	200
	ONDULADAS	30					30	12	30	35	110	150
	MONTAÑOSAS	20					18	14	20	25	50	100

<b>ESTRUCTURAS:</b>	CARGA	H-15-S-12	<b>NOTAS:</b>
	ALTURA LIBRE	4.75 m	1) T.P.D.: Promedio de Tráfico Diario
	ANCHO RODADURA	7.90 m	2) La sección típica para carreteras tipo "A", incluye isla central de 1.5 m de ancho.
<b>ESFUERZOS UNITARIOS</b>	CONCRETO CLASE "A"		3) Las características de las estructuras son generales para todos los tipos de carretera, con excepción de la tipo "A", en donde el ancho es doble.
	ACERO DE REFUERZO		4) La calidad de la capa de recubrimiento para calzada podrá ser para carreteras Tipo "A": Hormigón, Concreto asfáltico(caliente o frío) o tratamiento superficial
	ACERO ESTRUCTURAL		Múltiple; para tipo "B" y "C" Concreto asfáltico (frío o caliente) o tratamiento superficial doble; para tipo "D": Trat. Sup. Doble; para tipo "E", Trat. Sup. Simple, y para tipo "F": Recubrimiento de material selecto.
	* DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA=		
	LONGITUD MÍNIMA DE CURVA VERTICAL		
Fuente: Dirección General de Caminos			

Fuente: Dirección General de Caminos.

## **2.1.5.2. Alineamiento horizontal**

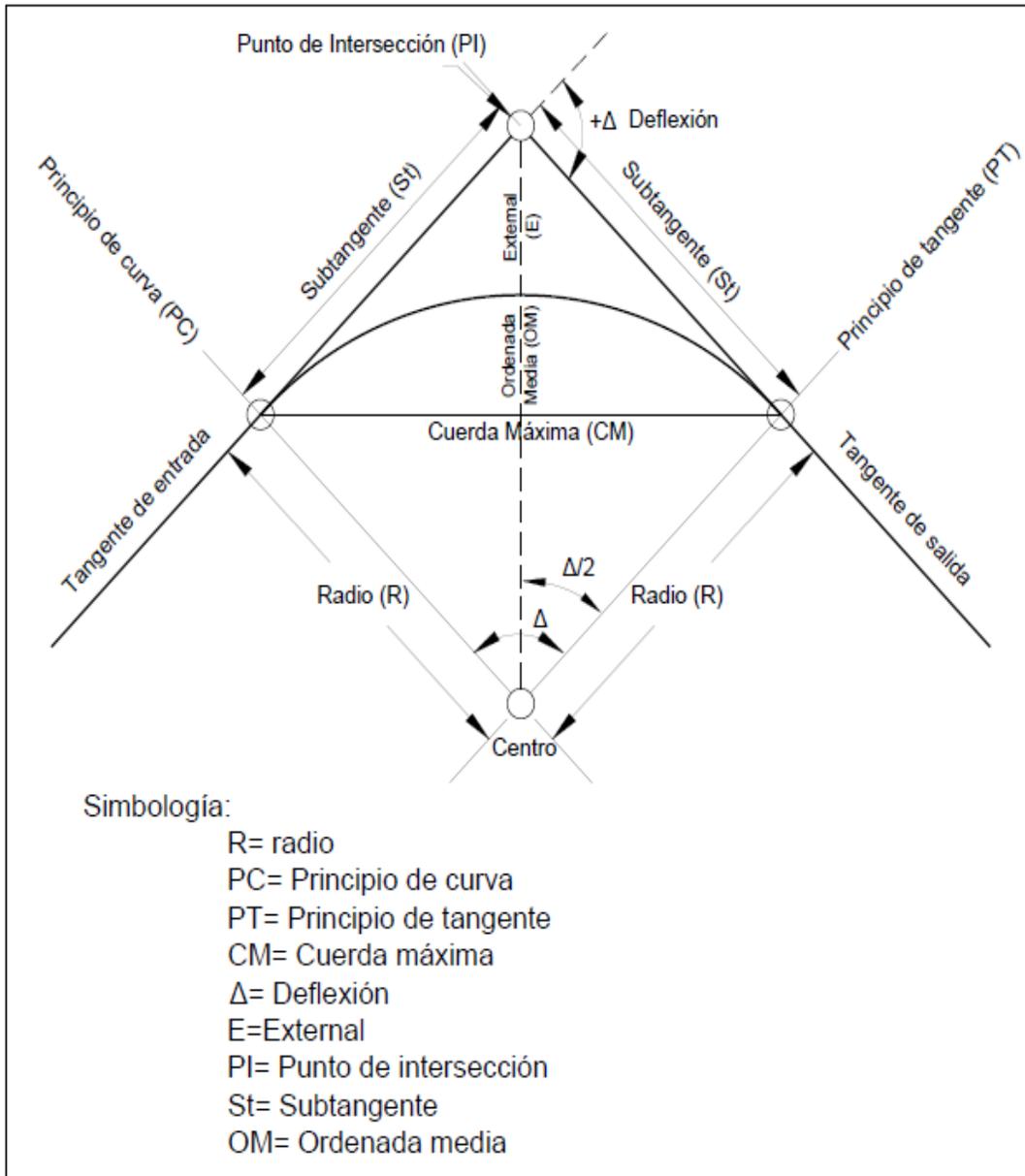
El alineamiento horizontal es la proyección del eje de la subrasante del camino sobre un plano horizontal.

### **2.1.5.2.1. Curva circular simple**

Las curvas circulares simples se definen como arcos de circunferencia de un solo radio que son utilizados para unir dos alineamientos rectos de una vía. Esta curva está compuesta de elementos entre los cuales se puede mencionar: ángulo de deflexión, radio, tangente, subtangente, cuerda máxima, external y ordenada media. Dicha curva se definirá por el ángulo de deflexión, el cual determinará si es hacia la izquierda o derecha.

Para el cálculo de los elementos de la curva es necesario poseer las distancias entre los puntos de intersección (PI), las deflexiones y el grado de curvatura (G), en Guatemala se define como el ángulo central, subtendido por un arco de 20 metros.

Figura 11. Elementos de curva circular simple



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 2.1.5.2.2. Grado de curvatura

El grado de curvatura es el ángulo que se encuentra subtendido por un arco de 20 metros de longitud y está definido por la siguiente fórmula.

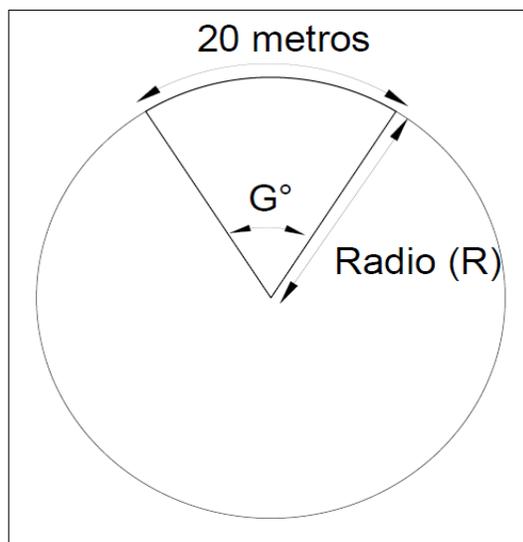
$$\frac{G^\circ}{360} = \frac{20}{2\pi R} \longrightarrow G^\circ = \frac{1\,145,9156}{R}$$

Donde:

G= grado de curvatura

R= radio

Figura 12. Diagrama de grado de curvatura



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 2.1.5.2.3. Longitud de curva

Longitud de curva se define como el arco comprendido entre el principio de curva (PC) y el principio de tangencia (PT), está definido de la siguiente manera:

$$\frac{LC}{2\pi R} = \frac{\Delta}{360}$$

$$LC = \frac{2\pi R \Delta}{360}$$

$$LC = \frac{2\pi \Delta \times \frac{1\ 145,9156}{G}}{360}$$

$$LC = \frac{20\Delta}{G^\circ}$$

### 2.1.5.2.4. Subtangente

La subtangente es la distancia que está comprendida entre el principio de curva (PC) y el punto de intersección (PI), debido a que es una curva simétrica existen 2 subagentes, la última está comprendida entre el punto de intersección (PI) y el principio de tangencia (PT). Se define de la siguiente manera:

$$Tg \times \left(\frac{\Delta}{2}\right) = \frac{St}{R}$$

$$St = R \times Tg \left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

#### 2.1.5.2.5. Cuerda máxima

Se define como la distancia comprendida desde el principio de curva (PC) hasta el principio de tangencia (PT). También se puede definir cuerdas menores las cuales se basan en ángulos de deflexión menores y las cuales rodearan la curva hasta llegar a la cuerda máxima. La cuerda máxima se puede definir de la siguiente manera:

$$\text{Sen} \left( \frac{\Delta}{2} \right) = \frac{CM/2}{R}$$

$$CM = 2 \times E \times \text{Sen} \left( \frac{\Delta}{2} \right)$$

#### 2.1.5.2.6. External

El external es la distancia comprendida desde el punto de intersección (PI) al punto medio de la curva perpendicularmente. Se puede definir mediante geometría de la siguiente manera:

$$\text{Cos} \left( \frac{\Delta}{2} \right) = \frac{R}{R + E}$$

$$R = R \times \text{Cos} \left( \frac{\Delta}{2} \right) + E \times \text{Cos} \left( \frac{\Delta}{2} \right)$$

$$E = R \times \left( \text{Sec} \left( \frac{\Delta}{2} \right) - 1 \right)$$

#### **2.1.5.2.7. Ordenada media**

Se define como la distancia comprendida desde el punto medio de la curva y el punto medio de la cuerda máxima perpendicularmente, y se define de la siguiente manera:

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

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

#### **2.1.5.2.8. Curva de transición**

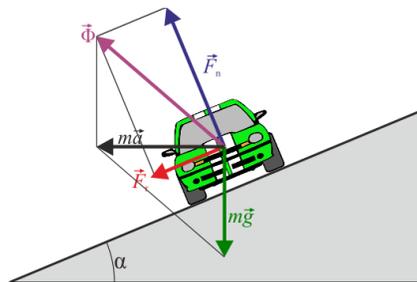
El alineamiento horizontal está constituido por curvas circulares simples que se unen con tramos rectos y se les conoce como tangentes. Por lo cual la transición de una tangente hacia una curva circular simple presenta un cambio brusco y puntual de curvatura, produce en un automóvil un cambio brusco en la fuerza centrífuga.

La curva de transición ayuda brindando una mayor comodidad y seguridad para los automóviles, esto lo logra mediante un cambio gradual del ancho de carril en la tangente de entrada, salida y la curva circular simple, con el fin de evitar el problema de la fuerza centrífuga y el cambio de carril durante la transición de la curva para los automóviles largos.

### 2.1.5.2.9. Peralte

El peralte es la sobreelevación que se aplica a la sección transversal de una curva para contrarrestar la fuerza centrífuga que se produce al conducir en un movimiento circular.

Figura 13. Diagrama de fuerzas en curva con peralte



Fuente: Universidad de Sevilla. Departamento de física aplicada.

Para el cálculo del peralte dependerá del tipo de carretera, velocidad de diseño y grado de curvatura. Posteriormente la Dirección General de Caminos presenta una tabla resumen en donde se presentan los distintos peraltes para las distintas condiciones de curvas.

Tabla VII. Tabla de peraltes y longitudes espiral

VELOCIDAD		30			40		
G°	RADIO	Db=27		t:125	Db=30		t:140
		e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ
1°	1145.92	BN	17	0°51'	BN	23	1°09'
2°	572.96	BN	17	1°42'	BN	23	2°18'
3°	381.97	BN	17	2°33'	BN	23	3°27'
4°	286.48	1.4	17	3°24'	2.5	23	4°36'
5°	229.18	1.7	17	4°15'	3.1	23	5°45'
6°	190.99	2.1	17	5°06'	3.7	23	6°54'
7°	163.70	2.4	17	5°57'	4.3	24	8°24'
8°	143.24	2.8	17	6°48'	4.9	25	10°00'
9°	127.32	3.1	17	7°39'	5.5	28	12°36'
10°	114.59	3.5	17	8°30'	6.1	31	15°30'
11°	104.17	3.8	17	9°21'	6.6	33	18°09'
12°	95.49	4.2	19	11°24'	7.1	36	21°36'
13°	88.15	4.5	20	13°00'	7.6	38	24°42'
14°	81.85	4.8	22	15°24'	8.0	40	28°00'
15°	76.39	5.2	23	17°15'	8.4	42	31°30'
16°	71.62	5.5	25	20°00'	8.7	44	35°12'
17°	67.41	5.8	26	22°06'	9.0	45	38°15'
18°	63.66	6.1	27	24°18'	9.3	47	42°18'
19°	60.31	6.4	29	27°33'	9.5	48	45°36'
20°	57.30	6.7	30	30°00'	9.7	49	49°00'
21°	54.57	7.0	32	33°36'	9.8	49	51°27'
22°	52.09	7.2	32	35°12'	9.9	50	55°00'
23°	49.82	7.5	34	39°06'	10.0	50	57°30'
24°	47.75	7.8	35	42°00'	10.0	50	60°00'
25°	45.84	7.9	36	45°00'			
26°	44.07	8.1	37	48°06'			
27°	42.44	8.3	37	49°57'			
28°	40.93	8.5	38	53°12'			
29°	39.51	8.7	39	56°33'			
30°	38.20	8.9	40	60°00'			
31°	36.97	9.0	41	63°33'			
32°	35.81	9.2	41	65°36'			
33°	34.73	9.3	42	69°18'			
34°	33.70	9.4	42	71°24'			
35°	32.74	9.5	43	75°15'			
36°	31.83	9.6	43	77°24'			
37°	30.97	9.7	44	81°24'			
38°	30.16	9.8	44	83°36'			

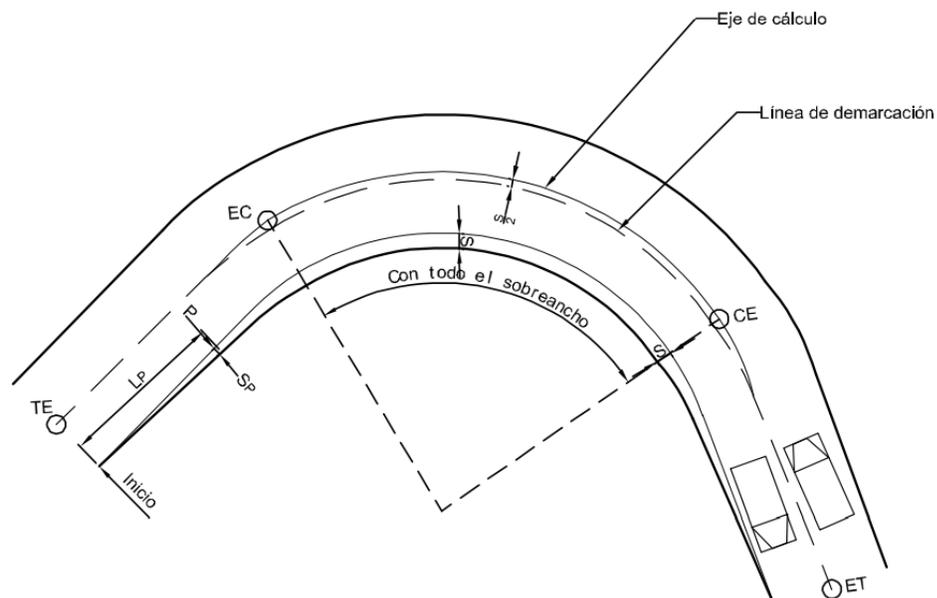
Fuente: Dirección General de Caminos.

### 2.1.5.2.10. Sobreancho

El sobreancho es el ancho adicional que se ubica en las curvas esto debido a que al circular en ellas, los vehículos utilizan mayor espacio. Para el cálculo del sobreancho es necesario tener las especificaciones del diseño geométrico, donde se pueden definir mediante el tipo de carretera, velocidad de diseño y grado de curvatura en la tabla que proporciona la dirección general de caminos.

El peralte y el sobreancho son repartidos a lo largo de la longitud curva de transición y la curva total, empezando a partir del Pc menos  $L_s/2$  y terminando en el PT más  $L_s/2$ , con lo que se asegura un diseño óptimo.

Figura 14. Transición del sobreancho en las curvas



Fuente: CARDENAS GRISALES, James. *Diseño geométrico de carreteras*. p. 230.

Tabla VIII. Valores de diseño para sobreanchos

ANCHO CALZADA		VALORES DE DISEÑO PARA SOBRE-ANCHOS DE PAVIMENTO EN CURVAS PARA CARRETERAS DE DOS VIAS																							
VELOCIDADES		TÍPICA "E" 5.60					TÍPICA "D" 6.80					TÍPICA "C" 8.00					TÍPICA "B" 7.20								
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	40	50	60	70	80	90	100	110	120	40	50	60	70	
GRADO DE CURVATURA	1°	0.60	0.60	0.60	AN	AN	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN	AN	AN	0.60	AN	AN	AN	AN
	2°	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
	3°	0.60	0.60	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	0.70			AN	AN	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
	4°	0.60	0.70	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	0.70	0.80				AN	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
	5°	0.70	0.70	0.80	0.60	0.60	0.60	0.70	0.80	0.90					0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN
	6°	0.80	0.80	0.90	0.60	0.60	0.70	0.80	0.90						0.60	0.60	0.60	0.70			0.60	AN	AN	AN	AN
	7°	0.80	0.90	1.00	0.70	0.80	0.80	0.90							0.60	0.60	0.60	0.70			0.60	AN	AN	AN	0.6
	8°	0.90	1.00	1.00	0.80	0.80	0.90								0.60	0.60	0.70				0.60	AN	AN	AN	0.60
	9°	0.90	1.00	1.10	0.80	0.90	1.00								0.60	0.70	0.80				0.60	AN	0.60	0.60	
	10°	1.00	1.10	1.20	0.90	1.00	1.10								0.70	0.80	0.90				0.60	AN	0.60	0.60	
	11°	1.00	1.10	1.20	0.90	1.00									0.70	0.80					0.60	0.60	0.60		
	12°	1.10	1.20	1.30	1.00	1.10									0.80	0.90					0.60	0.60	0.60		
	13°	1.10	1.20	1.30	1.00	1.10									0.80	0.90					0.60	0.60	0.60		
	14°	1.20	1.30	1.40	1.10	1.20									0.90	1.00					0.60	0.60	0.60		
	15°	1.20	1.40	1.50	1.20	1.20									1.00	1.10					0.60	0.60	0.70		
	16°	1.30	1.40		1.20										1.00						0.60	0.60			
	17°	1.30	1.50		1.30										1.10						0.60	0.60			
	18°	1.40	1.50		1.30										1.10						0.60	0.60			
	19°	1.40	1.60		1.40										1.20						0.60	0.60			
	20°	1.50	1.60		1.40										1.20						0.60	0.60			
	21°	1.50	1.70		1.50										1.30						0.60	0.60			
	22°	1.60	1.70		1.50										1.30						0.60	0.60			
	23°	1.60	1.80		1.60										1.40						0.60	0.60			
	24°	1.70	1.80		1.60										1.40						0.60	0.60			
	25°	1.70			1.60																				
	26°	1.80			1.60																				
	27°	1.80			1.60																				
	28°	1.90			1.60																				
	29°	1.90			1.60																				
	30°	2.00			1.60																				
	31°	2.00			1.60																				
	32°	2.10			1.60																				
	33°	2.10			1.60																				
	34°	2.20			1.70																				
	35°	2.20			1.70																				
	36°	2.30			1.80																				
	37°	2.30			1.80																				
	38°	2.40			1.90																				

Fuente: Dirección General de Caminos.

### 2.1.5.2.11. Diseño geométrico de curva horizontal

El diseño geométrico de todas las curvas horizontales se realizó mediante el replanteo de la topografía actual, adoptando curvas circulares simples debido al tipo de carretera. Por lo cual se mostrará un ejemplo de cómo se calcularon los parámetros de las curvas a continuación.

- Ejemplo:

Datos: número de curva 2

Estacionamiento PC: 0+202,51

Deflexión: 11° 28' 48"

Radio: 150 m

- Grado de curvatura

$$G = \frac{1\,145,9156}{R} \qquad G = \frac{1\,145,9156}{150} = 7,64 \cong 8^\circ$$

- Longitud de curva

$$LC = \frac{20\Delta}{G^\circ} \qquad LC = \frac{20(11^\circ 28' 48'')}{7,64^\circ} = 30,05$$

- Subtangente

$$St = Tg \left( \frac{\Delta}{2} \right) \qquad St = Tg \left( \frac{11^\circ 28' 48''}{2} \right) = 15,08$$

- Cuerda máxima

$$CM = 2R \times \text{Sen} \left( \frac{\Delta}{2} \right) \quad CM = 2(150) \times \text{Sen} \left( \frac{11^\circ 28' 48''}{2} \right) = 30$$

- External

$$E = R \times \text{Sec} \left( \frac{\Delta}{2} \right) \quad E = 150 \times \text{Sec} \left( \frac{11^\circ 28' 48''}{2} \right) = 0,76$$

- Ordenada Media

$$OM = R \times \left[ 1 - \text{Cos} \left( \frac{\Delta}{2} \right) \right] \quad OM = 150 \times \left[ 1 - \text{Cos} \left( \frac{11^\circ 28' 48''}{2} \right) \right] = 0,75$$

Los cálculos están realizados mediante el programa Civil 3D 2016.

Tabla IX. **Resumen de cálculos de curvas horizontales**

<b>TABLA DE ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES</b>											
<b>No. Curva</b>	<b>Radio</b>	<b>G°</b>	<b>Deflexión</b>	<b>LC</b>	<b>ST</b>	<b>CM</b>	<b>External</b>	<b>OM</b>	<b>e %</b>	<b>Ls</b>	<b>Sa</b>
1	120	10°	21° 02' 40"	44.08	22.29	43.83	2.05	2.02	3.5	17	1.00
2	150	8°	11° 28' 48"	30.05	15.08	30	0.76	0.75	2.8	17	0.90
3	60	19°	66° 09' 19"	69.28	39.08	65.49	11.6	9.72	6.4	29	1.40
4	75	15°	95° 47' 53"	125.4	83	111.29	36.87	24.72	5.2	23	1.20
5	160	7°	29° 17' 51"	81.81	41.82	80.93	5.38	5.2	2.4	17	0.80
6	75	15°	160° 54' 02"	210.62	445.81	147.92	377.07	62.56	5.2	23	1.20
7	200	6°	94° 42' 51"	330.61	217.17	294.24	95.23	64.51	2.1	17	0.80
8	205	6°	32° 49' 23"	117.44	60.38	115.84	8.71	8.35	2.1	17	0.80
9	130	9°	73° 43' 34"	167.28	97.48	155.98	32.49	25.99	3.1	17	0.90
10	200	6°	29° 39' 32"	103.53	52.95	102.38	6.89	6.66	2.1	17	0.80
11	155	7°	19° 21' 10"	52.35	26.43	52.11	2.24	2.21	2.4	17	0.80
12	200	6°	32° 36' 31"	113.83	58.5	112.3	8.38	8.04	2.1	17	0.80
13	120	10°	26° 21' 14"	55.20	28.09	54.71	3.24	3.16	3.5	17	1.10
14	55	21°	52° 35' 04"	50.66	27.29	48.89	6.40	5.73	7	7	1.70
15	100	11°	12° 31' 21"	21.86	10.97	21.81	0.60	0.60	3.8	27	1.10
16	70	16°	16° 50' 30"	20.58	10.36	20.50	0.76	0.75	5.5	5.5	1.40
17	65	18°	27° 46' 14"	31.50	16.07	31.20	1.96	1.90	6.1	6.1	1.50
18	40	29°	48° 22' 11"	33.77	17.96	32.77	3.85	3.51	8.7	8.7	---
19	110	10°	20° 17' 29"	38.96	19.68	28.75	1.75	1.72	3.5	17	1.10

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.5.3. Alineamiento vertical**

El alineamiento vertical es la proyección del eje de la subrasante del camino sobre un plano vertical paralelo al alineamiento horizontal.

El alineamiento vertical se compone por tangentes de entrada, salida y curvas verticales, las cuales tienen como finalidad suavizar los cambios de pendientes en el movimiento vertical; se asegura una operación segura y

confortable para los automovilistas y al mismo tiempo proporciona una apariencia agradable.

Existen 2 tipos de curvas verticales las cuales son: cóncavas y convexas; adoptan la forma de circulares, parabólicas simétricas, parabólicas asimétricas, entre otras. La Dirección General de Caminos recomienda utilizar las curvas parabólicas simétricas, debido a la facilidad del cálculo y su funcionalidad para las distintas operaciones a las cuales se someterá. Para determinar la longitud de curva vertical se debe de considerar la distancia de visibilidad de parada, en la diferencia de pendientes entre tangentes, la velocidad de diseño y la distancia de rebase. Debido a que el último criterio de distancia de rebase es antieconómico no se considera en el país debido a la topografía montañosa.

Para realizar el diseño de las curvas verticales se debe considerar las longitudes mínimas, tomando en cuenta los parámetros mencionados, con el fin de tener la mejor visibilidad posible para los conductores. Esta longitud se calcula de la siguiente forma:

- Longitud mínima de curva vertical

$$L = K \times A$$

Donde:

L= longitud mínima de curva vertical (cóncava o convexa)

K= constante de visibilidad en función de la velocidad (ver tabla X)

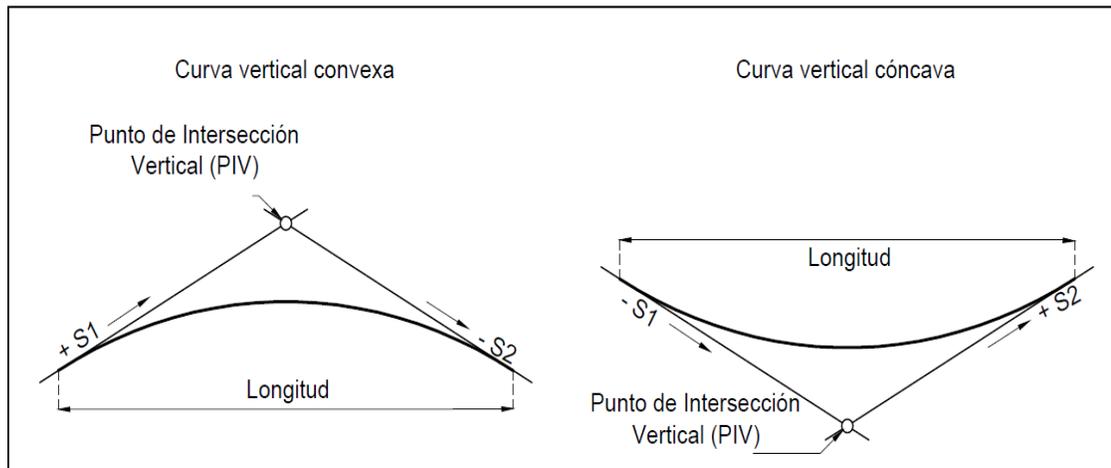
A= diferencia algebraica de pendientes

Tabla X. Valores de K, en función de velocidad

Velocidad de diseño en Km/h	Convexa	Cóncava
	K	K
20	1	2
30	2	4
40	4	6
50	7	9
60	12	12
70	19	17
80	29	23
90	43	29
100	60	36

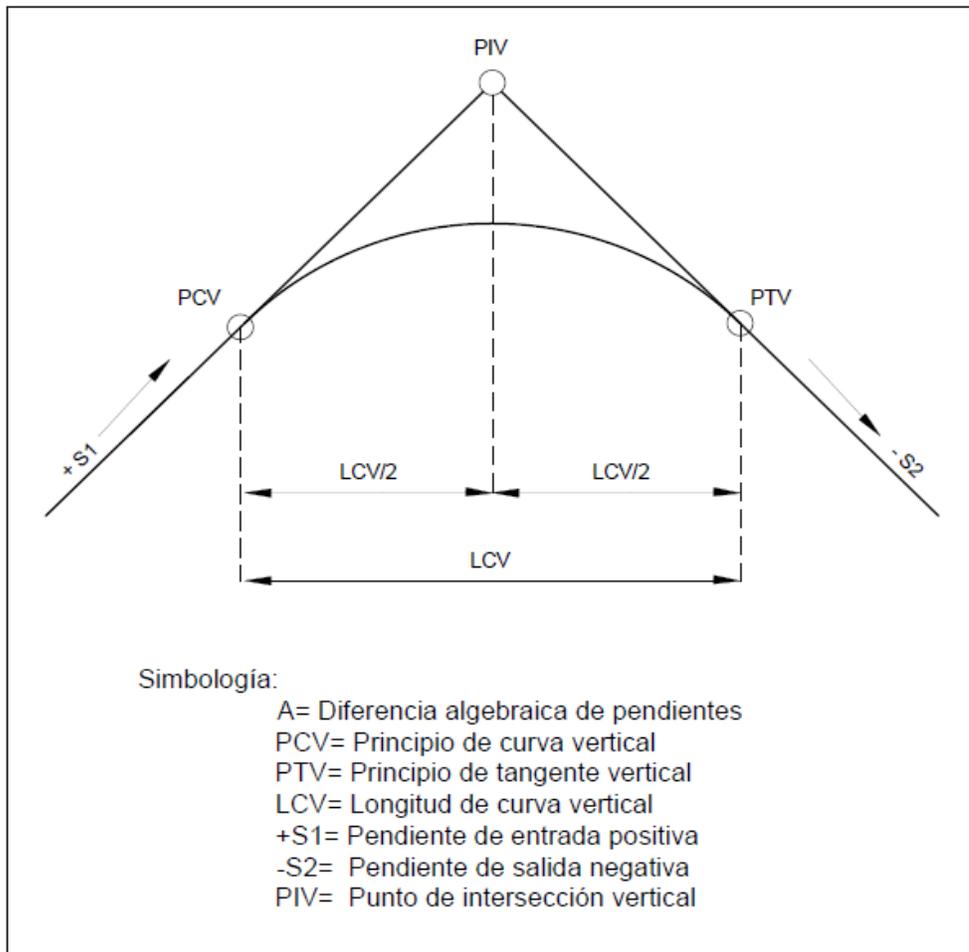
Fuente: PAIZ MORALES, Byron René. *Guía de cálculo para carreteras*. p. 62.

Figura 15. Tipos de curvas verticales



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 16. Diagrama de curva vertical



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Existen cuatro criterios que determinan la longitud de curva vertical para que esta cumpla con distintos parámetros que aseguran un buen diseño. Dichos criterios son: criterio de seguridad, apariencia, comodidad y drenaje.

### 2.1.5.3.1. Criterio de seguridad

El criterio de seguridad sirve para diseñar una longitud de curva vertical tomando en cuenta la visibilidad de parada de los conductores. Dicho criterio se aplica a curvas cóncavas y convexas de la siguiente forma:

$$LCV = K \times A \qquad A = |P_s - P_e|$$

Donde:

K = constante K de visibilidad (ver tabla X)

A = diferencia algebraica de pendientes

P<sub>s</sub>= pendiente de salida

P<sub>e</sub>= pendiente de entrada

- Pendiente mínima y máxima: para el diseño de las pendiente se debe considerar las condiciones del terreno actual y cumplir con las normas de la Dirección General de Caminos que dice que para una carretera tipo F montañosa la pendiente máxima es de 14 % y la pendiente mínima tiene que ser mayor de 0 %, la cual asegura la escorrentía.

Para el diseño de dicho tramo se consideró una pendiente mayor a la estipulada debido a las condiciones del tramo final. Por lo cual se realizó una comparación de volúmenes de corte y relleno, que justifica la consideración de una pendiente de 19 % para dicho tramo.

Como se mostrará en la tabla XI se observa que al aumentar la pendiente disminuye el volumen de relleno debido a la situación actual del último tramo; por consecuencia existe un incremento en el volumen de corte en dicho tramo.

Tabla XI. Comparación de volúmenes de corte y relleno

ESTACIÓN	Pendiente 14 %		Pendiente 19 %	
	Vol. Relleno acumulado (M <sup>3</sup> )	Vol. Corte acumulado (M <sup>3</sup> )	Vol. relleno acumulado (M <sup>3</sup> )	Vol. corte acumulado (M <sup>3</sup> )
3+360.00	0,08	616,76	840,16	13,61
3+380.00	0,08	1 511,83	843,11	357,97
3+400.00	0,08	3 874,07	843,11	1 785,85
3+420.00	0,08	7 861,51	843,11	4 519,12
3+440.00	0,08	12 989,42	843,11	8 221,25
3+460.00	0,08	18 946,76	843,11	12 685,30
3+480.00	0,08	25 228,53	843,11	17 400,66
3+500.00	0,08	31 689,67	843,11	22 088,10
3+520.00	0,08	39 146,40	843,11	27 530,51
3+540.00	0,08	48 287,55	843,11	34 569,61
3+560.00	0,08	59 271,72	843,11	43 625,24
3+580.00	0,08	71 773,97	843,11	54 706,62
3+600.00	0,08	85 428,49	843,11	67 841,87
3+620.00	0,08	99 733,30	843,11	82 816,29
3+640.00	0,08	113 651,89	843,11	98 666,08
3+660.00	0,08	126 653,19	843,11	115 446,32
3+680.00	0,08	138 600,25	843,11	131 969,54
3+700.00	0,08	149 175,23	843,11	146 201,88
3+720.00	0,08	158 096,47	843,11	157 214,41
3+740.00	0,08	165 120,84	843,11	164 756,61
3+760.00	0,08	170 489,01	843,11	169 336,39
3+780.00	0,08	174 460,37	843,11	171 462,54
3+800.00	0,08	176 513,61	899,80	172 242,28
3+820.00	841,01	177 004,88	1 495,05	172 488,82
3+840.00	452,87	177 004,88	2 407,54	172 822,69
3+860.00	12 430,87	177 004,88	3 303,36	173 369,20
3+880.00	24 024,03	177 004,88	4 156,95	173 849,62
3+900.00	37 727,01	177 004,88	4 752,75	174 116,57
3+920.00	51 808,06	177 004,88	5 044,98	174 229,53
3+940.00	64 616,96	177 004,88	5 165,46	174 340,65
3+960.00	75 765,61	177 004,88	5 182,06	174 582,12
3+980.00	85 510,29	177 004,88	5 182,06	175 040,36
4+000.00	94 312,7	177 004,88	5 182,06	175 658,28
4+020.00	102 675,47	177 004,88	5 182,06	176 217,32
4+040.00	110 760,45	177 004,88	5 182,06	176 685,71
4+060.00	118 666,54	177 004,88	5 182,06	177 488,33
4+080.00	126 782,76	177 004,88	5 182,06	179 254,39
4+100.00	134 883,35	177 004,88	5 182,06	181 862,26
4+120.00	142 583,57	177 004,88	5 182,06	184 808,68
4+140.00	149 387,14	177 004,88	5 182,06	187 327,24
4+160.00	154 610,47	177 004,88	5 182,06	188 446,45
4+180.00	15 808,6	177 004,88	5 198,51	188 727,71
4+200.00	160 283,29	177 004,88	5 333,37	188 756,79
<b>4+220.00</b>	<b>16 ,835,06</b>	<b>177 004,88</b>	<b>5 717,72</b>	<b>188 ,757,27</b>

Fuente: elaboración propia, mediante AutoCAD 2016.

### 2.1.5.3.2. Criterio de apariencia

El criterio de apariencia es el que se utiliza para asegurar la visibilidad completa de las curvas y que el conductor evite la impresión de un cambio abrupto de pendiente. Dicho criterio se aplica de la siguiente forma:

$$K = \frac{LCV}{A} \geq 30 \qquad A = |P_s - P_e|$$

Donde:

LCV= longitud de curva vertical

K = constante K de visibilidad (ver tabla X)

A = diferencia algebraica de pendientes

P<sub>s</sub> = pendiente de salida

P<sub>e</sub> = pendiente de entrada

### 2.1.5.3.3. Criterio de comodidad

El criterio de comodidad es el que asegura un buen desempeño del automóvil en las curvas verticales, debido que contrarresta el efecto de la fuerza centrífuga que produce el vehículo al cambiar de dirección en las curvas. Dicho criterio se aplica de la siguiente manera:

$$K = \frac{LCV}{A} \geq \frac{v^2}{395} \qquad A = |P_s - P_e|$$

Donde:

LCV= longitud de curva vertical

K = constante K de visibilidad (ver tabla X)

A = diferencia algebraica de pendientes

v = velocidad de diseño

Ps = pendiente de salida

Pe = pendiente de entrada

#### **2.1.5.3.4. Criterio de drenaje**

El criterio de drenaje es utilizado para que la pendiente en cualquier punto de la curva sea la adecuada para que el agua pueda escurrir fácilmente. El criterio de drenaje se puede calcular de la siguiente manera:

$$K = \frac{LCV}{A} \leq 43 \qquad A = |Ps - Pe|$$

Donde:

LCV= longitud de curva vertical

K = constante K de visibilidad (ver tabla X)

A = diferencia algebraica de pendientes

Ps = pendiente de salida

Pe = pendiente de entrada

#### **2.1.5.3.5. Diseño geométrico de curva vertical**

El diseño geométrico de todas las curvas verticales se realizó en base a las condiciones del terreno natural, adoptando curvas parabólicas simétricas debido al tipo de carretera. Por lo cual se mostrará un ejemplo de cómo se calcularon los parámetros de las curvas a continuación.

Ejemplo:

Datos: número de curva 14

Estacionamiento PCV: 2+930,10

Pe= 0,25 %

Ps= -1,36 %                      A= 1,60 %

- Criterio de Seguridad (ver tabla X)

$$LCV = K \times A \quad \rightarrow \quad LCV = 2 \times 1,60 = 3,2 \text{ mts}$$

- Criterio de apariencia

$$\frac{LCV}{A} \geq 30 \quad \rightarrow \quad \frac{3,2}{1} \geq 30 \text{ No cumple} \quad \rightarrow \quad \text{Nueva LCV} = 50$$
$$\frac{50}{1} \geq 30 \text{ Cumple}$$

- Criterio de comodidad

$$\frac{LCV}{A} \geq \frac{v^2}{395} \quad \rightarrow \quad \frac{50}{1} \geq \frac{20^2}{395} \quad \rightarrow \quad 50 \geq 1,095 \text{ Cumple}$$

- Criterio de Drenaje

$$\frac{LCV}{A} \leq 43 \quad \rightarrow \quad \frac{50}{1} \leq 43 \quad \rightarrow \quad 50 \leq 43 \text{ Cumple}$$

A continuación se mostrará la tabla resumen de las curvas verticales.

Tabla XII. Resumen de cálculos de curvas verticales

TABLA DE ELEMENTOS DE CURVAS VERTICALES														
No. Curva	Estación PIV	Elevación PIV	Pendiente de entrada Pe %	Pendiente de salida Ps %	Diferencia de pendientes A%	Tipo de curva	Kmin de visibilidad según tabla (X)		LCV de diseño	K= LCV/A	Criterio de seguridad	Criterio de apariencia	Criterio de comodidad	Criterio de drenaje
							Cóncava	Convexa						
1	0+046,42	3 550,00	-6.76	2,49	9.25	Cóncava	4	2	35	3,784	37	No cumple	Cumple	Cumple
2	0+242,08	3 554,87	2.49	-14,8	17,3	Convexa	4	2	50	2,882	34,6	No cumple	Cumple	Cumple
3	0+557,56	3 507,99	-14.8	-0,56	14,3	Cóncava	4	2	55	3,846	57,2	No cumple	Cumple	Cumple
4	0+741,12	3 506,96	-0.56	-15,9	15,4	Convexa	4	2	35	2,273	30,8	No cumple	Cumple	Cumple
5	0+978,28	3 469,05	-15.9	-2,76	13,2	Cóncava	4	2	45	3,409	52,8	No cumple	Cumple	Cumple
6	1+248,52	3 461,87	-2.76	-11,9	9,20	Convexa	4	2	30	3,261	18,4	No cumple	Cumple	Cumple
7	1+386,86	3 445,042	-11.9	-6,22	5,74	Cóncava	4	2	30	5,222	22,9	No cumple	Cumple	Cumple
8	1+902,52	3 412,993	-6.22	-11,2	5,08	Convexa	4	2	100	19,69	10,2	No cumple	Cumple	Cumple
9	2+086,93	3 392,170	-11.2	0,91	12,2	Cóncava	4	2	40	3,277	48,8	No cumple	Cumple	Cumple
10	2+297,51	3 394,095	0.91	-13,5	14,4	Convexa	4	2	30	2,077	28,8	No cumple	Cumple	Cumple
11	2+423,92	3 376,992	-13.5	9,13	22,6	Cóncava	4	2	60	2,647	90,4	No cumple	Cumple	Cumple
12	2+562,56	3 389,657	9.13	-4,39	13,5	Convexa	4	2	30	2,217	27	No cumple	Cumple	Cumple
13	2+767,50	3 380,651	-4.39	0,25	4,64	Cóncava	4	2	120	25,85	18,5	No cumple	Cumple	Cumple
14	2+955,10	3 381,113	0.25	-1,36	1,60	Convexa	4	2	50	31,18	3,2	Cumple	Cumple	Cumple
15	3+201,40	3 377,770	-1.36	-6,18	4,83	Convexa	4	2	30	6,217	9,66	No cumple	Cumple	Cumple
16	3+343,73	3 368,970	-6.18	-10,0	3,86	Convexa	4	2	40	10,37	7.72	No cumple	Cumple	Cumple
17	3+594,46	3 343,800	-10.0	-19	8,96	Convexa	4	2	70	7,927	17,9	No cumple	Cumple	Cumple
18	3+751,71	3 313,924	-19	-17,6	1,36	Cóncava	4	2	37	27,41	5,44	Cumple	Cumple	Cumple
19	3+869,68	3 293,107	-17.6	-6,69	10,9	Cóncava	4	2	27	2,539	43,6	No cumple	Cumple	Cumple
20	4+065,56	328,00	-6.69	-18,4	11,6	Convexa	4	2	57	4,822	23,2	No cumple	Cumple	Cumple
21	4+223,22	3 251,067	-18.4	5,36	13,7	Cóncava	4	2	32	1,249	94,9	No cumple	Cumple	Cumple

Fuente: elaboración propia.

## **2.1.6. Subrasante**

### **2.1.6.1. Reacondicionamiento de subrasante existente**

El reacondicionamiento es el proceso que consiste en escarificar, homogeneizar, mezclar, uniformizar y compactar la subrasante de una carretera previamente construida para adecuar la superficie a la sección típica y elevaciones del proyecto establecidas en los planos. Se efectúan cortes y rellenos con un espesor no mayor de 20 cm de profundidad con el objetivo de regularizar y mejorar las condiciones de la subrasante.

### **2.1.6.2. Materiales inadecuados para subrasante**

En base a la Norma AASHTO M-145 los suelos clasificados en el grupo A-8 son suelos altamente orgánicos. Por lo que es necesario descartar todo tipo de suelo que tenga las características de un suelo orgánico, el cual se puede diferenciar por tener una textura fibrosa, de color café oscuro o negro, con plantas y mal olor.

### **2.1.6.3. Materiales adecuados para subrasante**

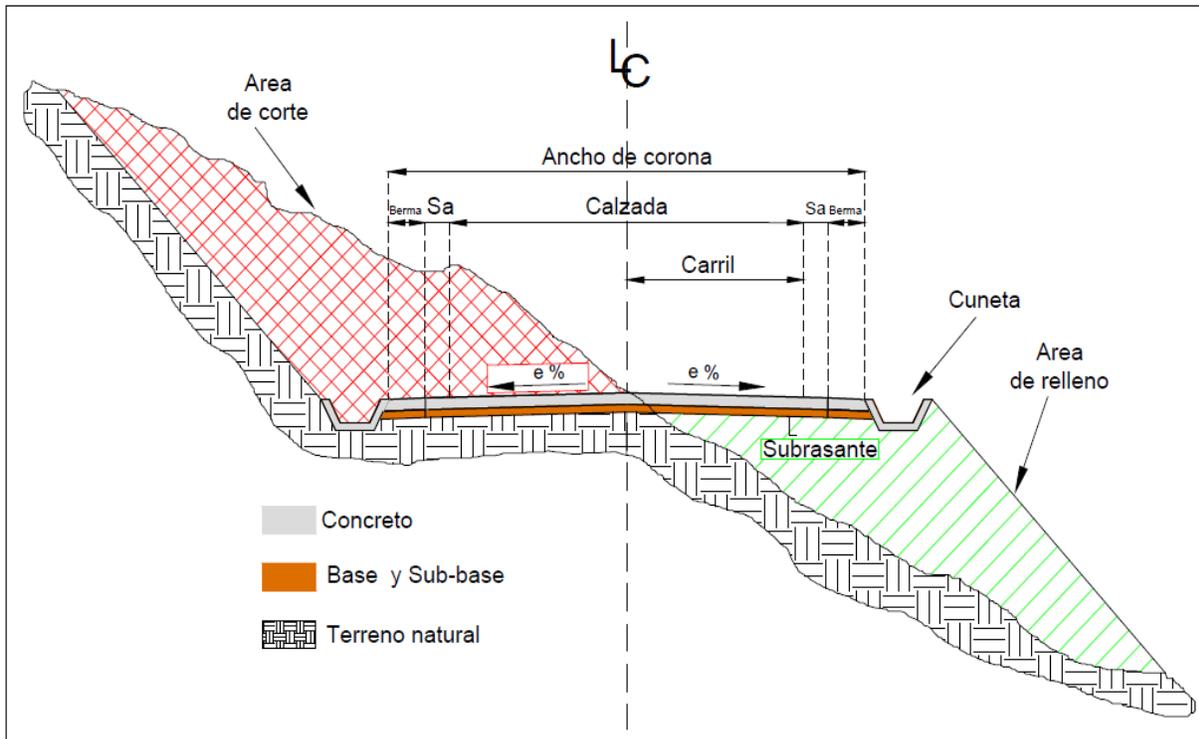
Por lo general los suelos granulares con menos de un 3 % de hinchamiento de acuerdo con el ensayo AASHTO T-193 (CBR), por otra parte los suelos que no cumplen dicho requerimiento deberán ser estabilizados.

### 2.1.7. Elementos geométricos del alineamiento transversal

Los elementos geométricos del alineamiento transversal son aquellos que definen el perfil de terreno en dirección normal al eje del alineamiento horizontal.

Entre los elementos que se pueden mencionar se encuentran: el ancho de carril, drenaje longitudinal, drenaje transversal, taludes de relleno y corte, hombros, entre otros.

Figura 17. Elementos geométricos de sección transversal



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

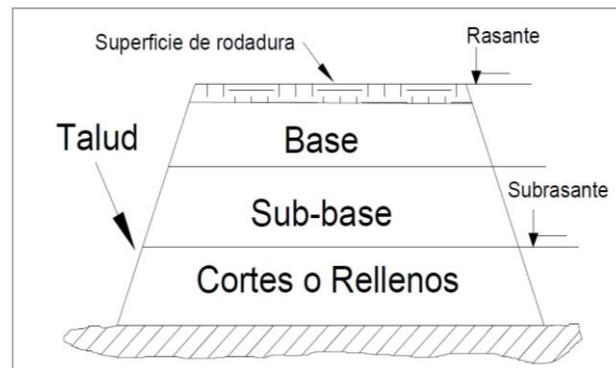
### 2.1.7.1. Ancho de corona

Es el conjunto formado por la calzada, las bermas y sobreanchos. El ancho de corona es la distancia horizontal medida normalmente al eje entre los bordes interiores de las cunetas. Dicha distancia es fundamental para el diseño transversal del pavimento por los elementos que se encuentran en ella.

### 2.1.7.2. Rasante

La rasante es la proyección vertical de la capa de rodadura, indica el nivel final de la carretera. La diferencia entre la subrasante y la rasante es que la última es la capa final de la carpeta de rodadura, y la otra es el apoyo de las diferentes capas que componen la estructura del pavimento.

Figura 18. Diagrama de estructura del pavimento



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 2.1.7.3. Ancho de carril

El ancho de carril es la distancia que es destinada para la circulación de los automóviles. Las carreteras pueden estar constituidas por uno o más

carriles, dependiendo de la demanda para la cual sea diseñada. El ancho se define mediante las especificaciones de la Dirección General de Caminos. Para este proyecto se utilizarán 2 carriles, con un ancho de carril de 2,75 metros cada uno.

#### 2.1.7.4. Bombeo

Se le denomina bombeo a la pendiente transversal que se da en los carriles de una carreta con el fin de drenar el agua de la superficie de la rasante, para que esta escurra a las bermas y posterior a las cunetas o canal.

El parámetro del bombeo dependerá del camino y del tipo de superficie es usual que se utilice el parámetro del 2 al 4 %. Lo cual asegura que el conductor no sufra incomodidad o inseguridad en condiciones normales de operación. El bombeo utilizado en este proyecto fue de 2,5 % debido a que es la superficie de la carpeta asfáltica será de concreto y la precipitación es mayor a 500mm/año.

Tabla XIII. **Valores de bombeo para carreteras**

Tipo de superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación < 500 mm/año	Precipitación > 500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2,0	2,5
Tratamiento superficial	2,5	2,3 – 3,0
Afirmado	3,0 – 3,5	3,0 – 4,0

Fuente: *Manual Peruano de carreteras, Diseño Geométrico (DG- 2013)*. Tabla. 304.3. p. 212.

### 2.1.7.5. Taludes

Los taludes son los planos inclinados de terracería que delimitan los volúmenes de corte y relleno. La inclinación del talud está en función de las propiedades de los suelos del lugar. Se presenta en la tabla XIV los distintos tipos de suelos y condiciones para el diseño del talud.

Tabla XIV. **Valores referenciales para taludes en corte (relación H:V)**

Clasificación de materiales de corte	Roca fija	Roca suelta	Material			
			Grava	Limo arcilloso o arcilla	Arenas	
Altura de corte	< 5 m	1:10	1:6 – 1:4	1:1 – 1:3	1:1	2:1
	5-10 m	1:10	1:4 – 1:2	1:1	1:1	Req. de banquetas
	> 10 m	1:8	1:2	Req. de banquetas	Req. de banquetas	Req. de banquetas

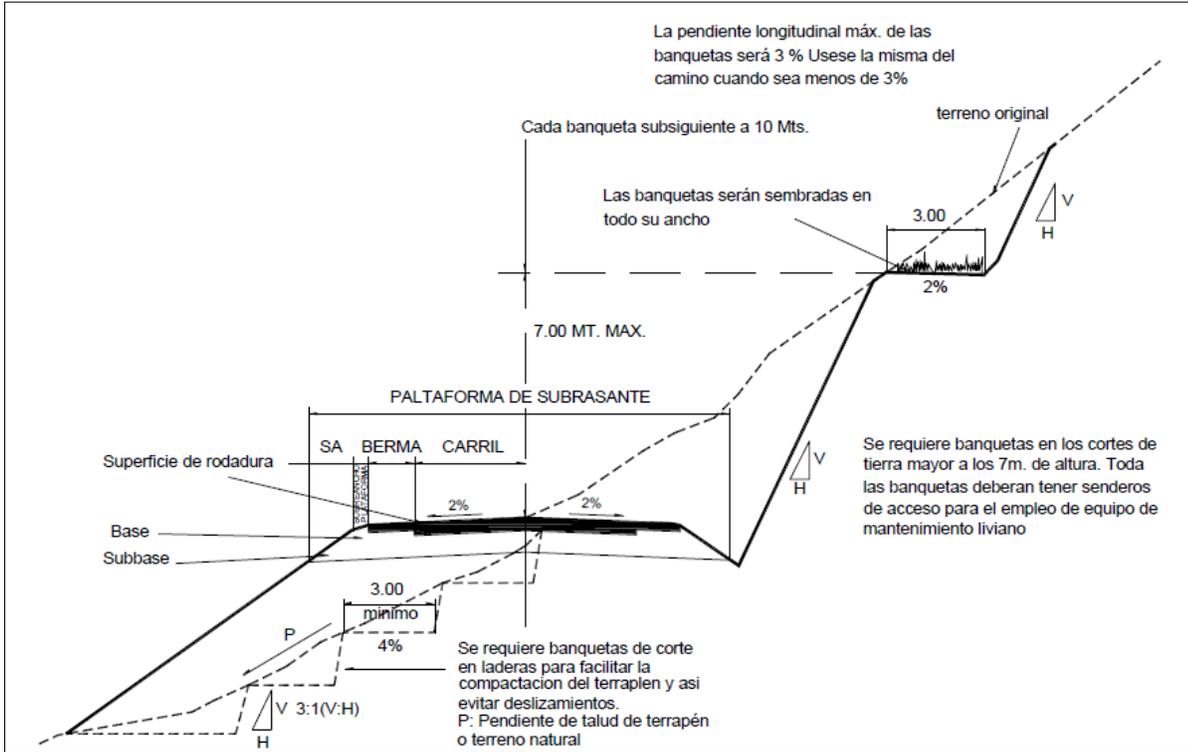
Fuente: *Manual Peruano de carreteras, Diseño Geométrico (DG- 2013)*. Tabla. 304.10. p. 223.

Tabla XV. **Valores referenciales para taludes en relleno (relación H:V)**

Materiales	Talud (H-V)		
	Altura (m)		
	< 5	5 -- 10	> 10
Gravas, limo arenoso y arcilla	1:1,5	1:1,75	1:2
Arena	1:2	1:2,25	1:2,25
Enrocado	1:1	1:1,25	1:1,5

Fuente: *Manual Peruano de carreteras, Diseño Geométrico (DG- 2013)*. Tabla. 304.11. p. 227.

Figura 19. Diagrama de taludes de corte y relleno



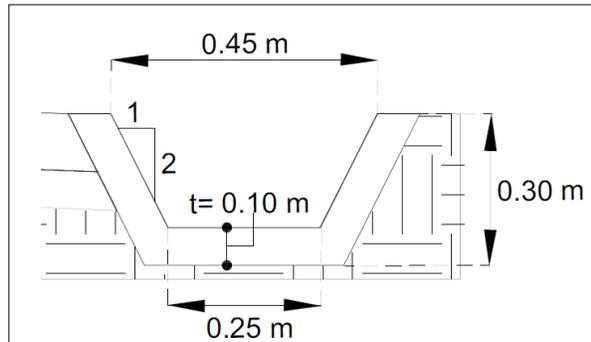
Fuente: *Manual Peruano de carreteras, Diseño Geométrico (DG- 2013)*. Figura 304.07. p. 224.

### 2.1.7.6. Cunetas

Este elemento se le conoce como obra de drenaje, pertenece a la sección típica. Consiste en canales de diferentes formas para la conducción del agua producida por la lluvia.

Las cunetas se encuentran ubicadas en los costados del ancho de corona con la finalidad de drenar el agua de escorrentía de cada carril independientemente y al mismo tiempo conducirla hacia los drenajes transversales. Para la consideración de diseño se toma en cuenta la cantidad de caudal a drenar en la sección crítica de carretera.

Figura 20. **Diagrama del diseño de cuneta**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

#### **2.1.7.7. Drenajes transversales**

Los drenajes transversales tienen la finalidad de permitir el paso transversal del agua de lado a lado de la carretera, sin obstaculizar el paso. En ciertos casos es necesario añadir obras que ayuden a la circulación del agua sin ningún riesgo a que la tubería se dañe, para este proyecto se colocaron drenajes transversales a una longitud no mayor a 300 metros para evitar grandes caídas de presión.

#### **2.1.8. Movimiento de tierras**

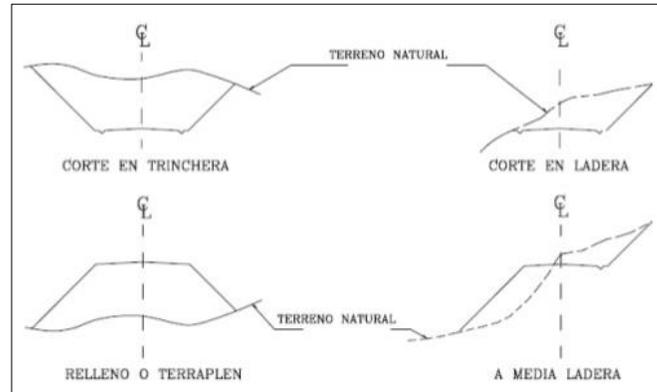
El movimiento de tierras es un procedimiento, que consiste en trasladar volúmenes de tierra de un lugar a otro, con el fin de modificar la superficie del terreno con base en el diseño de la subrasante. Para la construcción de carreteras el movimiento de tierras es un parámetro importante debido al tiempo de trabajo que representa en el proyecto y el costo que conlleva.

Para el proceso de trabajo existe una condición ideal, es donde el material de corte es utilizado para la construcción de rellenos, asegura que no sea utilizado material de préstamo o eliminación de material de desperdicio. Pero no en todos los casos se da esta condición debido a diversos factores que influyen para que esta condición no se cumpla.

### 2.1.8.1. Secciones transversales

El conjunto de elementos geométricos del alineamiento transversal, es lo que compone a cada sección, se pueden presentar diferentes tipos de variantes dependiendo de la configuración del terreno.

Figura 21. Tipos de secciones transversales



Fuente: CASANOVA, Leonardo. *Elementos de geometría*. p. 1-24.

### 2.1.8.2. Cálculo de áreas

Para el cálculo de volúmenes de tierra es necesario determinar el área de corte y relleno, se calcula mediante las secciones transversales. Para dicho cálculo se realiza en base a la sección típica de la carretera y se calcula a cada

20 metros transversalmente a lo largo del alineamiento horizontal. La forma de medir las áreas de las secciones transversales son gráfica, analítica y mediante un software.

La forma gráfica consiste en medir las áreas mediante un planímetro polar el cual es un instrumento para la medición de áreas irregulares. La forma analítica consiste en plotear las áreas en papel milimetrado, determinando las coordenadas para cada punto, están referidas a la línea central del alineamiento posteriormente mediante el método de los determinantes se encuentra el área de la siguiente forma:

Tabla XVI. **Cálculo de área transversal mediante determinantes**

Coordenadas	
X <sub>0</sub>	Y <sub>0</sub>
X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>
X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>
X <sub>2+n</sub>	Y <sub>2+n</sub>
X <sub>0</sub>	Y <sub>0</sub>

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Área} = \Sigma \left( \frac{\Sigma(X_n * Y_{n+1}) - \Sigma(Y_n * X_{n+1})}{2} \right)$$

En la actualidad para el cálculo del área transversal se realiza mediante softwares especiales, tienen un margen de error, uno de los más conocidos es AutoCAD Civil 3D.

### 2.1.8.3. Cálculo de volúmenes

El cálculo de volúmenes de corte y relleno se basa en encontrar el volumen aproximado entre dos secciones transversales que están a cierta distancia. Existen dos métodos que son más utilizados: método de áreas medias y método del prisma. Para el primer método se realiza un promedio del área existente y se multiplica por la distancia entre ambas secciones.

$$\text{Volumen} = \frac{A_1 + A_2}{2} * (D)$$

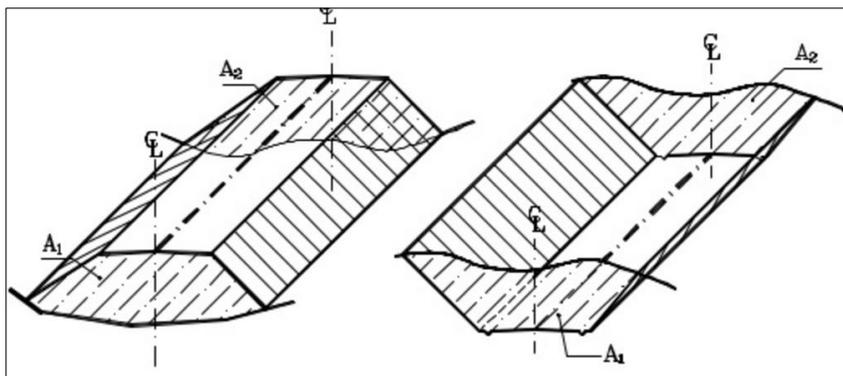
Donde:

Volumen = volumen entre ambas secciones en metros cúbicos

$A_1, A_2$  = áreas de secciones transversales en metros cuadrados

D = distancia entre secciones transversales en metros

Figura 22. **Volumen en secciones del mismo tipo**



Fuente: CASANOVA, Leonardo. *Elementos de geometría*. p. 1-25

Durante el cálculo se debe analizar si las secciones son de relleno, corte, o una combinación de las dos, en el último caso se debe analizar para encontrar el punto de paso que es donde el corte se convierte en relleno o viceversa, esto con el fin de multiplicar cada área y su distancia.

Para dicho análisis se asume que el punto de paso es perpendicular al eje y el volumen de corte entre el área de corte  $A_c$  y el área del punto de paso que es cero. El volumen de relleno entre el área de relleno  $A_r$  y el área del punto de paso y se calcula de la siguiente manera:

$$V_c = 0.5 (A_c + A_o) * d_c \qquad V_r = 0.5 (A_r + A_o) * d_r$$

Donde:

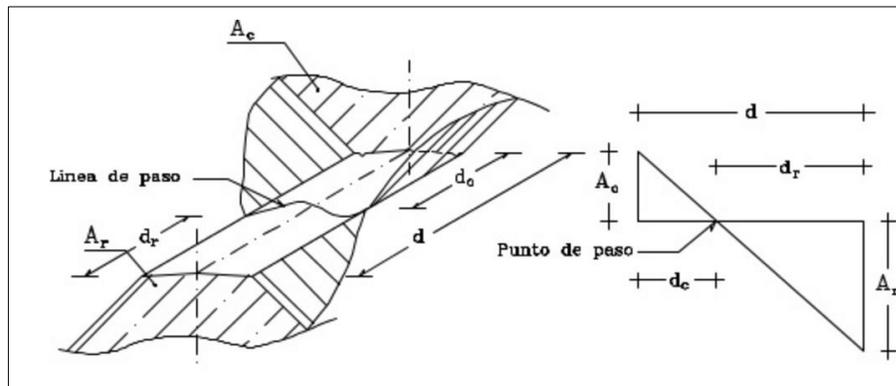
$V_c, V_r$  = volumen de corte y de relleno en metros cúbicos

$A_c, A_r$  = área de corte y de relleno en metros cuadrados

$A_o$  = área de la sección en el punto de paso,  $A_o=0$

$d_c, d_r$  = distancias de corte y relleno en metros

Figura 23. **Volumen entre secciones de diferente tipo**



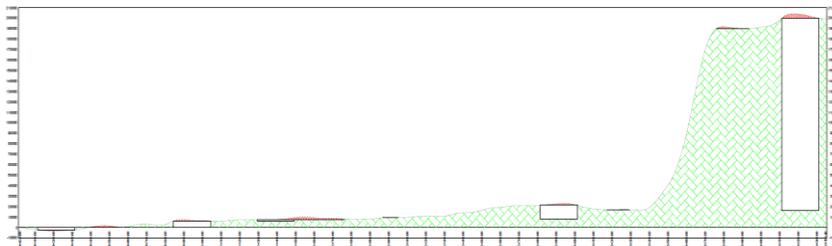
Fuente: CASANOVA, Leonardo. *Elementos de geometría*. p. 1-26.

El volumen para el proyecto se calculó mediante el programa de AutoCAD Civil 3D, con una distancia de 20 metros entre secciones transversales para tramos donde existieran tangentes, y a cada 10 metros de separación entre curvas.

#### 2.1.8.4. Diagrama de masas

Al diseñar una carretera no basta ajustarse a las especificaciones sobre pendientes, curvas verticales, drenaje, entre otros, para obtener un resultado satisfactorio, sino que también es igualmente importante conseguir la mayor economía posible en el movimiento de tierras. Esta economía se consigue excavando y rellenando solamente lo indispensable y acarreando los materiales la menor distancia posible. El diagrama de masa o curva de masa es el estudio de las cantidades de excavación y de relleno, su compensación y movimiento.

Figura 24. Diagrama de masas



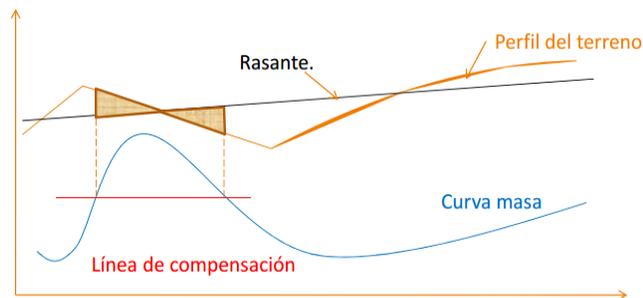
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD Civil 3D 2016.

El diagrama busca el equilibrio para la calidad y economía de los movimientos de tierras, además es un método que indica el sentido del movimiento de los volúmenes excavados, la cantidad y la localización de cada uno de ellos. El eje vertical representa los volúmenes acumulados y el eje horizontal presenta las estaciones correspondientes.

Para determinar los volúmenes acumulados se consideran positivos los cortes y negativos los rellenos, haciéndose la suma algebraicamente. Los objetivos principales de la curva son: compensar volúmenes, fijar el sentido de los movimientos del material, fijar límites del acarreo libre, calcular sobre acarreos y controlar préstamos y desperdicios.

- Compensar volúmenes: en aspectos generales la línea de compensación que da acarreo mínimos, es aquella que corta el mayor número de veces la curva masa. Cualquier línea horizontal que corte una cima de la curva de masa, marcará los límites de corte y relleno que se compensan.

Figura 25. **Diagrama de compensación de volúmenes**



Fuente: *Carreteras y Aeropuertos II, Movimiento de tierras y diagrama de masas*. p. 9.

- Sentido de los movimientos: todos los cortes que en el diagrama de masa estén por arriba de la línea de compensación, se moverán hacia adelante y los cortes que estén por debajo de la línea de compensación se mueven hacia atrás.

- Distancia de acarreo libre: se le denomina a la distancia a la que cada metro cúbico de material puede ser movido sin que tenga ningún costo adicional, se acostumbra a que esta distancia sea de 200 metros.
- Distancia de sobre acarreo: esta es la distancia en donde el transporte del material de corte o relleno, tendrá un coste adicional.

### **2.1.9. Estructura de pavimento**

La estructura de un pavimento es fundamental para que la carretera tenga un buen funcionamiento y un tiempo de vida útil adecuado. Dicha estructura se compone de capas, las cuales distribuyen las cargas que generan los vehículos sobre la carpeta de rodadura. Entre las capas que se pueden mencionar para una estructura de pavimento rígido son: subrasante, subbase, base y carpeta de rodadura.

#### **2.1.9.1. Capa de subrasante**

Se le conoce subrasante a la capa de terreno natural, la cual soporta la estructura de la capa de rodadura y que se extiende hasta una profundidad en la cual no se ve afectada por las cargas a soportar de diseño, que son provocadas debido a la circulación de los vehículos.

La subrasante se diseñará con el fin de compensar el área de corte y relleno, cumpliendo con los parámetros de diseño, lo cual en algunos casos no es posible debido a ciertos factores propios del proyecto. Una de las funciones principales es soportar la capas que componen al pavimento después de haber sido estabilizada, compactada y homogenizada. En base al estudio de suelos,

se puede determinar que si es capaz de soportar la capa de rodadura de un pavimento rígido directamente, sin ninguna capa intermedia.

Cuando se clasifica dicha subrasante se debe de obtener el valor del suelo compactado a un 95 % como mínimo de la densidad máxima obtenida en el laboratorio.

Tabla XVII. **Análisis de resultado del laboratorio**

CBR (%)	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2-5	Muy mala	Subrasante
5-8	Mala	Subrasante
8-20	Regular – Buena	Subrasante
20-30	Excelente	Subrasante
30-60	Buena	Subbase
60-80	Buena	Base
80-100	Excelente	Base

Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. p. 120.

Por lo cual en base al resultado de laboratorio se puede determinar que el suelo es para un uso de subbase debido a que posee un CBR DE 44,83 % a un 99,7 % de compactación.

### 2.1.9.2. **Capa subbase**

Esta es la primera capa de la estructura destinada a soportar, transmitir, aislar y distribuir de una manera uniforme el efecto de las cargas provocadas por el tránsito. Por lo general esta capa está constituida por material selecto o estabilizado, de un espesor determinado y compactado; pero nunca menor de 10 centímetros ni mayor a 70 centímetros. Una de las funciones principales es

eliminar la acción provocada por el bombeo y aumentar el valor soporte del suelo.

En el caso de este proyecto no se utilizará dicha capa debido a que el estado de la subrasante cumple los requisitos para suplir la capa de subbase. Por lo cual únicamente se agregará material granular, para su estabilidad y drenaje. Entre los requerimientos para la subbase se pueden mencionar los siguientes:

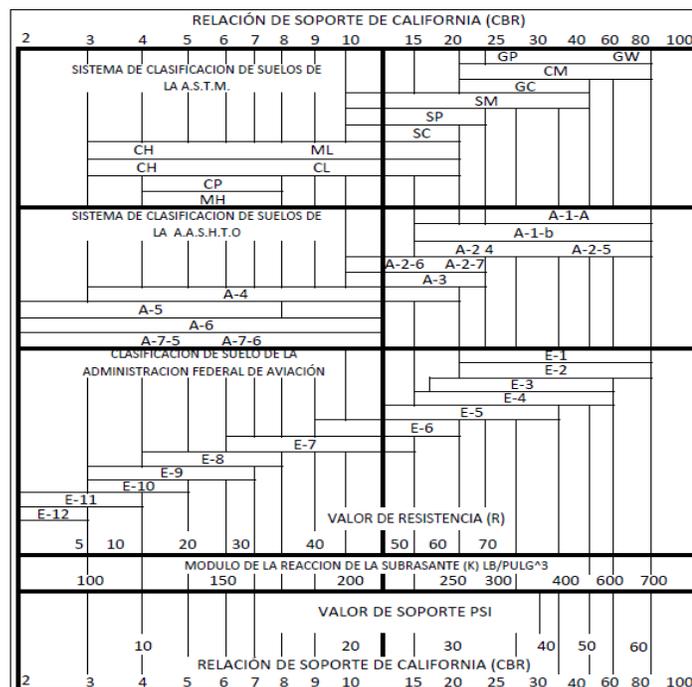
- Granulometría: el tamaño máximo de las piedras del material que se utilice no deberá ser mayor de  $\frac{2}{3}$  del espesor de la capa y no tener más del 50 % en peso.
- Valor soporte: debe tener un porcentaje de CBR mínimo de 30 % según la Norma (AASHTO T-193), efectuado en una muestra saturada a un porcentaje del 95 % de compactación.
- El material debe estar libre de impurezas tales como: materia orgánica, arcilla, basura y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas en la capa.
- Plasticidad y cohesión: cada material que pase por el tamiz número 40, no deberá poseer un índice de plasticidad mayor de 6 % según la Norma (AASHTO T- 90), igualmente un límite líquido mayor que 25 % según la Norma (AASHTO T-89).

### 2.1.9.3. Base

Esta capa es la que se coloca por encima de la subbase o subrasante, dependiendo de las condiciones del suelo. Dicha capa puede ser granular o bien de mezclas con cemento y otro material ligante y su función es drenar el agua absorbida por la carpeta de rodadura, y también deberá resistir a los cambios de temperatura, desintegración por abrasión, y humedad.

El porcentaje de compactación (CBR) mínimo que debe tener la base es de 30 %, efectuado sobre una muestra saturada al 95 % de compactación.

Tabla XVIII. **Correlación aproximada de la clasificación de los suelos**



Fuente: LONDOÑO, Cipriano. Diseño, *construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto*. p. 26.

Determinación de espesor de la capa base: para la determinación de dicho espesor, se debe encontrar el módulo de reacción de la subrasante (K), el cual se encuentra mediante la tabla de correlación aproximada de los suelos. Posteriormente se determina el espesor de la base mediante la tabla de valores de (K) y se determina el valor para esa capa.

Con base en los resultados del estudio de suelos se determinó que el valor del módulo de la subrasante es aproximadamente de 300 lbs/pulg<sup>3</sup> según la tabla XVIII, por lo cual se decidió usar una base granular de espesor de 10 cm.

Tabla XIX. **Valores de módulo de reacción de base**

Valor de K de la subrasante lb/pulg <sup>3</sup>	Valor de K sobre la base lbs/pulg <sup>3</sup>			
	Espesor 4 pulg	Espesor 6 pulg	Espesor 9 pulg	Espesor 12 pulg
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: RODAS BALLE, Raúl. *Carreteras calles y aeropista*. p. 334.

#### **2.1.9.4. Capa de rodadura**

La capa de rodadura es la última que se aplica y puede estar constituida por losas de concreto simple o reforzado. Esta capa es diseñada para soportar y distribuir a las demás capas, las cargas inducidas por los vehículos que transiten en ella por otra parte deberá soportar la acción de los agentes climáticos y el desgaste provocado por los vehículos que transiten.

### **2.1.10. Diseño de pavimento rígido**

Posteriormente de determinar las capas que conforman la estructura del pavimento rígido mediante los análisis del estudio de suelos, es necesario realizar el diseño de la última capa, para realizarlo es necesario determinar distintos factores que se pueden mencionar: el módulo de ruptura del concreto, el módulo de reacción (K), el tráfico promedio diario anual, y los tipos de suelos que soportaran el pavimento.

Para el diseño se utilizará el método diseñado por la asociación del cemento portland, que por sus siglas se le conoce como método simplificado de la PCA; determina el espesor de losa adecuada para soportar cargas de tránsito.

#### **2.1.10.1. Determinación de TPDA**

Este factor determina el espesor de la capa de rodadura, tendrá la función de soportar la carga producida por el tránsito.

Por sus siglas el TPDA (tránsito pesado promedio anual), se puede determinar mediante un estudio de tránsito, en este caso se estimará mediante la tabla XX, para posteriormente encontrar el TPPD (tránsito pesado promedio diario), el cual ayudará a determinar el espesor de losa, según el método de PCA.

Dado que el tramo carretero se encuentra en zona rural y es un camino secundario, cuenta con un tránsito pesado medio, el TPDA se puede estimar con la ayuda de la tabla XX.

Tabla XX. **Clasificación funcional de las carreteras regionales**

TPDA	> 20,000		20,000 – 10,000		10,000 – 3,000		3,000 – 500	
	C	S	C	S	C	S	C	S
AR – Autopistas regionales	6 a 8	Pav.	4 a 6	Pav.	2			
TS – Troncales suburbanas	4	Pav.	2 a 4	Pav.	2	Pav.		
TR – Troncales rurales	4	Pav.	2 a 4	Pav.	2	Pav.		
CS – Colectoras suburbanas			2 a 4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR – Colectoras rurales						Pav.	2	Pav.

Fuente: CORONADO ITURBIDE, Jorge, *Manual centroamericano para diseño de pavimentos*.  
p. 36.

TPDA = tránsito promedio diario anual

C = número de carriles

S = superficie de rodadura

Pav. = pavimentadas

Según las condiciones de servicio, el tramo carretero se puede clasificar como CR (colectoras rurales) con un estimado de TPDA de 800; según la categoría del TPDA, se utilizó el 3 % según tabla XXI, dando como resultado a un TPPD de 25, lo que significa que esa cantidad de vehículos pesados transitan en un día.

Tabla XXI. **Categorías de tráfico en función de cargas por eje**

Categoría de ejes	Descripción	TPDA	TPPD		Carga máxima por eje	
			%	Por día	Eje sencillo	Eje doble
1	Calles residenciales, caminos rurales y secundarios (de bajo a medio*)	200 – 800	1-3	Hasta 25	22	36
2	Calles colectoras, caminos rurales y secundarios (altos*), Arterias principales y caminos principales (Bajos*)	700 – 5 000	5-18	40-1 000	26	44
3	Caminos primarios y arterias principales (medio*) , viaductos, vías rápidas periféricos, vialidades urbanas y rurales (de bajo a medio*)	3 000 – 12 000 en 2 carriles, 3 000 – 50 000 en 4 carriles	8-30	500 – 1 000	30	52
4	Arterias principales, carreteras principales, viaductos (altos*), Carreteras y vías urbanas y rurales (de medio a alto*)	3 000 – 20 000 en 2 carriles, 3 000 –150 000 4 carriles o mas	8-30	1 500 – 8 000	34	60

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 148.

### 2.1.10.2. Método simplificado PCA (Asociación del Cemento Portland)

Este es un método que se realiza mediante un procedimiento sencillo, con el fin de determinar el espesor de losa necesario, basados la tabla XXIII es necesario realizar el siguiente procedimiento:

- Determinación del TPDA y TPPD:

En este caso se determinó anteriormente estos parámetros con lo cual se tiene TPDA igual a 800 y un TPPD igual a 25.

- Determinación del módulo de reacción K de base y el espesor de base:

El módulo de reacción de base K es la relación entre el esfuerzo aplicado a una placa de suelo y la deformación que dicha placa sufre por efecto del esfuerzo.

El modulo se encuentra mediante el módulo de reacción K de la subrasante el cual es de 300 lb/pulg<sup>3</sup>, debido a que es una base granular de 10 centímetros, se calcula mediante la tabla XIX, y da como resultado 320 lb/pulg<sup>3</sup>.

Debido al resultado anterior se determina el soporte como muy alto, según la tabla XXII,

Tabla XXII. **Tipos de suelo de apoyo y sus módulos de reacción aproximados**

Tipo de suelo	Condición de apoyo	Rango de valores de K (lb/pulg <sup>3</sup> )
Limos y arcillas plásticas	Bajo	75 – 120
Arenas y mezclas de arena, gravas con cantidades moderadas de limo y arcilla	Medio	130 – 170
Arenas y mezclas de arena, gravas prácticamente libre de finos	Alto	180 – 220
<b>Subbases estabilizadas con cemento</b>	<b>Muy alto</b>	<b>250 – 400</b>

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 149.

- Determinación del espesor de la losa de concreto:

Para determinar el espesor necesario en base a las cargas del tránsito es importante definir el módulo de ruptura del concreto a utilizar, dicho módulo será el 15 % de la resistencia a la compresión del concreto. El concreto tiene que tener una resistencia a la compresión mínima de 28MPa (400 PSI) por lo cual se tiene un módulo de ruptura de:

$$MR = 4\ 000\ \text{PSI} * 0,15 = 600\ \text{PSI}$$

Los últimos factores para determinar el espesor de losa es definir si la sección transversal tendrá hombros a los extremos del carril. Para el proyecto se utilizará hombros de 50 centímetros a cada lado. En la tabla XXIII se define el espesor de losa:

Con base en el módulo de rotura de 600 PSI y al tráfico pesado promedio (TPPD) de 25 calculado anteriormente, se sitúa en la columna donde es correspondiente a una carretera con hombros y se ubica en el TPPD próximo el cual es de 75, esto quiere decir, que el espesor es de 5 pulgadas (12,5 centímetros), pero debido a fines constructivos se empleará un espesor de losa de 15 centímetros.

Tabla XXIII. **TPPD permisible, categoría de carga por eje No. 1, pavimento con junta de trabazón de agregado (no se necesitan dovelas)**

	Sin hombros de concreto o bordillo				Con hombros de concreto o bordillo			
	Espesor de losa (pulg)	Soporte subrasante subbase			Espesor de losa (pulg)	Soporte subrasante subbase		
		Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
Módulo de rotura de 650 PSI	4,5			0,1	4		0,2	0,9
	5	0.1	0,8	3	4,5	2	8	25
	5,5	3	15	45	5	30	130	330
	6	40	160	430	5,5	320		
	6,5	330						
Módulo de rotura de 600 PSI	5		0,1	0,4	4			0,1
	5,5	0.5	3	9	4,5	0,2	1	5
	6	8	36	98	5	6	27	75
	6,5	76	300	760	5,5	73	290	730
	7	520			6	610		
Módulo de rotura de 550 PSI	5,5	0.1	0,3	1	4,5		0,2	0,6
	6	1	6	18	5	0,8	4	13
	6,5	13	60	160	5,5	13	57	150
	7	110	400		6	130	480	
	7,5	620						

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 149.

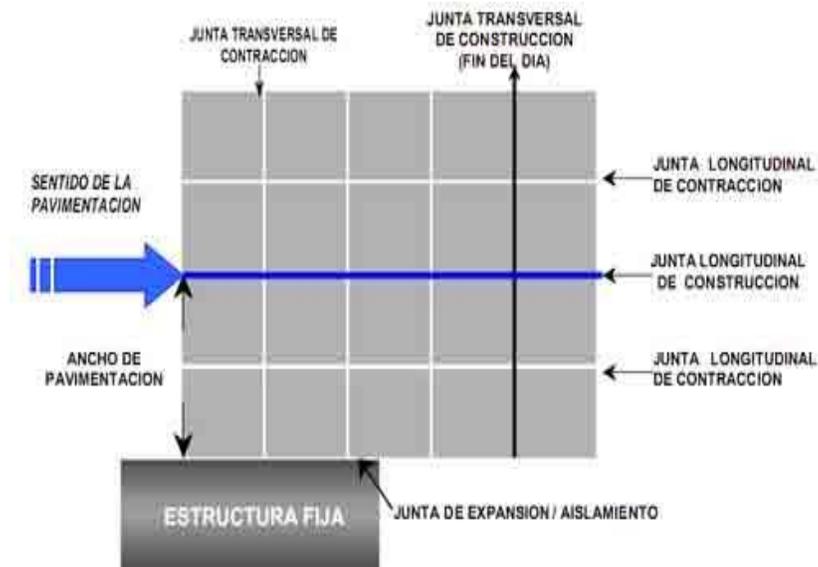
### 2.1.10.3. Juntas

El funcionamiento principal de una junta es la contracción y expansión del concreto rígido, con lo cual se asegura de liberar de esfuerzos a la losa. El diseño de las juntas definirá la forma en que se transmitirse las cargas producidas por el tráfico de una losa hacia la siguiente.

Para dicho proyecto se usará una junta transversal a cada tres metros de distancia o conforme lo demande el terreno, además de una junta longitudinal al centro de la calzada que asegure una mejor distribución de los esfuerzos.

Dichas juntas deberán ser selladas con un material adecuado como sello elastómero para evitar la filtración del agua a la subrasante.

Figura 26. **Esquema de juntas en un pavimento**



Fuente: Constructor civil. [www.elconstructorcivil.com/2011/04/](http://www.elconstructorcivil.com/2011/04/). Consulta: el 21 de abril de 2017.

### 2.1.10.3.1. Juntas longitudinales

Estas son las que se colocan paralelamente al eje longitudinal del alineamiento, con el fin de prevenir la formación de grietas longitudinales a lo largo de las losas de concreto. La profundidad de la ranura superior de la junta no deberá ser inferior de un cuarto del espesor de la losa y la separación máxima entre juntas longitudinales es de 3,80 metros.

#### **2.1.10.3.2. Juntas transversales**

La función principal de este tipo de junta es la de controlar las grietas causadas por el efecto de la retracción del concreto, estas a su vez deberán tener una profundidad en la ranura de un cuarto del espesor de la losa y están ubicadas perpendicularmente a la línea central. Su distancia de espaciamiento no deberá excederse de los 4,60 metros, para este proyecto el espaciamiento será de 3 metros.

#### **2.1.10.3.3. Juntas de expansión**

La función principal de este tipo de junta es disipar las tensiones creadas cuando el concreto se expande, es común que se coloquen cuando existan estructuras fijas, como: puentes, aceras, alcantarillas, entre otros. El ancho de estas juntas debe de ser de 12-25 milímetros y debe ser rellena de un material no absorbente ni reactivo.

#### **2.1.10.3.4. Juntas de construcción**

Estas son las juntas que tienen como función unir carriles adyacentes cuando van a ser pavimentados en tiempos diferentes.

#### **2.1.10.4. Diseño de mezcla**

El diseño de mezcla es el procedimiento mediante el cual se determina la cantidad de materiales necesarios para un concreto que satisfaga los requerimientos de uso, tomando en cuenta economía y cumpliendo especificaciones exigidas. Para este proyecto se utilizará el método americano del ACI.

Para el proyecto se requiere un concreto con una resistencia a la compresión ( $f'c$ ) de 4 000 PSI a los 28 días de curado, dicho concreto no tomará en consideración el aire para el diseño de la mezcla. El asentamiento para pavimentos es de 7,5 centímetros como máximo permisible, en base a la Norma del ACI 211.1, como se muestra en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Asentamientos recomendados para diversas estructuras**

Tipos de construcción	Asentamiento, cm	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7,5	2,5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7,5	2,5
Vigas y muros reforzados	10	2,5
Columnas para edificios	10	2,5
Pavimentos y losas	7,5	2,5
Concreto masivo	7,5	2,5

Fuente: American Concrete Institute (ACI). Norma 211.1. p. 8.

Se utilizará agregado grueso con un tamaño nominal de 2,54 centímetros, debido a que para un revenimiento de 7,5 centímetros y tamaño máximo de agregado de 1 pulgada, la relación de agua por volumen de concreto es de 193 litros por metro cúbico en base a la siguiente tabla.

Tabla XXV. **Relación de agua cemento para diferentes asentamientos y tamaños máximos de los agregados**

Revenimiento en (cm)	Agua, km/m <sup>3</sup> para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm)							
	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	<b>193</b>	<b>181</b>	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	199	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido por ciento	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
2,5 a 5,0	181	175	168	160	150	142	122	107
7,5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17,5	216	205	197	174	174	166	154	-
Exposición ligera	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición severa	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Fuente: American Concrete Institute (ACI). Noma 211.1. p. 8.

Posteriormente de encontrar la relación de agua, se determina el porcentaje de arena con base en la relación con el tamaño del agregado, se toma un 42 % de arena sobre agregado total como se muestra en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Porcentaje de arena sobre agregado grueso**

Tamaño máximo de agregado	% de arena sobre agregado total
3/8 pulg.	48
1/2 pulg.	46
3/4 pulg.	44
<b>1 pulg.</b>	<b>42</b>
1 1/2 pulg.	40

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 36.

Para definir la relación de agua-cemento, se basara en la resistencia a la compresión del concreto ( $f'c$ ), con base en la tabla se determina que el valor es del 57 %.

Tabla XXVII. **Relación agua-cemento en función a la resistencia a compresión del concreto**

Resistencia a la compresión a los 28 días ( $\text{kg/cm}^2$ )	Relación agua-cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0,41	-
350	0,48	0,4
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
140	0,82	0,74

Fuente: *American Concrete Institute (ACI)*. Norma 211.1. p. 9.

Para determinar la cantidad de cemento se considera que un litro de agua pesa igual a un kilogramo; se debe dividir la cantidad de agua por metro cúbico y la relación de agua-cemento.

$$\text{Cemento} = \frac{193\text{lt/m}^3}{0,57} = 338,60 \text{ kg/m}^3$$

Posteriormente se determina la cantidad del agregado restando el peso del agua y cemento del peso total de un metro cúbico de concreto:

$$\begin{aligned} \text{Peso Agregados} &= \text{Peso total} - \text{Peso (agua + cemento)} \\ \text{Peso Agregados} &= 2\,400 - (193 + 338,60) = 1\,868,40 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Para el cálculo de la cantidad de arena y piedrín se realiza con base en porcentaje correspondiente, que para el caso de arena es del 42 % y se realiza de la siguiente forma:

$$\text{Peso de arena} = (0,42)(1\ 868,40\text{kg/m}^3) = 784,73\ \text{kg/m}^3$$

$$\text{Peso del agregado} = 1\ 868,40\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 784,73\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1\ 083,67\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Calculando las proporciones finales en peso se calculan de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Arena}}{\text{Cemento}} = \frac{784,73}{338,60} = 2,32 \quad \frac{\text{Piedrín}}{\text{Cemento}} = \frac{1\ 083,67}{338,60} = 3,20$$

Tabla XXVIII. **Tabla resumen de relación de mezcla en peso**

Cemento	Arena	Piedrín	Agua
1	2,32	3,20	0,57

Fuente: elaboración propia.

Para determinar la relación equivalente a un volumen unitario de 1 metro cúbico se realiza de la siguiente manera.

$$\text{Cemento} = \left(338,60\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)(1\text{m}^3) = \frac{(338,60\text{kg})}{\left(\frac{42,5\text{kg}}{\text{sacos}}\right)} = 7,97\ \text{sacos}$$

$$\text{Arena} = \left(784,73\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)(1\text{m}^3) = \frac{(784,73\text{kg})}{\left(\frac{1\ 350\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 0,58\ \text{m}^3$$

$$\text{Piedrin} = \left(1\,083,67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (1\text{m}^3) = \frac{(1\,083,67\text{kg})}{\left(\frac{1\,600\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 0,68 \text{ m}^3$$

$$\text{Piedrin} = (193 \text{ lt /m}^3)(1\text{m}^3) = \frac{(193\text{lt})}{\left(\frac{3,785\text{lt}}{\text{gal}}\right)} = 51\text{galones}$$

Para realizar la relación de peso a relación, en volumen se debe asumir que un saco de cemento es equivalente a 1 pie cúbico, por lo que se realiza de la siguiente manera:

$$(1\text{pie}^3) \left(\frac{1\text{m}}{3,28\text{pie}}\right)^3 = 0,02831 \text{ m}^3 \times 7,97 \text{ sacos} = 0,23 \text{ m}^3$$

$$\frac{0,23}{0,23} : \frac{0,58}{0,23} : \frac{0,68}{0,23}$$

Tabla XXIX. **Tabla resumen de relación de mezcla en volumen**

Cemento	Arena	Piedrín	Agua
1	2,52	2,96	51 gal/m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.11. Drenajes

Los drenajes son sistemas de tuberías que se encuentran ubicados por debajo de las capas que componen a una carpeta de rodadura, a su vez, existen drenajes que adoptan la forma de un canal abierto. Su funcionalidad de ambos es drenar el líquido producido por las precipitaciones de un lugar.

### **2.1.11.1. Estudio hidrológico**

El estudio hidrológico es de suma importancia para un proyecto como el de un tramo carretero, ya que dependiendo de este se diseñarán los sistemas de drenajes, los cuales asegurarán que se mantenga en buen estado. Por otra parte es importante el mantenimiento rutinario y periódico de este tipo de estructuras de modo que mantengan su capacidad hidráulica y estructural para los que fueron diseñadas.

Los parámetros que se encontrarán con un estudio hidrológico son: parámetros geomorfológicos de la cuenca, forma de la cuenca, histograma de la cuenca entre otros. Estos parámetros ayudarán para el diseño de los drenajes transversales y longitudinales.

### **2.1.11.2. Hidrografía del lugar**

San Juan Sacatepéquez cuenta con una topografía muy accidentada y escarpada, formando cauces bastante torrenciales al momento de que existan precipitaciones.

El lugar donde se encuentra ubicado el proyecto del tramo carretero cuenta con un único sistema de drenaje natural; el cual es un río que está ubicado a un costado del proyecto, cuyo nombre es río Paxot y desemboca en el río Zactzi.

### 2.1.11.3. Precipitación

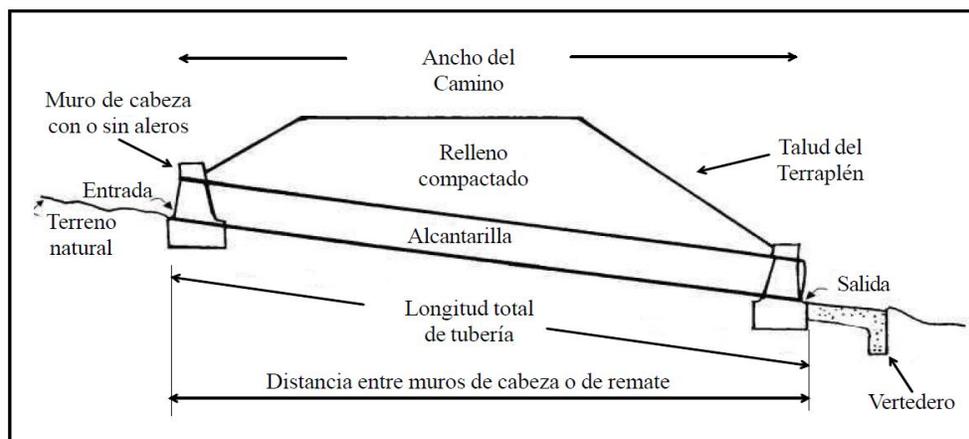
La precipitación es la cantidad de lluvia que cae en un determinado lugar y cae de la atmósfera para posteriormente llegar a la superficie terrestre y convertirse en escorrentía.

San Juan Sacatepéquez cuenta con un promedio de precipitación de 944.8 milímetros anualmente, según los datos brindados por la estación hidrológica más cercana tal y como lo indica la tabla II.

### 2.1.11.4. Diseño de drenaje transversal

Para el diseño del drenaje transversal se realiza mediante la ecuación de Manning, tomará en consideración el caudal a desfogar para cierta sección crítica al igual que la pendiente de inclinación y el factor de rugosidad del material.

Figura 27. Diagrama de sección transversal de drenaje



Fuente: GORDON, Keller. *Ingeniería de caminos rurales*. p. 16.

### 2.1.11.4.1. Coeficiente de escorrentía

Para determinar el coeficiente de escorrentía se tomó de la tabla XXX, donde se consideró un área suburbana con un coeficiente de escorrentía de 0,30.

Tabla XXX. Valores de coeficiente de escorrentía

Tipo del área drenada	Coeficiente de escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
ZONAS COMERCIALES:		
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios	0,50	0,70
ZONAS RESIDENCIALES:		
Unifamiliares	0,30	0,50
Multifamiliares, espaciados	0,40	0,60
Multifamiliares, compactos	0,60	0,75
Semiurbanas	0,25	0,40
Casas habitación	0,50	0,70
ZONAS INDUSTRIALES:		
Espaciado	0,50	0,80
Compacto	0,60	0,90
CEMENTERIOS, PARQUES	0,10	0,25
CAMPOS DE JUEGO	0,20	0,35
PATIOS DE FERROCARRIL	0,20	0,40
ZONAS SUBURBANAS	0,10	0,30
CALLES:		
Asfaltadas	0,70	0,95
De concreto hidráulico	0,70	0,95
Adoquinadas	0,70	0,85
ESTACIONAMIENTOS	0,75	0,85
TECHADOS	0,75	0,95
PRADERAS:		
Suelos arenoso planos (pendiente 0,02 o menos )	0,05	0,10
Suelos arenoso con pendiente medias (0,02-0,07)	0,10	0,15
Suelos arenoso escarpados (0,07 o más )	0,15	0,20
Suelos arcillosos planos (0,02 o menos )	0,13	0,17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0,02-0,07)	0,18	0,22
Suelos arcillosos escarpados (0,7 o más)	0,25	0,35

Fuente: APARICIO MIJARES, Francisco J. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. p. 210.

### 2.1.11.4.2. Intensidad de lluvia

Para determinar el parámetro de la intensidad de lluvia es necesario encontrar el tiempo de concentración que está dado por la tabla del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

Tabla XXXI. Fórmulas de intensidad de lluvia

Periodo	2 años	5 años	10 años	20 años
Ciudad de Guatemala	$\frac{2\ 838}{t + 18}$	$\frac{3\ 706}{t + 22}$	$\frac{4\ 204}{t + 23}$	$\frac{4\ 604}{t + 24}$
Bananera Izabal	$\frac{5\ 771}{t + 48,8}$	$\frac{710\ 395}{t + 53,8}$	$\frac{7\ 961}{t + 56,53}$	$\frac{6\ 889}{t + 40}$
Labor Ovalle Quetzaltenango	$\frac{97\ 717}{t + 3,8}$	$\frac{11\ 285}{t + 3,24}$	$\frac{134\ 554}{t + 3,49}$	$\frac{36\ 677}{t + 58,43}$
La Fragua Zacapa	$\frac{37\ 005}{t + 50}$	$\frac{39\ 905}{t + 41,75}$	$\frac{4\ 040}{t + 37,14}$	
Chimaltenango	$\frac{1\ 712}{t + 8,7}$	$\frac{2\ 201}{t + 10,17}$		

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

- Tiempo de concentración:

$$t_n = t_{n-1} + \left( \frac{L}{60} * V \right)$$

Donde:

$t_n$  = tiempo de concentración hasta el tramo considerado, en minutos.

$t_{n-1}$  = tiempo de concentración hasta el tiempo anterior, en minutos.

$L$ = longitud del tramo anterior, en metros.

$V$ = velocidad a sección llena del tramo, en m/s

$$t_n = 0 \text{ min} + \left( \frac{450 \text{ m}}{60} * 2 \text{ m/s} \right) = 15 \text{ min}$$

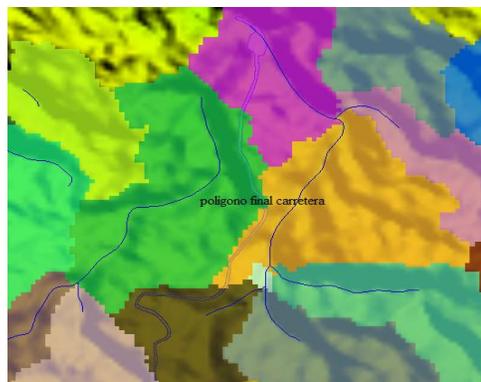
Para este caso se tomará la fórmula que corresponde a la ciudad de Guatemala con un periodo de 20 años.

$$I = \frac{4\,604}{t + 24} = \frac{4\,604}{15 + 24} = 118,05 \text{ mm/hr}$$

#### 2.1.11.4.3. Área tributaria

Para el cálculo del área tributaria se procedió a calcular el área de influencia de las cuencas que componen al tramo carretero mediante el programa Global Mapper, dicho análisis dio como resultado un área crítica de influencia de tres hectáreas.

Figura 28. **Mapa del área de influencia de la cuenca**



Fuente: elaboración propia, empleando Global Mapper.

#### **2.1.11.4.4. Diámetro mínimo**

Según las especificaciones de la Dirección General de Caminos (DGC), los conductos rígidos de cloruro de polivinilo (PVC), deben cumplir con lo especificado en la Norma AASHTO M-728, y al mismo tiempo deberán tener como mínimo un diámetro mayor de 30 pulgadas, con el fin de cuestiones de limpieza y mantenimiento.

#### **2.1.11.4.5. Radio hidráulico**

El radio hidráulico es el parámetro necesario para realizar un dimensionamiento de los canales, tuberías y otros componentes de obras hidráulicas. Es representado por la letra R y esta expresado de la siguiente manera:

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde:

R= radio hidráulico

A= área mojada

P= perímetro mojado

#### **2.1.11.5. Procedimiento de cálculo**

El diseño del drenaje transversal se realiza de la siguiente manera con los parámetros anteriormente descritos.

Datos:

Coeficiente de escorrentía= 0,30, según zona suburbana, (tabla XXX)

Intensidad de lluvia= 118,05 mm/hr

Área a drenar= 3 hectáreas

Con los datos encontrados se encuentra el caudal a drenar mediante el método racional, y posteriormente determinar las dimensiones del drenaje en función del caudal.

El método racional está definido por la siguiente ecuación:

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

Donde:

Q= caudal en (m<sup>3</sup>/s)

C= coeficiente de escorrentía

I = intensidad de lluvia en (mm/hr)

A= área a drenar (hectáreas)

$$Q = \frac{(0,30)(118,05)(3)}{360}$$

$$Q = 0,30 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Posteriormente se determinó el diámetro necesario para evacuar dicho caudal mediante la ecuación de Manning:

$$D = \left[ \frac{Q * n * 4^{5/3}}{s^{1/2} * \pi} \right]^{3/8}$$

Donde:

n= coeficiente de rugosidad de material PCV (n=0,010)

S= pendiente de tubería (S=2 %)

$$D = \left[ \frac{0,30 * 0,010 * 4^{5/3}}{0,02^{1/2} * \pi} \right]^{3/8} = 0,24 \text{ mts}$$

Según el resultado la tubería del drenaje debe de tener como mínimo un diámetro de 0,24 metros para evacuar el caudal de diseño; debido a que el diámetro mínimo es de 30 pulgadas (0,76 mts) con lo cual asegura un buen desempeño para realizar un mantenimiento y limpieza adecuada debido a esto se utilizará tubería de 30 pulg de PCV.

En total se colocarán 14 drenajes transversales que estarán en las siguientes estaciones:

DT<sub>1</sub> = estación 0+050

DT<sub>2</sub> = estación 0+580

DT<sub>3</sub> = estación 1+000

DT<sub>4</sub> = estación 1+390

DT<sub>5</sub> = estación 1+740

DT<sub>6</sub> = estación 2+100

DT<sub>7</sub> = estación 2+420

DT<sub>8</sub> = estación 2+760

DT<sub>9</sub> = estación 3+180

DT<sub>10</sub> = estación 3+340

DT<sub>11</sub> = estación 3+800

DT<sub>12</sub> = estación 3+920

DT<sub>13</sub> = estación 4+050

DT<sub>14</sub> = estación 4+220

### **2.1.11.6. Diseño de drenaje longitudinal**

Para el diseño de los drenajes longitudinales se adopta la forma de un canal abierto, dependiendo de las demandas del caudal se pueden adoptar diferentes formas tales como: trapezoidal, triangular, rectangular y cuadradas.

A estos canales abiertos se les denomina como cunetas, son diseñadas con el fin de transportar el caudal escurrido por el bombeo y trasladarlo a los drenajes transversales para el desfogue en cuerpo receptor.

Para el diseño se utiliza la ecuación de Manning, se considera la pendiente y velocidad máxima, para proteger el canal del escurrimiento y la acción destructiva del agua. Dicha ecuación está dada de la siguiente forma:

$$V = \frac{1}{n} (r)^{2/3} (s)^{1/2}$$

Donde:

V= velocidad media, en (mts/seg)

r = radio hidráulico, en (mts)

n= coeficiente de rugosidad de Manning

s= pendiente del canal en metros por metro

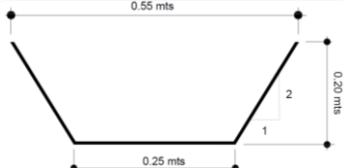
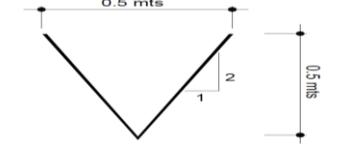
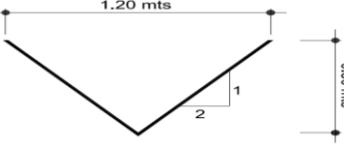
#### **2.1.11.6.1. Cálculo de dimensiones de cuneta**

Para el predimensionamiento de la cuneta se consideraron tres formas diferentes de sección transversal, dando como resultado diferentes

configuraciones, a partir de cada una estas se calculó el volumen total de excavación mediante el programa AutoCad Civil 3D.

Se muestra en la tabla XXXII de forma detallada las secciones transversales propuestas y sus respectivos volúmenes, con lo cual se determinó utilizar la sección trapezoidal debido a la sección más óptima tanto en costos como en proporciones.

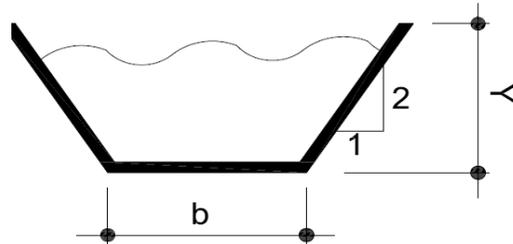
Tabla XXXII. **Cálculo de volumen de excavación de cunetas**

	Sección de canal	Volumen de excavación total (m <sup>3</sup> )
Trapezoidal		755,26 m <sup>3</sup>
Triangular		1 124,57 m <sup>3</sup>
Triangular		1 382,34m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad Civil 3D.

Como se muestra en la figura 29 se determinarán las dimensiones adecuadas, tomando en consideración el caudal a evacuar:

Figura 29. **Predimensionamiento de cuneta**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Posteriormente se determina las dimensiones mediante la ecuación de Manning con los siguientes datos:

Datos:

S = 19 %

I = 118,05 mm/hr

Pendiente talud = 1:2

Coefficiente de rugosidad (n) = 0,016 (concreto revestido)

- Determinación del caudal mediante método racional

$$Q = \frac{CIA}{360} = \frac{(0,30)(118,05)(0,45)}{360} = 0,044 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- Determinación del área hidráulica

$$A = (b + zy)y$$

$$A = (by + \frac{1}{2}y^2)$$

- Determinación del perímetro mojado

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$P_m = b + 2,236y$$

- Igualamos el radio hidráulico a el radio hidráulico óptimo el cual está definido para una sección trapezoidal como  $y/2$ .

$$\frac{A}{P_m} = \frac{y}{2} \quad \frac{(by + \frac{1}{2}y^2)}{b + 2,236y} = \frac{y}{2}$$

$$b = 1,23607 y$$

- Posteriormente se encuentra el área en función del tirante hidráulico de la siguiente manera:

$$A = \left[ by + \frac{1}{2}y^2 \right] = \left[ (1,23607 y)y + \frac{1}{2}y^2 \right] = 1,736 y^2$$

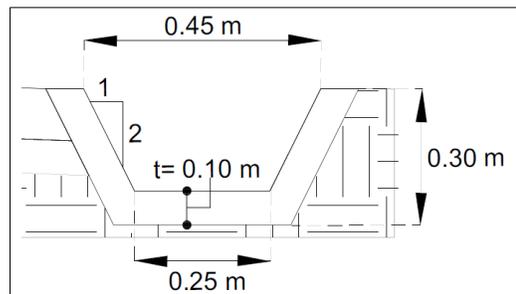
Utilizando la ecuación de Manning en función del caudal se encuentran las dimensiones con los datos anteriormente proporcionados.

$$Q = \frac{A}{n} (r)^{2/3} (s)^{1/2}$$

$$0,044 \text{ m}^3/\text{seg} = \frac{(1,736 y^2)}{0,016} \left(\frac{y}{2}\right)^{2/3} (0,0025)^{1/2}$$

$$y = 0,20 \text{ m} \quad b = 0,25 \text{ m}$$

Figura 30. **Diagrama de cuneta dimensionada**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

#### **2.1.11.6.2. Velocidad máxima permisible**

La velocidad máxima permisible es la que asegurará un buen desempeño del canal sin que este sufra ningún tipo de erosión en el fondo del mismo, provocado por el efecto del agua. Por lo cual en canales revestidos de concreto, se ha determinado experimentalmente que la velocidad máxima es de 3 m/seg.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,044}{1,74 (0,20)^2} * 2 = 0,63 \text{ m/seg}$$

#### **2.1.12. Elaboración de planos**

Para la elaboración del juego de planos de construcción se realizaron mediante el programa AutoCAD Civil 3D 2016, consta de 29 planos y están ubicados en dicho apéndice.

#### **2.1.13. Presupuesto**

El presupuesto es elaborado mediante los precios unitarios de diversas actividades necesarias para la realización del proyecto. La integración de todos

los precios unitarios darán como resultado el costo total del proyecto, aunque el costo final puede variar del presupuesto de obra inicial debido a ciertos factores este dará un aproximado de la cantidad real.

#### **2.1.13.1. Integración de precios unitarios**

Para la integración de los precios unitarios se realizará mediante los renglones de trabajo propuestos para un proyecto de tramo carretero.

Tabla XXXIII. **Replanteo topográfico**

<b>INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Renglón:</b> A					
<b>Actividad:</b> REPLANTEO TOPOGRÁFICO					
<b>Cantidad:</b> 1 KM					
EQUIPO					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Servicio topográfico	1	km	Q 2 500.00	Q 2 500.00
					Q -
					Q -
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 2 500.00</b>
MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q -</b>
MATERIALES					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q -</b>
Total Costo Directo					Q 2 500,00
Costos Indirectos: 20 %					Q 500,00
<b>TOTAL POR RENGLÓN:</b>					<b>Q 3 000,00</b>
<b>TOTAL POR : UNIDAD KM</b>					<b>Q 3 000,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Excavación no clasificada**

<b>INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Reglón:</b> B					
<b>Actividad:</b> EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA					
<b>Cantidad:</b> 1 M <sup>3</sup>					
EQUIPO					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Retroexcavadora cargadora	0,01	hora	Q 700,00	Q 7,00
	Camión de volteo 12 m3	0,04	viajes	Q 700,00	Q 28,00
	Equipo de topografía	0,01	Día	Q 600,00	Q 6,00
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 41,00</b>
MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Contrato	0,01		40	Q 0,40
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 0,40</b>
MATERIALES					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q -</b>
Total Costo Directo					Q 41,40
Costos Indirectos: 20 %					Q 8,28
<b>TOTAL POR RENGLÓN:</b>					<b>Q 49,68</b>
<b>TOTAL POR : UNIDAD</b> M <sup>3</sup>					<b>Q 49,68</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Excavación no clasificada de desperdicio**

<b>INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Renglón:</b> C EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA PARA					
<b>Actividad:</b> DESPERDICIO					
<b>Cantidad:</b> 1 M3					
EQUIPO					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Retroexcavadora cargadora	0,01	Horas	Q 700,00	Q 7,00
	Camión de volteo	0,04	Viajes	Q 700,00	Q 28,00
	Equipo de topografía	0,02	Día	Q 550,00	Q 11,00
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 46,00</b>
MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Contrato	0,01		40	Q 0,40
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 0,40</b>
MATERIALES					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q -</b>
Total costo directo					Q 46,40
Costos Indirectos: 20 %					Q 9,28
<b>TOTAL POR RENGLÓN:</b>					<b>Q 55,68</b>
<b>TOTAL POR : UNIDAD M3</b>					<b>Q 55,68</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Excavación estructural para cimentaciones de estructuras (Bóvedas, cajas y cabezales de alcantarillas)**

INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Renglón:</b> D EXCAVACIÓN ESTRUCTURAL PARA CIMENTACIÓN DE CAJAS Y					
<b>Actividad:</b> CABEZALES DE ALCANTARILLAS					
<b>Cantidad:</b> 1 M <sup>3</sup>					
EQUIPO					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Retroexcavadora cargadora	0,01	Hora	Q 700,00	Q 7,00
	Camión de volteo	0,1	viaje	Q 700,00	Q 70,00
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 77,00</b>
MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Peón	1	día	Q 50,00	Q 50,00
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 50,00</b>
MATERIALES					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q -</b>
Total costo directo					Q 127,00
Costos indirectos: 20 %					Q 25,40
<b>TOTAL POR RENGLÓN:</b>					<b>Q 152,40</b>
<b>TOTAL POR : UNIDAD</b> M <sup>3</sup>					<b>Q 152,40</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Excavación estructural para alcantarillas**

<b>INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Replón:</b> E					
<b>Actividad:</b> EXCAVACIÓN ESTRUCTURAL PARA ALCANTARILLAS					
<b>Cantidad:</b> 1 M3					
<b>EQUIPO</b>					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Retroexcavadora cargadora	0,01	horas	Q 700,00	Q 7,00
	Camión de volteo	0,05	viaje	Q 700,00	Q 35,00
	Equipo Topográfico	0,01	días	Q 550,00	Q 5,50
					Q -
					Q -
<b>TOTAL REPLÓN:</b>					<b>Q 47,50</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Peón	1	día	Q 50	Q 50,00
<b>TOTAL REPLÓN:</b>					<b>Q 50,00</b>
<b>MATERIALES</b>					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
					Q -
<b>TOTAL REPLÓN:</b>					<b>Q -</b>
Total Costo Directo					Q 97,50
Costos Indirectos: 20 %					Q 19,50
<b>TOTAL POR REPLÓN:</b>					<b>Q 117,00</b>
<b>TOTAL POR : UNIDAD</b>					<b>Q 117,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Conformación de la capa base**

INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS						
<b>Proyecto:</b>	DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Renglón:</b>	F					
<b>Actividad:</b>	CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE (e=10cm)					
<b>Cantidad:</b>	1 M <sup>3</sup>					
EQUIPO						
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal	
	Motoniveladora motor de 150 HP	0,04	horas	Q 600,00	Q	24,00
	Cisterna de 2,650Gls.	0,02	Camión	Q 550,00	Q	11,00
	Vibratorio rodo liso de 12,5 ton.	0,02	horas	Q 370,00	Q	7,40
	Equipo de topografía	0,02	horas	Q 800,00	Q	16,00
	Equipo para laboratorio de suelos	0,15	horas	Q 250,00	Q	37,50
	Camión de volteo de 12 M <sup>3</sup>	0,02	m3	Q 280,00	Q	5,60
TOTAL RENGLÓN:						<b>Q 71,00</b>
MANO DE OBRA						
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal	
	Peón	0,05	horas	Q 15	Q	0,75
	Laboratorista	0,15	horas	Q 50	Q	7,50
TOTAL RENGLÓN:						<b>Q 8,25</b>
MATERIALES						
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal	
	Base granular	1	m3	Q 110,00	Q	110,00
TOTAL RENGLÓN:						<b>Q 110,00</b>
Total Costo Directo					Q	219,75
Costos Indirectos: 20 %					Q	43,95
TOTAL POR RENGLÓN:					Q	263,70
TOTAL POR : UNIDAD					<b>Q</b>	<b>263,70</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Acarreo**

<b>INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Renglón:</b> G					
<b>Actividad:</b> ACARREO					
<b>Cantidad:</b> 1 M <sup>3</sup> x KM					
EQUIPO					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Camión de volteo de 12 mts <sup>3</sup>	0,004	m3	Q 600,00	Q 2,40
	Retroexcavadora cargadora de motor	0,005	horas	Q 700,00	Q 3,50
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 5,90</b>
MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Contrato	0,01	viajes	Q 10,00	Q 0,10
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 0,10</b>
MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q -</b>
Total Costo Directo					Q 6,00
Costos Indirectos: 20 %					Q 1,20
<b>TOTAL POR RENGLÓN:</b>					<b>Q 7,20</b>
<b>TOTAL POR : UNIDAD</b>					<b>Q 7,20</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Carpeta asfáltica de concreto**

<b>INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Renglón:</b> H					
<b>Actividad:</b> CONCRETO 28MPA (4,000 PSI)					
<b>Cantidad:</b> 1 M <sup>3</sup>					
EQUIPO					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Metro cubico de concreto 4k PSI	1	M <sup>3</sup>	Q 2 000,00	Q 2 000,00
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 2 000,00</b>
MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Equipo de colocación de concreto incluye, formateado, colocación de concreto, planchado, rayado y anti sol.	1	M <sup>3</sup>	Q 70,00	Q 70,00
					Q -
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 70,00</b>
MATERIALES					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q -</b>
Total costo directo					Q 2 070,00
Costos indirectos: 20 %					Q 414,00
<b>TOTAL POR RENGLÓN:</b>					<b>Q 2 484,00</b>
<b>TOTAL POR : UNIDAD</b>					<b>Q 2 484,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Drenaje transversal**

<b>INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Reglón:</b> I					
DRENAJE					
<b>Actividad:</b> TRANSVERSAL					
<b>Cantidad:</b> 1 ML					
<b>EQUIPO</b>					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Topografía	0,05	horas	Q 800,00	Q 40,00
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 40,00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Colocación de drenaje transversal	0,17	MI	Q 60,00	Q 10,20
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 10,20</b>
<b>MATERIALES</b>					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Tubería de PVC 30"	0,17	MI	Q 10 650,00	Q 1 810,50
					Q -
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 1 810,50</b>
Total Costo Directo					Q 1 860,70
Costos Indirectos: 20 %					Q 372,14
<b>TOTAL POR RENGLÓN:</b>					<b>Q 2 232,84</b>
<b>TOTAL POR : UNIDAD</b> ml					<b>Q 2 232,84</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. Cunetas

INTEGRACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS					
<b>Proyecto:</b> DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA					
<b>Renglón:</b> J					
<b>Actividad:</b> CUNETAS					
<b>Cantidad:</b> 1 M <sup>2</sup>					
EQUIPO					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Metro cúbico de concreto simple fundido en sitio	1	m3	Q 150,00	Q 150,00
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 150,00</b>
MANO DE OBRA					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
	Peón y colocación de concreto, incluyendo formateado	1	m3	50	Q 50,00
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q 50,00</b>
MATERIALES					
	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Subtotal
					Q -
					Q -
					Q -
					Q -
<b>TOTAL RENGLÓN:</b>					<b>Q -</b>
Total Costo Directo					Q 200,00
Costos Indirectos: 20 %					Q 40,00
<b>TOTAL POR RENGLÓN:</b>					<b>Q 240,00</b>
<b>TOTAL POR : M<sup>2</sup></b>					<b>Q 240,00</b>

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.13.2. Resumen del presupuesto

A continuación se mostrará el cuadro resumen del monto total del proyecto.

<b>DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA</b>
---

<b>RESUMEN DE PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					
<b>RENGLÓN</b>	<b>NOMBRE DEL RENGLÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PU</b>	<b>MONTO</b>
A	REPLANTEO TOPOGRÁFICO	KM	3	Q 3 000,00	Q 9 000,00
B	EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA	M <sup>3</sup>	24 504,02	Q 49,68	Q 1 217 359,71
C	EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA PARA PRÉSTAMO	M <sup>3</sup>	197 735,70	Q 55,68	Q 11 009 923,22
D	EXCAVACIÓN ESTRUCTURAL PARA CIMENTACIÓN DE CAJAS Y CABEZALES DE ALCANTARILLAS	M <sup>3</sup>	45,4	Q 152,40	Q 6 918,96
E	EXCAVACIÓN ESTRUCTURAL PARA ALCANTARILLAS	M <sup>3</sup>	485	Q 117,00	Q 56 745,00
E.1	REACONDICIONAMIENTO DE LA SUBRASANTE EXISTENTE	M <sup>2</sup>	24 029,5	Q 30,00	Q 720 885,00
F	CONFORMACIÓN DE LA CAPA BASE (e=10cm)	M <sup>3</sup>	2 992,17	Q 263,70	Q 499 991,61
G	ACARREO	1 M <sup>3</sup> x KM	80 000	Q 7,20	Q 576 000,00
H	CONCRETO 28MPA (4,000 PSI)	M <sup>3</sup>	4 406	Q 2 484,00	Q 10 944 504,00
I	DRENAJE TRANSVERSAL	ML	340	Q 2 232,84	Q 759 165,60
J	CUNETAS	M <sup>2</sup>	5 280	Q 240,00	Q 1 267 200,00
K	SEÑALES DE TRANSITO INFORMATIVAS LATERALES DE METAL	UNIDAD	8	Q 2 800,00	Q 22 400,00
<b>MONTO DEL PROYECTO</b>					<b>Q 27 379 136,72</b>

Fuente: elaboración propia.

## 2.1.14. Cronograma de ejecución física y financiera

REGLÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PU	MONTO	(%)	CRONOGRAMA DE EJECUCION/ INVERSION								
						MESES				MES 3	MES 4	TOTALES		
						MES 1	MES 2	MES 3	MES 4					
A	KM	3	Q.3.000.00	Q. 9,000.00	0.50%	Q. 9,000.00							Q. 9,000.00	0.50%
B	m3	24,504.02	Q. 49.68	Q. 1,217,359.71	3.00%	Q. 243,471.94	Q. 243,471.94	Q. 243,471.94	Q. 243,471.94	Q. 243,471.94	0.80%		Q. 1,217,359.71	3.00%
C	M3	197,735.69	Q. 55.68	Q.11,009,923.22	5.00%	Q. 2,752,480.80	Q. 2,752,480.80	Q. 2,752,480.80	Q. 2,752,480.80	1.25%	1.25%		Q. 11,009,923.22	5.00%
D	M3	45.4	Q. 152.40	Q. 6,918.96	2.00%	Q. 2,306.32	Q. 2,306.32	Q. 2,306.32	Q. 2,306.32	0.67%	0.67%		Q. 6,918.96	2.00%
E	M3	485	Q. 117.00	Q. 56,745.00	2.00%	Q. 18,915.00	Q. 18,915.00	Q. 18,915.00	Q. 18,915.00	0.67%	0.67%		Q. 56,745.00	2.00%
E.1	M2	24,029.5	Q. 30.00	Q. 720,885.00	7.00%	Q. 240,295.00	Q. 240,295.00	Q. 240,295.00	Q. 240,295.00	2.33%	2.33%		Q. 720,885.00	7.00%
F	M3	2,962.17	Q. 263.70	Q. 789,035.23	10.00%	Q. 263,011.74	Q. 263,011.74	Q. 263,011.74	Q. 263,011.74	3.33%	3.33%		Q. 789,035.23	10.00%
G	1 M3 x KM	80,000	Q. 7.20	Q. 576,000.00	6.00%	Q. 144,000.00	Q. 144,000.00	Q. 144,000.00	Q. 144,000.00	1.50%	1.50%		Q. 576,000.00	6.00%
H	M3	4,406	Q. 2,484.00	Q. 10,944,504.00	40.00%							Q. 3,648,168.00	13.33%	
I	ML	340	Q. 2,232.84	Q. 759,165.60	5.00%	Q. 188,791.40	Q. 188,791.40	Q. 188,791.40	Q. 188,791.40	1.25%	1.25%	Q. 3,648,168.00	13.33%	
J	M2	5,280	Q. 240.00	Q. 1,267,200.00	8.00%							Q. 422,400.00	5.00%	
K	UNIDAD	8	Q. 2,800.00	Q. 22,400.00	0.50%							Q. 422,400.00	5.00%	
<b>TOTAL</b>						<b>Q. 27,379,136.72</b>	<b>100.00%</b>						<b>Q. 1,267,200.00</b>	<b>8.00%</b>
													<b>Q. 5,600.00</b>	<b>0.13%</b>
													<b>Q. 5,600.00</b>	<b>0.13%</b>
													<b>Q. 5,600.00</b>	<b>0.13%</b>

Fuente: elaboración propia.



Continuación de la tabla XLIII.

I. INFORMACIÓN LEGAL			
<b>I.1. Nombre del proyecto, obra, industria o actividad (Que tenga relación con el proyecto a realizar):</b> <b>DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO COMPRENDIDO DE LA COMUNIDAD ZET AL KM 38 CARRETERA</b> <b>RN-5, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA</b>			
<b>1.1.2 Descripción del proyecto, obra o actividad para lo que se solicita aprobación de este instrumento.</b> <b>Reacondicionamiento de camino existente, según especificaciones</b>			
<b>I.2. Información legal:</b> <b>A) Persona individual:</b> <b>A.1. Representante legal:</b> <u>MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN SACATEPÉQUEZ</u>			
<b>B) De la empresa:</b> Razón social: _____  Nombre comercial: <u>MUNICIPALIDAD SAN JUAN SACATEPÉQUEZ</u>			
No. De Escritura Constitutiva: _____  Fecha de constitución: _____			
Patente de Sociedad	Registro No. _____	Folio No. _____	Libro No. _____
Patente de Comercio	Registro No. _____	Folio No. _____	Libro No. _____
No. De Finca	_____	Folio No. _____	Libro No. _____
_____ de _____ dónde se ubica el proyecto, obra, industria o actividad.			
Número de Identificación Tributaria (NIT): _____			



Continuación de la tabla XLIII.

<p><b>II.3 Área</b></p> <p>a) Área total de terreno en metros cuadrados: <u>37 102</u></p> <p>b) Área de ocupación del proyecto en metros cuadrados: <u>37 102</u>                  Área total de construcción en metros cuadrados: <u>37 102</u></p>									
<p><b>I.4 Actividades colindantes al proyecto:</b></p> <p style="text-align: center;">NORTE <u>Vía pública</u> SUR <u>Viviendas</u>                  ESTE <u>Viviendas</u> OESTE <u>Barrancos</u></p> <p>Describir detalladamente las características del entorno (viviendas, barrancos, ríos, basureros, iglesias, centros educativos, centros culturales, entre otros):</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 33%;">DIRECCIÓN (NORTE, SUR, ESTE, OESTE)</th> <th style="width: 33%;">DISTANCIA AL PROYECTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Urbanización</td> <td style="text-align: center;">Este, Sur</td> <td style="text-align: center;">2 a 5 km</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Construcción de escuelas</td> <td style="text-align: center;">Este</td> <td style="text-align: center;">1 km</td> </tr> </tbody> </table>	DESCRIPCIÓN	DIRECCIÓN (NORTE, SUR, ESTE, OESTE)	DISTANCIA AL PROYECTO	Urbanización	Este, Sur	2 a 5 km	Construcción de escuelas	Este	1 km
DESCRIPCIÓN	DIRECCIÓN (NORTE, SUR, ESTE, OESTE)	DISTANCIA AL PROYECTO							
Urbanización	Este, Sur	2 a 5 km							
Construcción de escuelas	Este	1 km							
<p><b>II.5 Dirección del viento:</b></p> <p><b>HACIA DONDE SOPLA EL VIENTO PARA VER EFECTOS SOBRE EL PROYECTO. A TAL ÁREA POR EMANACIÓN DE TÓXICOS AMBIENTALES EN CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO, EN OLORES PARTÍCULAS O GASES:</b></p> <p style="margin-left: 40px;">Este a noroeste y no se utilizarán materiales tóxicos.</p>									
<p><b>II.6 En el área donde se ubica la actividad, a qué tipo de riesgo ha estado o está expuesto?</b></p> <p>a) inundación ( )                      b) explosión ( )                      c) deslizamientos ( X )                  d) derrame de combustible ( )      e) fuga de combustible ( )      d) Incendio ( )      e) Otro ( )</p> <p style="margin-left: 40px;">Detalle la información: <u>Deslizamiento de tierras debido a corte de taludes y rellenos para estabilización del terreno.</u></p>									
<p><b>II.7 Datos laborales</b></p> <p>a) Jornada de trabajo: Diurna( ) Nocturna( ) Mixta ( X ) Horas extras ( )                  b) Número de empleados por jornada <u>10</u> Total empleados <u>150</u></p>									

Continuación de la tabla XLIII.

<b>III. CONSUMO DE AGUA, COMBUSTIBLES, LUBRICANTES, REFRIGERANTES, OTROS...</b>							
	Tipo	Si /No	Cantidad / (mes día y hora)	Proveedor	Uso	Especificaciones u observaciones	Forma de almacenamiento
Agua	Servicio publico	Si		Municipalidad	Uso diario		Camiones cisternas
	Pozo						
	Agua especial						
	Superficial						
Combustible	Otro						
	Gasolina	Si	Diario	Gasolinera		Necesario para maquinaria	Tanques
	Diesel	Si	Diario	Gasolinera		Necesario para maquinaria	Tanques
	Bunker						
	Glp						
	Otro						
Lubricantes	Solubles						
	No solubles						
Refrigerantes							
Otros	Materiales de construcción	si	Día	Municipalidad	Uso diario		Galeras

**NOTA:** si se cuenta con licencia extendida por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, para comercialización o almacenaje de combustible. Adjuntar copia

Continuación de la tabla XLIII.

<b>IV. EFECTOS DE LA ACTIVIDAD SOBRE EL SUELO (Sistema edáfico y lítico)</b>
<p><b>DESECHOS SÓLIDOS, VOLUMEN DE DESECHOS</b></p> <p><b>V.1 Especifique el volumen de desechos o desperdicios genera la actividad desarrollada:</b></p> <p><input type="checkbox"/> a) Similar al de una residencia 11 libras/día</p> <p><input type="checkbox"/> b) Generación entre 11 a 222 libras/día</p> <p><input type="checkbox"/> c) Generación entre 222 libras y 1000 libras/día</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d) Generación mayor a 1000 libras por día</p> <p><b>V.2 Además de establecer la cantidad generada de desechos sólidos, se deben caracterizar e indicar el tipo de desecho (basura común, desechos de tipo industrial o de proceso, desechos hospitalarios, orgánicos, entre otros):</b></p> <p><b>V.3. Partiendo de la base que todos los desechos peligrosos, son todos aquellos que posean una o más de las características siguientes: corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables, biológico infecciosos se genera en su actividad algún tipo de desecho con estas características y en qué cantidad?</b></p> <p><b>V.4 Se efectúa algún tipo de tratamiento de los desechos (comunes o peligrosos), Explicar el método y/o equipo utilizado.</b></p> <p><b>V.5 Si los desechos se trasladan a otro lugar, para tratamiento o disposición final, indicar el tipo de transporte utilizado</b></p> <p><b>V.6 Contempla la empresa algún mecanismo o actividad para disminuir la cantidad o el tipo de desechos generados o bien evitar que éstos sean dispuestos en un botadero?</b></p> <p><b>V.7 Indicar el sitio de disposición final de los desechos generados (comunes y peligrosos)</b></p>
<b>V. TRANSPORTE</b>
<p><b>VI. En cuanto a aspectos relacionados con el transporte y parqueo de los vehículos de la empresa, proporcionar los datos siguientes:</b></p> <p>a) Número de vehículos <u>50-100</u></p> <p>b) Tipo de vehículo <u>vehículos pesados y de construcción</u></p> <p>c) sitio para estacionamiento y área que ocupa <u>Galeras y estacionamientos</u></p> <p>d) Horario de circulación vehicular <u>Todo el día</u></p> <p>e) Vías alternas <u>Ruta Nacional (RN-5), Guatemala</u></p>

Fuente: Ministerio de Ambientes y Recursos Naturales.

Basados en el listado taxativo de proyectos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Obras, Industrias o actividades, según el acuerdo ministerial Núm. 199-2016. El siguiente proyecto está ubicado en la división 42 y entra en la categoría B1, la cual indica que es un proyecto de alto a moderado impacto ambiental potencial.

**Tabla XLIV. Listado taxativo de proyectos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales**

DIVISION 42		CLASE	OBRAS DE INGENIERIA CIVIL			
595	Diseño y Construcción de obras viales y ferroviarias de red nacional y de metro	4210	Todos			
596	Diseño, construcción y operación de carreteras y autopistas.	4210		Todos		
597	Remodelación y reparación de carreteras	4210			Todos	
598	Diseño, construcción y operación de puentes de doble vía y obras especiales.	4210		Todos		
599	Diseño, construcción y operación de puentes vehiculares de una vía.	4210			Todos	
600	Diseño, construcción y operación de puentes que formen parte de caminos vecinales.	4210			Todos	
601	Reparación y mejoramiento de puentes peatonales, de hamaca y pasarelas.	4210				Todos

Fuente: Ministerio de Ambientes y Recursos Naturales.

El diagnóstico ambiental es el instrumento ambiental correctivo aplicable a proyectos, obras, industrias o actividades de moderado y alto impacto ambiental que se han categorizado como tipo B1 o A. Su objetivo es determinar las acciones correctivas necesarias para mitigar impactos adversos. Para la elaboración de instrumentos ambientales de esta categoría debe ser realizado por un consultor ambiental o empresa consultora ambiental acreditada por este ministerio.

## CONCLUSIONES

1. Según la investigación de carácter monográfico y en base al diagnóstico de necesidades de la comunidad Zet, se determinó que el proyecto del tramo de diseño carretero es el de mayor prioridad.
2. Según las características del terreno actual, existen ciertos parámetros que no cumplen con el diseño geométrico, está estipulado según la Dirección General de Caminos.
3. Para la realización de los planos fue necesario realizar todos los cálculos pertinentes, basándose en las normas y reglamentos; el presupuesto y el cronograma de ejecución fue estimado en base a los precios actuales y se propuso un estimado de 4 meses de ejecución, por último se adjunta el formulario de evaluación de impacto ambiental.
4. Se realizó el diseño del espesor de pavimento dando como resultado un espesor de 15 cm, con una proporción de mezcla en peso de (1 cemento, 2,32 arena, 3,20 pedrín, 0,57 agua).



## RECOMENDACIONES

A la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez, Guatemala.

1. Seleccionar otra ruta del último tramo de carretera para que este cumpla con los parámetros y especificaciones que están normados por la Dirección General de Caminos y al mismo tiempo que el costo sea acorde a la importancia del mismo.
2. Seleccionar y capacitar al personal encargado del mantenimiento preventivo del proyecto a ejecutar, con el fin de garantizar el buen funcionamiento durante su vida útil.
3. Mantener un control de calidad permanente de los materiales de construcción, utilizados en la elaboración del proyecto para dar cumplimiento a las especificaciones técnicas.
4. Inspeccionar constantemente el presupuesto al igual que el cronograma de ejecución debido a que son una referencia estimada, por lo cual no se debe de tomar como costo definitivo, debido a que están sujetos a variaciones, como costos de materiales y trabajos no contemplados dentro de dicha planificación.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5ta ed. México: Ingenieros Consultores de Centro América, 1980. 650 p.
2. Dirección General de Caminos. *Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. (Libro Azul) Guatemala> MICIVI, 2000. p. 807.*
3. GORDON Keller y SHERAR James, *Ingeniería de Caminos Rurales, Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales*, p. 185.
4. INSIVUMEH. Intensidad de lluvia. [en línea]. <http://www.insivumeh.gob.gt/folletos/INFORME%20de%10intensidades%20de%lluvia%20Guatemala.pdf>. [Consulta: abril de 2017].
5. LOPEZ LEIVA, Rolando Adolfo. *Diseño de tramo carretero Tiquisate aldea Pínula y diseño de la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario para la aldea San Juan La Noria, Tiquisate, Escuintla. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. p. 231.*





Salida hacia, KM 38 Ruta Nacional (RN-5), Guatemala



**TABLA DE ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES**

NO. CURVA	RUMBO	Deflexión A	C°	RADIO	ST	LC	CM	OM	PI	PC	PT
Curva 1	N41°40'00"E	31°02'40"	10°	150.00	22.29	44.68	43.83	2.05	2.02	0+00.00	0+00.00
Curva 2	N69°06'00"E	11°29'48"	8°	150.00	13.98	30.05	30.00	0.76	0.75	0+232.55	0+232.55
Curva 3	N27°29'00"E	65°09'19"	19°	60.00	30.08	65.28	65.49	11.60	9.72	0+267.95	0+308.15
Curva 4	N127°37'30"E	85°47'53"	15°	75.00	83.00	125.40	111.20	38.87	24.72	0+334.45	0+451.45
Curva 5	N40°55'13"W	29°17'51"	7°	160.00	41.82	81.81	80.93	5.38	5.20	0+450.23	0+472.30
Curva 6	N15°52'33"E	160°54'02"	15°	75.00	468.81	210.62	147.62	317.07	62.95	0+482.94	0+539.56
Curva 7	N48°58'24"E	84°42'51"	6°	200.00	217.17	330.61	294.24	95.33	64.51	1+054.17	1+137.61
Curva 8	N18°01'45"E	32°49'23"	6°	200.00	60.38	117.44	115.84	8.71	8.25	1+151.11	1+184.73
Curva 9	N02°29'21"W	73°43'34"	9°	150.00	97.48	167.28	155.98	30.49	25.99	2+482.02	2+594.54
Curva 10	N62°27'22"W	29°29'32"	6°	200.00	52.95	103.53	102.38	6.88	6.66	2+706.07	2+756.64
Curva 11	N19°18'11"W	19°21'10"	7°	150.00	26.43	52.35	52.11	2.24	2.21	2+800.84	2+844.41
Curva 12	N127°40'30"W	32°26'31"	6°	200.00	58.60	113.83	113.30	8.38	8.04	3+074.27	3+128.59
Curva 13	N10°48'23"E	26°21'14"	10°	120.00	28.00	55.20	54.71	3.24	3.16	3+443.59	3+425.49
Curva 14	N27°29'00"E	52°46'19"	21°	55.00	27.20	56.66	48.89	6.40	5.73	3+782.27	3+815.64
Curva 15	N18°31'39"W	12°31'21"	11°	100.00	16.97	21.86	21.81	0.60	0.60	3+805.36	3+884.39
Curva 16	N18°41'14"W	16°50'30"	10°	70.00	10.36	20.58	20.50	0.78	0.75	4+037.66	4+047.87
Curva 17	N137°12'21"W	27°46'14"	18°	65.00	16.07	31.60	31.20	1.68	1.90	4+139.36	4+123.29
Curva 18	N29°31'20"W	49°22'11"	29°	40.00	17.46	33.77	32.77	3.85	3.51	4+219.32	4+201.36
Curva 19	N27°33'41"W	20°17'29"	10°	110.00	19.68	38.86	38.75	1.75	1.72	4+415.91	4+426.22

**DATOS TOPOGRAFICOS**

NO. TALENTE	DISTANCIA	AZIMUT
TG 1	54.17	344°48'23.87"
TG 2	88.38	5°51'04.31"
TG 3	96.31	354°22'18.25"
TG 4	53.39	69°31'35.13"
TG 5	73.64	334°42'42.38"
TG 6	96.64	299°25'51.66"
TG 7	397.44	89°19'54.52"
TG 8	87.12	1°37'03.32"
TG 9	412.37	341°26'28.11"
TG 10	91.29	309°42'52.06"
TG 11	137.75	356°22'24.06"
TG 12	69.00	331°01'14.24"
TG 13	269.90	3°37'45.58"
TG 14	284.29	297°48'59.93"
TG 15	78.73	317°17'40.49"
TG 16	111.05	349°44'01.20"
TG 17	75.42	332°53'31.46"
TG 18	46.58	0°39'45.65"
TG 19	61.95	317°17'24.23"
TG 20	34.61	332°38'03.23"

**SIMBOLOGIA**

PI (Punto de Intersección Horizontal)

PC (Punto Curva)

PT (Punto Tangente)

CM (Centro de Masa)

OM (Orto Centro)

LC (Longitud de Curva)

ST (Superficie Tangente)

Deflexión A (Ángulo de Deflexión)

C° (Grados)

RADIO (Radio de Curva)

ST (Superficie Tangente)

LC (Longitud de Curva)

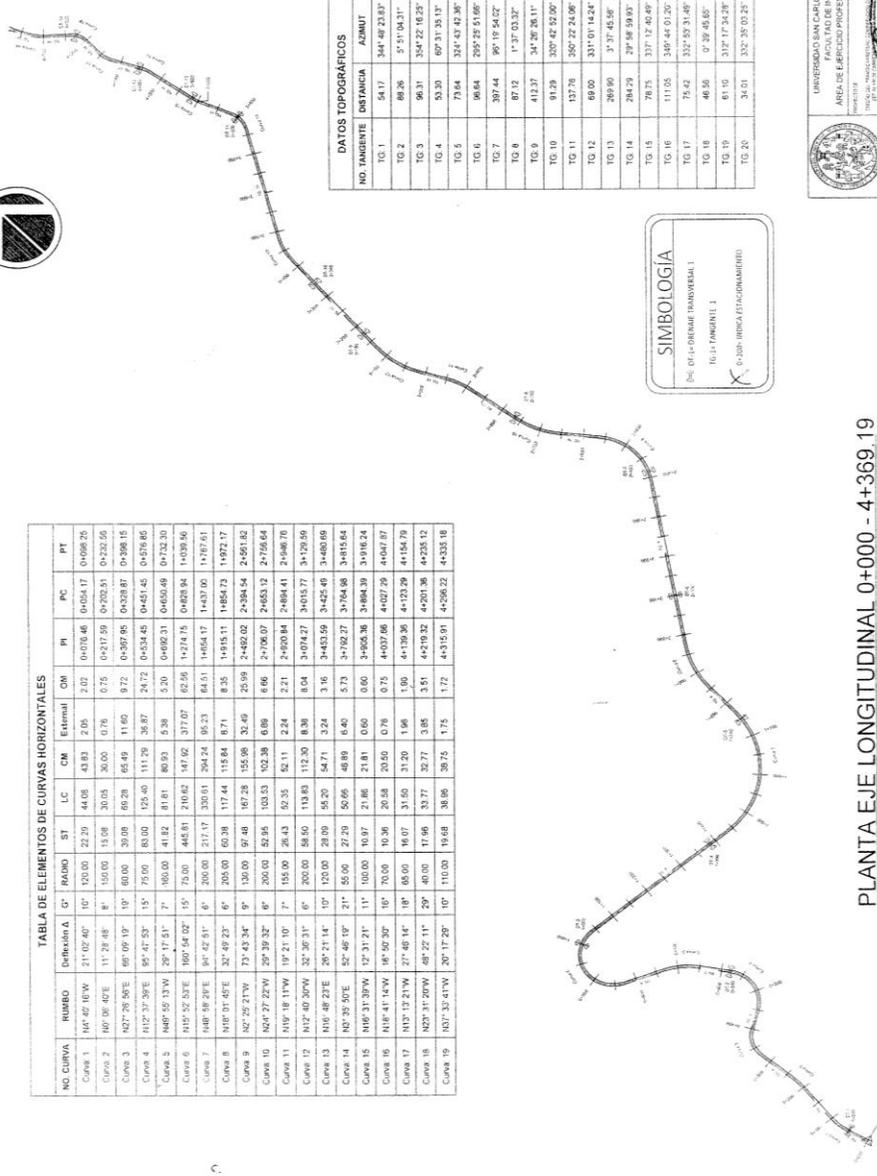
CM (Centro de Masa)

OM (Orto Centro)

PI (Punto de Intersección Horizontal)

PC (Punto Curva)

PT (Punto Tangente)



UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE LICENCIADO PROFESIONAL SUPERIOR EN INGENIERIA CIVIL

PLAN DE ALINEAMIENTO DE LA CARRETERA DE CALIDAD DE GUATEMALA

Hacia Aidea Comunidad Zet, San Juan Sacatepequez

Escuela de Ingeniería

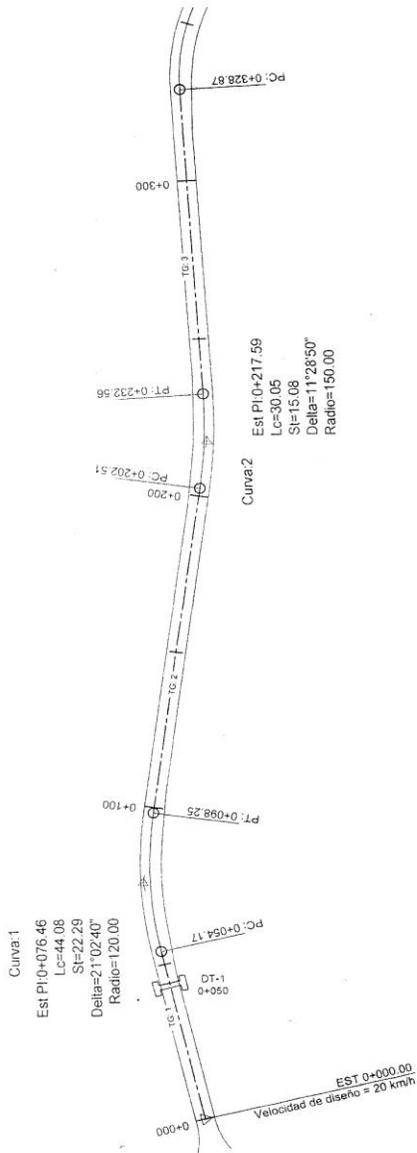
PLANTA EJE LONGITUDINAL 0+000 - 4+369.19

Hacia Aidea Comunidad Zet, San Juan Sacatepequez



# PLANTA EST. 0+000 - 0+295

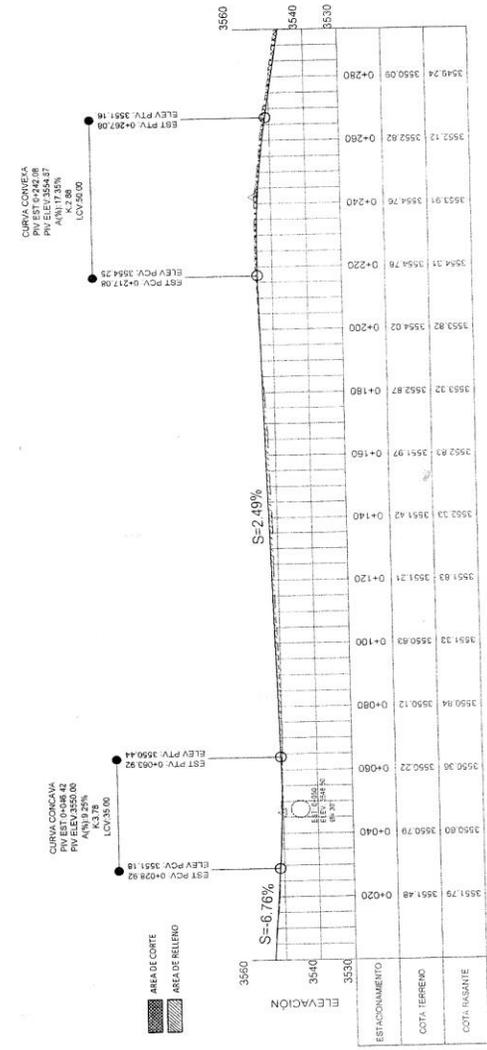
ESCALA 1:150



### SIMBOLOGÍA

PC= PRINCIPIO DE CURVA  
 PT= PRINCIPIO DE TANGENTE  
 LC= LONGITUD DE CURVA  
 SI= SUBTANGENTE  
 EST= ESTACIÓN  
 PI= PUNTO DE INTERSECCIÓN  
 TG= TANGENTE  
 PVI= PUNTO DE INTERSECCION VERTICAL  
 PCV= PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL  
 LCV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL  
 A(%)= DIFERENCIA DE PENDIENTES  
 D=4 DIF. DRENAL TRANSVERSAL 1

Elev= ELEVACIÓN  
 S= PENDIENTE



AREA DE CORTE  
 AREA DE RELLENO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA  
 ESCUELA DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

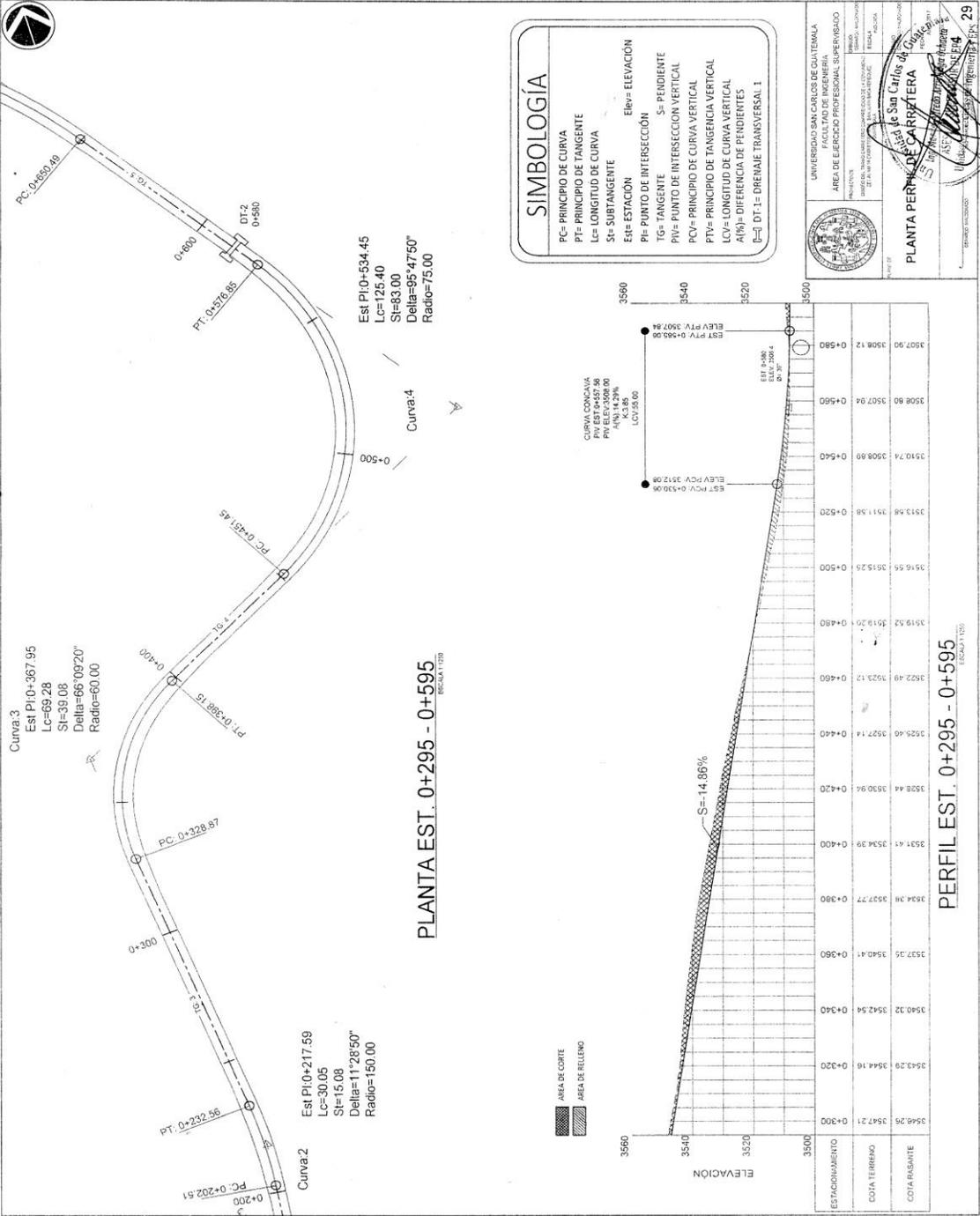
PROYECTO: [Blank]  
 FECHA: [Blank]  
 ESCALA: [Blank]

PLANTA PERFILES DE CARRETERA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA  
 ESCUELA DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PROYECTO: [Blank]  
 FECHA: [Blank]  
 ESCALA: [Blank]

129



**SIMBOLOGIA**

- PC= PRINCIPIO DE CURVA
- PT= PRINCIPIO DE TANGENTE
- Lc= LONGITUD DE CURVA
- St= SUBTANGENTE
- Est= ESTACIÓN
- PI= PUNTO DE INTERSECCIÓN
- TG= TANGENTE
- PIV= PUNTO DE INTERSECCIÓN VERTICAL
- PCV= PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
- PTV= PRINCIPIO DE TANGENCIA VERTICAL
- LcV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL
- A(%)= DIFERENCIA DE PENDIENTES
- D=3 DT=1= DRENAJE TRANSVERSAL 1

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO  
 INGENIERIA CIVIL  
 PLANTEAMIENTO Y DISEÑO DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA  
 ESCALA: 1:1000

**PLANTA PERFILES DE CARRILERA**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 INGENIERO CIVIL  
 [Signature]

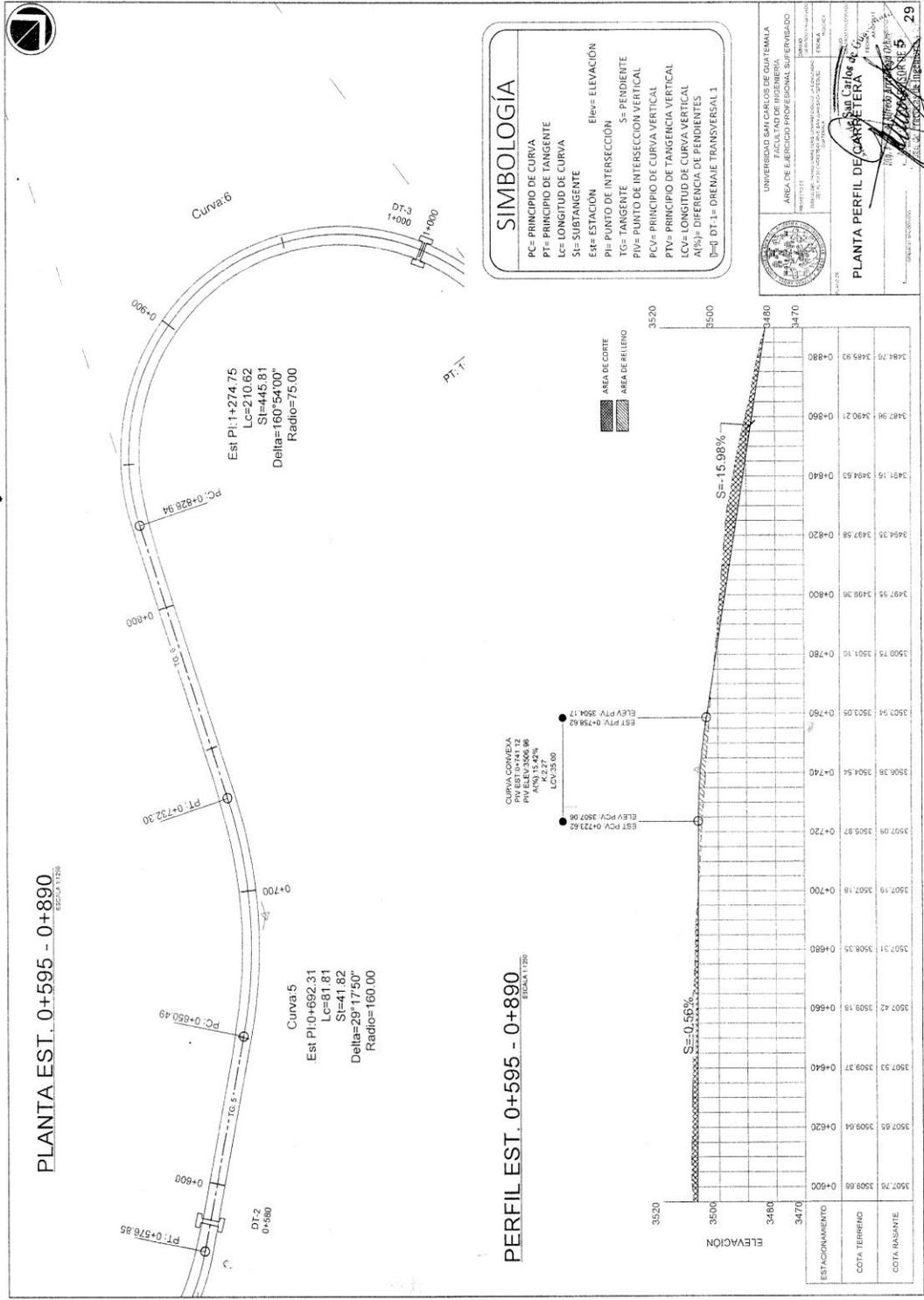
29

**PLANTA EST. 0+295 - 0+595**  
 ESCALA 1:1000

**PERFIL EST. 0+295 - 0+595**  
 ESCALA 1:1000



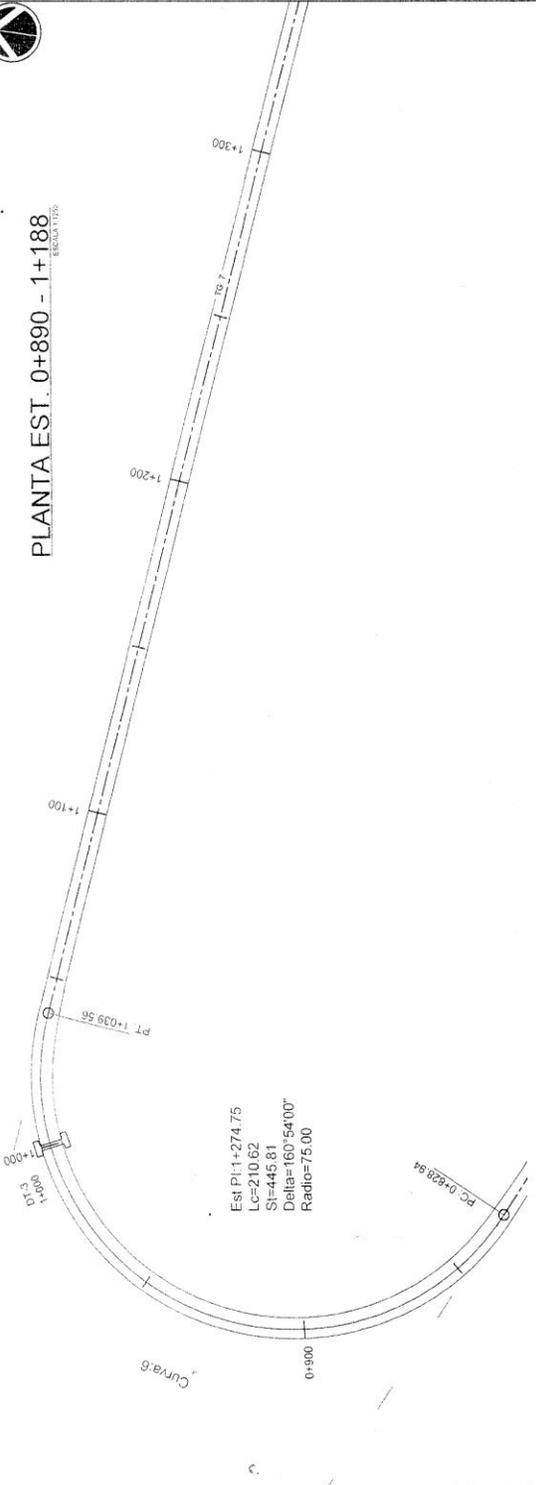
ESTACIONAMIENTO	COTA TIERRA	COTA RASANTE
3507.90	3508.12	3507.90
3508.00	3507.04	3508.00
3510.74	3508.88	3510.74
3513.88	3511.58	3513.88
3516.55	3515.25	3516.55
3519.52	3519.20	3519.52
3522.49	3523.12	3522.49
3525.40	3527.14	3525.40
3528.44	3530.96	3528.44
3531.41	3534.39	3531.41
3534.38	3537.77	3534.38
3537.35	3540.41	3537.35
3540.32	3542.56	3540.32
3543.29	3544.16	3543.29
3546.26	3547.21	3546.26





# PLANTA EST. 0+890 - 1+188

ESCALA 1:125



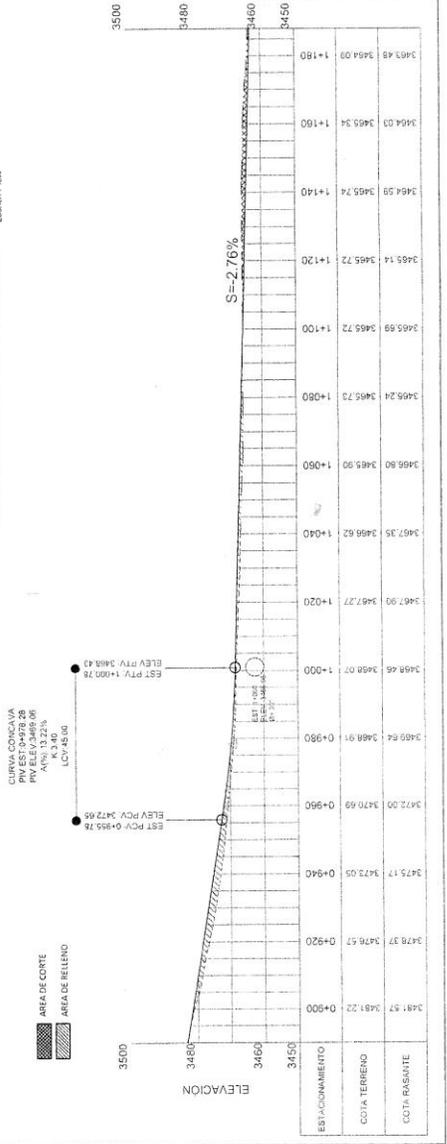
### SIMBOLOGÍA

PC= PRINCIPIO DE CURVA  
 PT= PRINCIPIO DE TANGENTE  
 Lc= LONGITUD DE CURVA  
 SI= SUBTANGENTE  
 EST= ESTACION  
 PI= PUNTO DE INTERSECCION  
 TG= TANGENTE  
 PVI= PUNTO DE INTERSECCION VERTICAL  
 PTV= PRINCIPIO DE TANGENCIA VERTICAL  
 LCV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL  
 APD= DIFERENCIA DE PENDIENTES  
 DT= DIFERENCIA DE PENDIENTES

Elev= ELEVACION  
 S= PENDIENTE

# PERFIL EST. 0+890 - 1+188

ESCALA 1:250



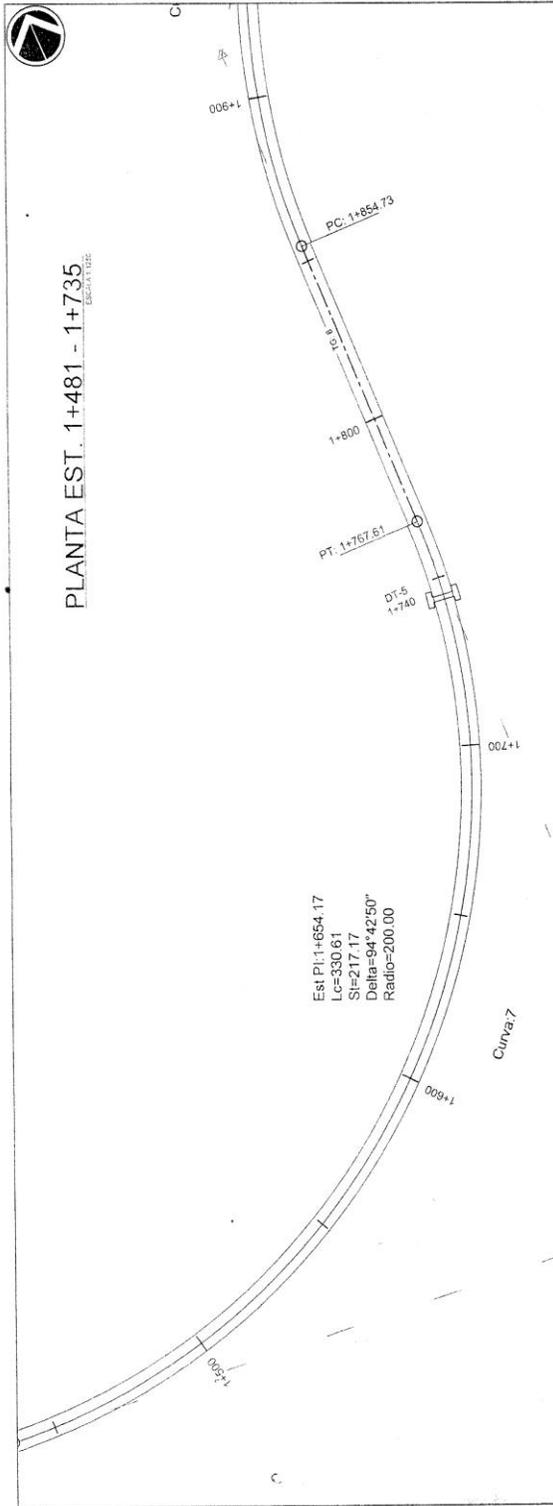
UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PLANTA PERFIL DE CARRETERA

6 29





**SIMBOLOGÍA**

PC= PRINCIPIO DE CURVA  
PT= PRINCIPIO DE TANGENTE  
Lc= LONGITUD DE CURVA  
St= SUBTANGENTE  
Est= ESTACION Elev= ELEVACIÓN  
PI= PUNTO DE INTERSECCIÓN S= PENDIENTE  
Tg= TANGENTE PIV= PUNTO DE INTERSECCION VERTICAL  
PCV= PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL  
PTV= PRINCIPIO DE TANGENCIA VERTICAL  
LcV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL  
A(%)= DIFERENCIA DE PENDIENTES  
D= DT-L= DRENAJE TRANSVERSAL 1



ESTACIONAMIENTO	COTA FERRENO	COTA RASANTE
3424.24	3423.96	1+720
3425.58	3425.44	1+700
3426.82	3427.23	1+680
3428.07	3427.93	1+660
3429.31	3428.17	1+640
3430.55	3428.84	1+620
3431.80	3429.91	1+600
3433.04	3431.70	1+580
3434.28	3433.51	1+560
3435.52	3435.79	1+540
3436.77	3438.33	1+520
3438.01	3438.91	1+500

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PROFESOR  
INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL  
INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL

**PLANTA PEREL PEREL GARCIA**  
Ing. Perel Perel Garcia  
Ingeniero en Ingeniería Civil

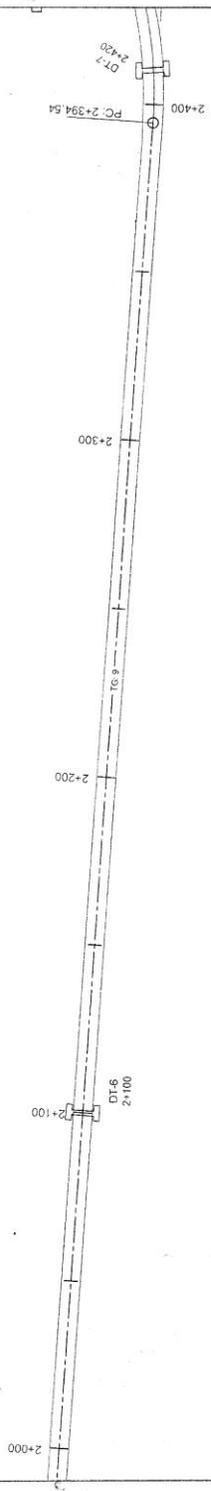
8 29

Responsible Inge



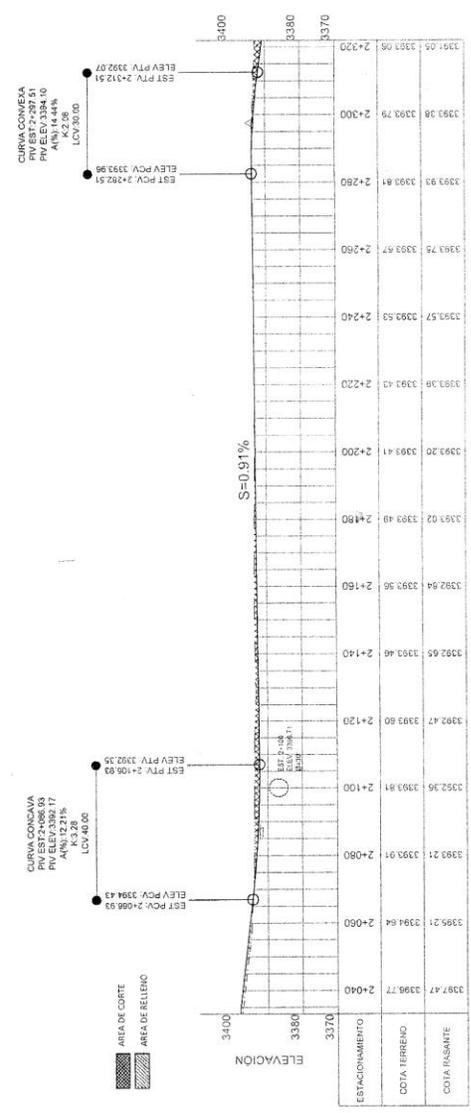
# PLANTA EST. 2+033 - 2+322

ESCALA 1:100



# PERFIL EST. 2+033 - 2+322

ESCALA 1:25



### SIMBOLOGÍA

PC= PRINCIPIO DE CURVA  
 PT= PUNTO DE TANGENTE  
 Lc= LONGITUD DE CURVA  
 S= SUBTANGENTE  
 EST= ESTACION  
 PI= PUNTO DE INTERSECCION  
 TG= TANGENTE  
 PIV= PUNTO DE INTERSECCION VERTICAL  
 PCV= PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL  
 PTV= PRINCIPIO DE TANGENCIA VERTICAL  
 LCV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL  
 AI= DIFERENCIA DE PENDIENTES  
 DT= DT-1= DRENAJE TRANSVERSAL 1

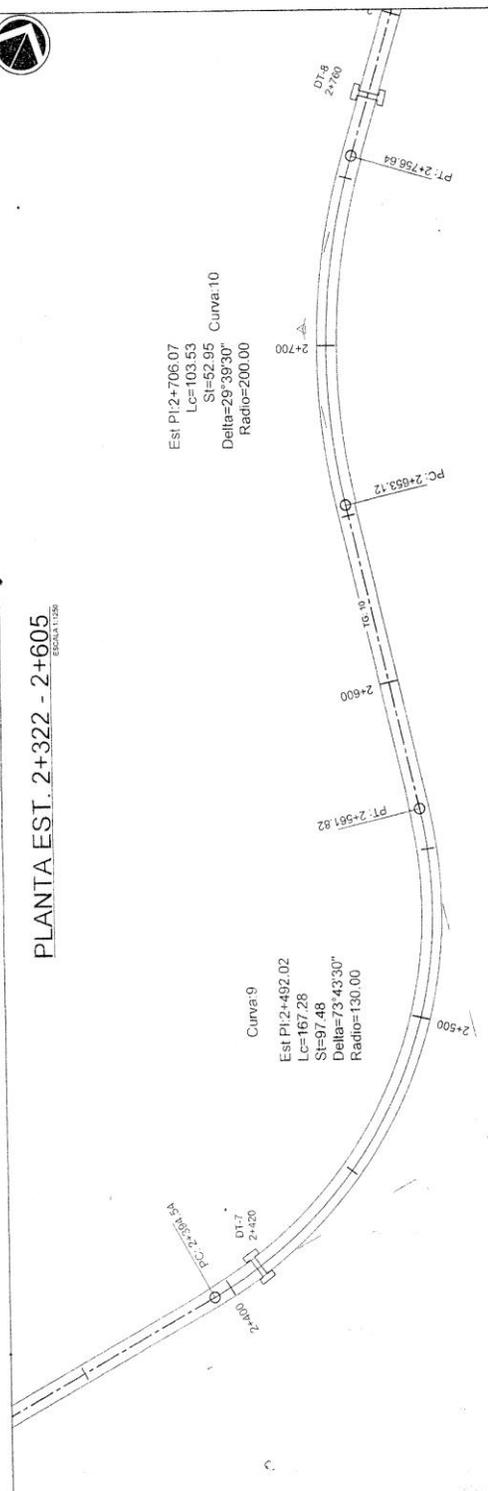
Elev= ELEVACION  
 S= PENDIENTE

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE INGENIERIA PROFESIONAL EN INGENIERIA  
 INGENIERIA EN INGENIERIA CIVIL

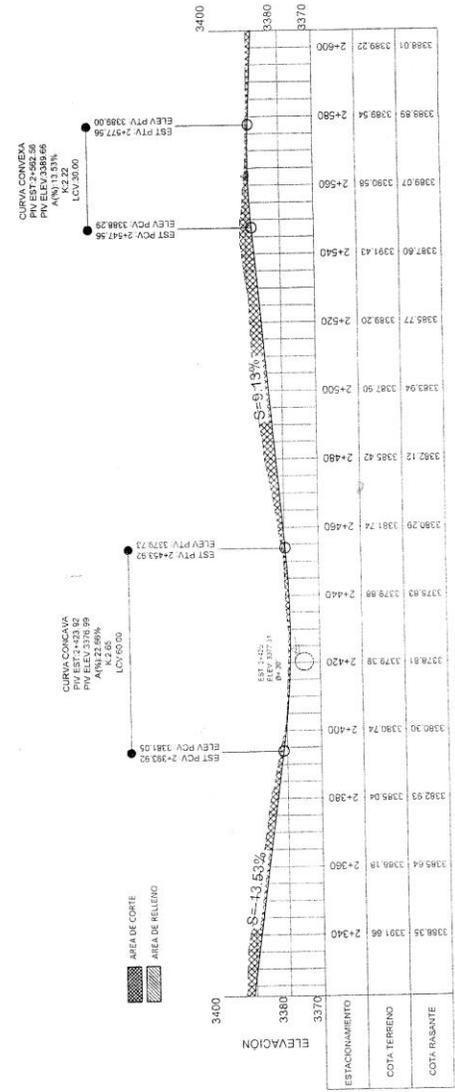
PLANTA PERFILES DE CALLES  
 TITULO: ...  
 FECHA: ...

29

# PLANTA EST. 2+322 - 2+605



# PERFIL EST. 2+322 - 2+605



### SIMBOLOGÍA

PC= PRINCIPIO DE CURVA  
 PT= PRINCIPIO DE TANGENTE  
 LC= LONGITUD DE CURVA  
 SI= SUBTANGENTE  
 Est= ESTACION  
 PH= PUNTO DE INTERSECCIÓN  
 TC= TANGENTE  
 PIV= PUNTO DE INTERSECCION VERTICAL  
 PTV= PRINCIPIO DE TANGENCIA VERTICAL  
 LCV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL  
 A(%)= DIFERENCIA DE PENDIENTES  
 D=0 DT-1= DRENAJE TRANSVERSAL 1

Elev= ELEVACION  
 S= PENDIENTE  
 S= INTERSECCION VERTICAL

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO  
 INGENIERO EN CARRETERAS  
 N.º 11  
 N.º 11  
 N.º 11

**PLANTA PERFILES DE CARRETERA**

Ing. [Signature]  
 No. 11  
 No. 11  
 No. 11

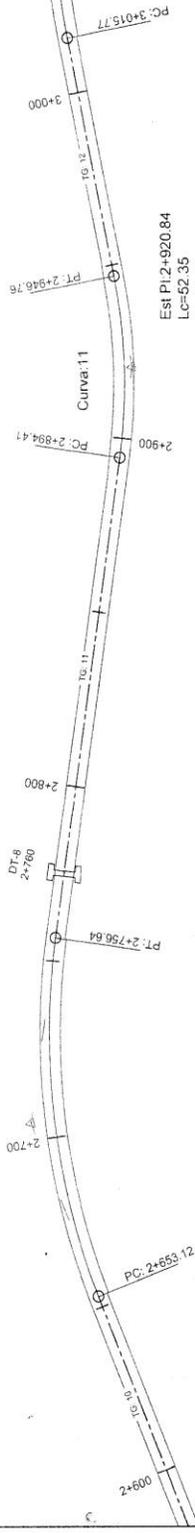
Escuela de Ingeniería Civil  
 Facultad de Ingeniería  
 Universidad San Carlos de Guatemala



# PLANTA EST. 2+605 - 2+896

ESCALA 1:1250

Est PI: 2+706.07  
 Lc=103.53 Curva: 10  
 SI=52.95  
 Delta=29°39'30"  
 Radio=200.00



Est PI: 2+920.84  
 Lc=52.35  
 SI=26.43  
 Delta=19°21'10"  
 Radio=155.00

# PERFIL EST. 2+605 - 2+896

ESCALA 1:1250

CURVA CONVEXA  
 A=1%  
 A1%=4.84%  
 PIV ELEV: 2380.80  
 LCV: 120.00

AREA DE CORTE  
 AREA DE RELLENO



ESTACIONAMIENTO	COTA TERRENO	COTA RASANTE
3307.13	3308.77	2+620
3308.25	3308.82	2+640
3308.58	3308.03	2+660
3308.50	3308.46	2+680
3308.62	3308.16	2+700
3308.77	3308.87	2+720
3308.05	3308.70	2+740
3308.51	3308.99	2+760
3308.12	3308.11	2+780
3308.66	3308.56	2+800
3308.79	3308.03	2+820
3308.83	3308.52	2+840
3308.88	3308.34	2+860
3308.93	3308.15	2+880
3309.93	3308.15	2+900

### SIMBOLOGÍA

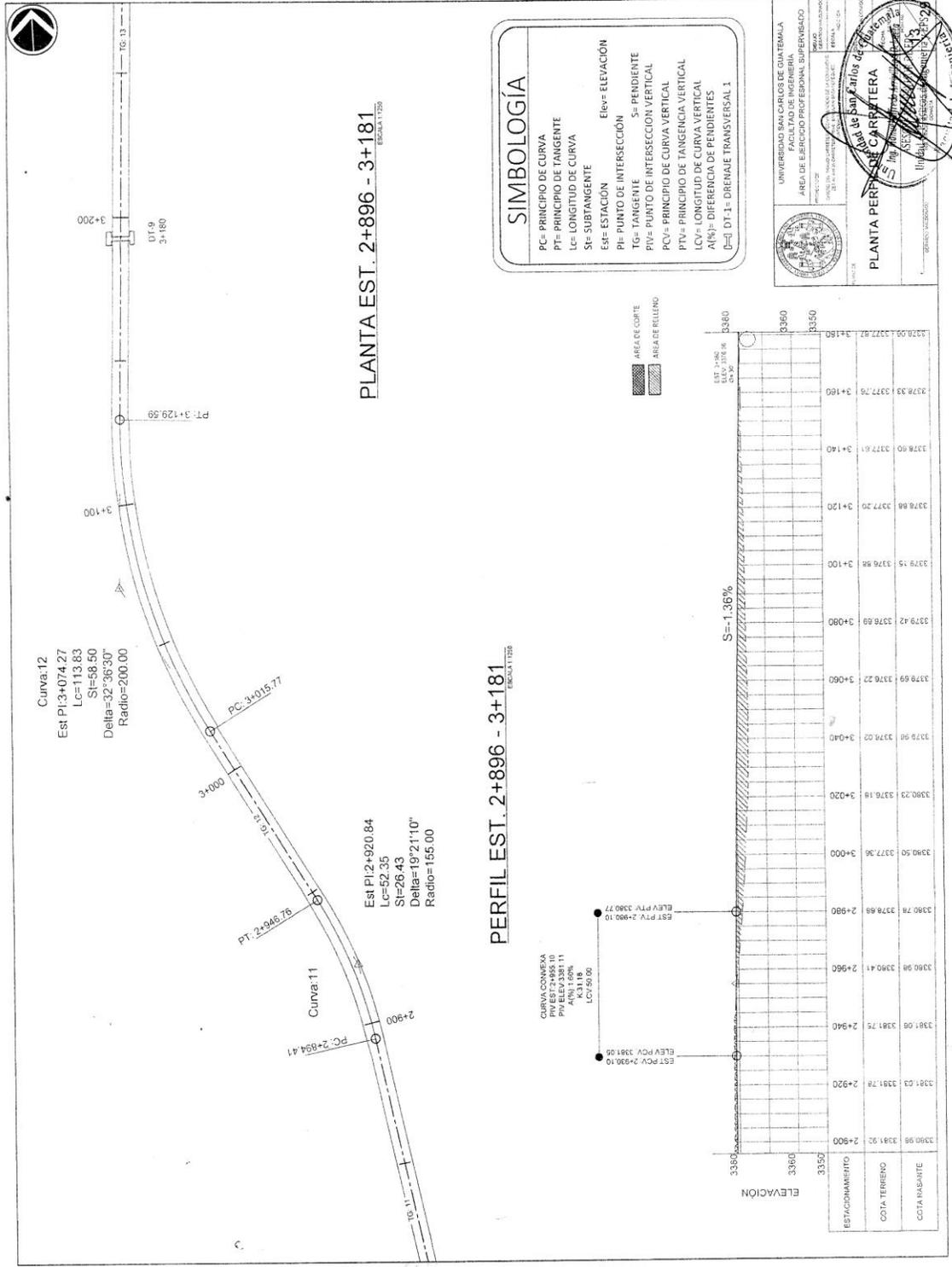
- PC= PRINCIPIO DE CURVA
- PT= PRINCIPIO DE TANGENTE
- Lc= LONGITUD DE CURVA
- SI= SUBTANGENTE
- Est= ESTACION
- PI= PUNTO DE INTERSECCION
- TG= TANGENTE
- PIV= PUNTO DE INTERSECCION VERTICAL
- PCV= PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
- PTV= PRINCIPIO DE TANGENCIA VERTICAL
- LCV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL
- A(%)= DIFERENCIA DE PENDIENTES
- [ ]= DT=1= DRENAJE TRANSVERSAL 1

UNIVERSIDAD DEL CARIBE DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PROFESOR: **Dr. Alfredo Armando Guzmán**  
 ASISTENTE: **Ing. Juan Carlos Guzmán**  
 ESTUDIANTE: **Ing. Juan Carlos Guzmán**

PLANTA PERFILES DE CARRETERA

UNIVERSIDAD DEL CARIBE DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO



**PLANTA EST. 2+896 - 3+181**  
ESCALA 1:200

**PERFIL EST. 2+896 - 3+181**  
ESCALA 1:200

**SIMBOLOGÍA**

- PC= PRINCIPIO DE CURVA
- PT= PRINCIPIO DE TANGENTE
- Lc= LONGITUD DE CURVA
- St= SUBTANGENTE
- Est= ESTACIÓN
- PI= PUNTO DE INTERSECCIÓN
- TG= TANGENTE
- PIV= PUNTO DE INTERSECCIÓN VERTICAL
- PCV= PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
- LCV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL
- A(%)= DIFERENCIA DE PENDIENTES
- D= DRENAJE TRANSVERSAL 1

Elev.= ELEVACIÓN  
S= PENDIENTE

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PROFESOR: *[Signature]*  
INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL (CARRERA DE INGENIERIA CIVIL)  
REPUBLICA DE GUATEMALA

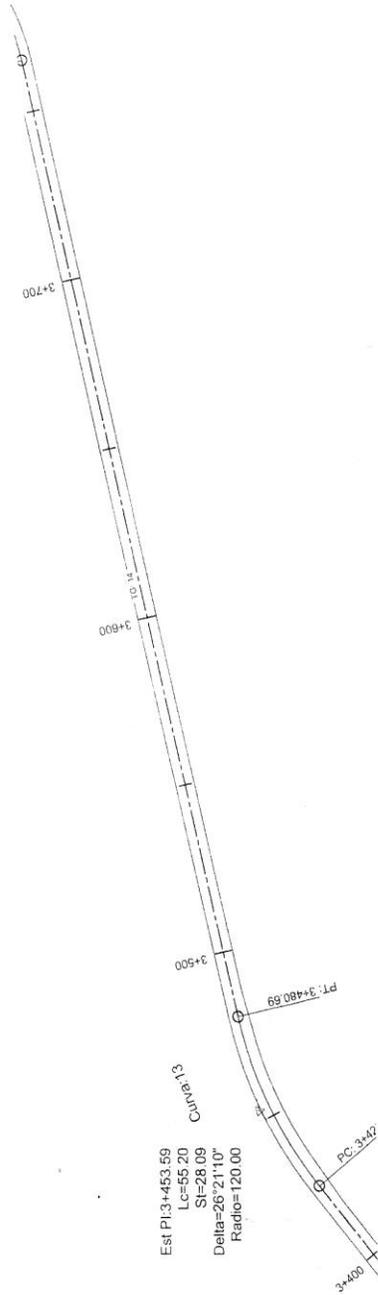
**PLANTA PERFILES CARRERA**  
UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL  
INSTRUMENTAL: *[Signature]*  
INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL (CARRERA DE INGENIERIA CIVIL)  
REPUBLICA DE GUATEMALA

ESTACIONAMIENTO	COTA TERRENO	COTA PASANTE
3300.98	3341.92	2+900
3301.03	3301.78	2+920
3301.08	3301.75	2+940
3300.98	3300.41	2+960
3300.78	3378.68	2+980
3300.50	3377.36	3+000
3300.23	3376.18	3+020
3378.98	3378.02	3+040
3378.69	3376.22	3+060
3379.42	3378.69	3+080
3379.15	3376.98	3+100
3378.88	3377.20	3+120
3378.60	3377.61	3+140
3378.33	3377.78	3+160
3378.05	3377.02	3+180



# PLANTA EST. 3+474 - 3+775

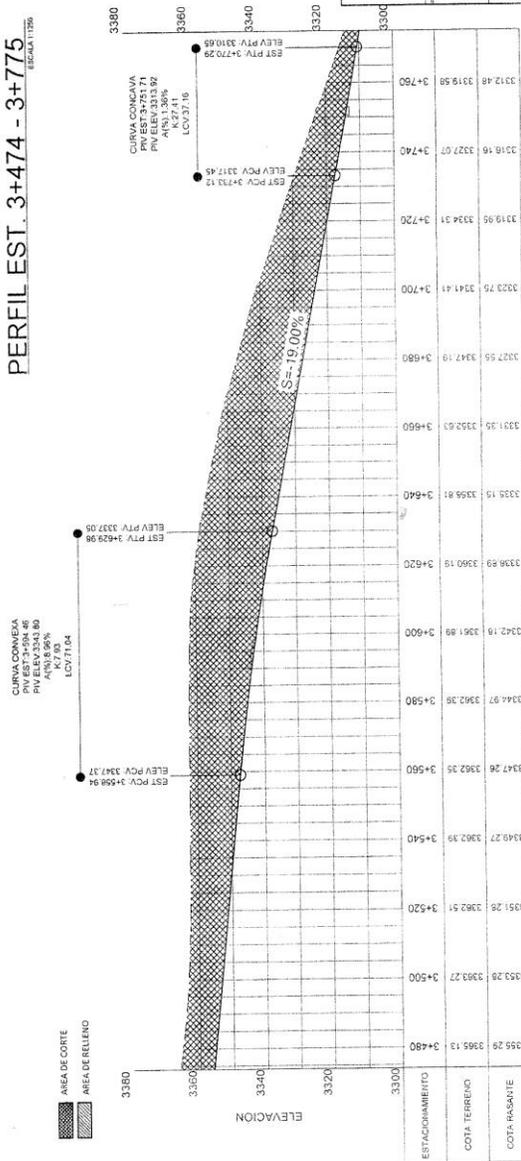
ESCALA 1:1200



Est PI: 3+453.59  
 Lc=55.20  
 Sl=28.09  
 Delta=26°21'10"  
 Radio=120.00

# PERFIL EST. 3+474 - 3+775

ESCALA 1:250



CURVA CONVENIA  
 PVI EST: 3+504.46  
 PIV ELEV: 3315.92  
 A(%)=1.30%  
 LCV: 77.00

CURVA CONVENIA  
 PVI ELEV: 3315.92  
 A(%)=1.30%  
 LCV: 37.18

### SIMBOLOGIA

PC= PRINCIPIO DE CURVA  
 PT= PRINCIPIO DE TANGENTE  
 LC= LONGITUD DE CURVA  
 ST= SUBTANGENTE  
 EST= ESTACION  
 PIV= PUNTO DE INTERSECCION  
 TG= TANGENTE  
 PCV= PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL  
 PTV= PRINCIPIO DE TANGENCIA VERTICAL  
 LCV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL  
 A(%)= DIFERENCIA DE PENDIENTES  
 D= DT-1= DRENAJE TRANSVERSAL 1

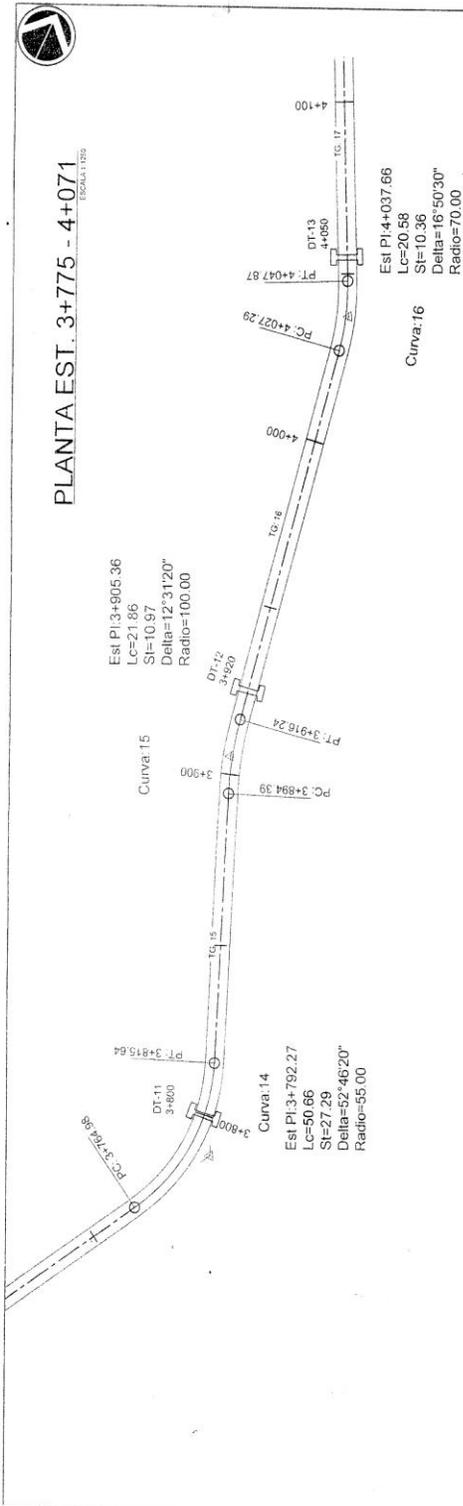
Elev= ELEVACION  
 S= PENDIENTE

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO  
 INGENIERO  
 INGENIERO EN CARRETERAS  
 INGENIERO EN OBRAS DE CONCRETO

PLANTA PERFILES  
 Universidad San Carlos de Guatemala  
 Facultad de Ingeniería  
 Área de Ejercicio Profesional Supervisado  
 Ingeniero en Carreteras  
 Ingeniero en Obras de Concreto  
 No. de Expediente: 15-005-2018  
 No. de Inscripción: 15-005-2018  
 No. de Inscripción: 15-005-2018

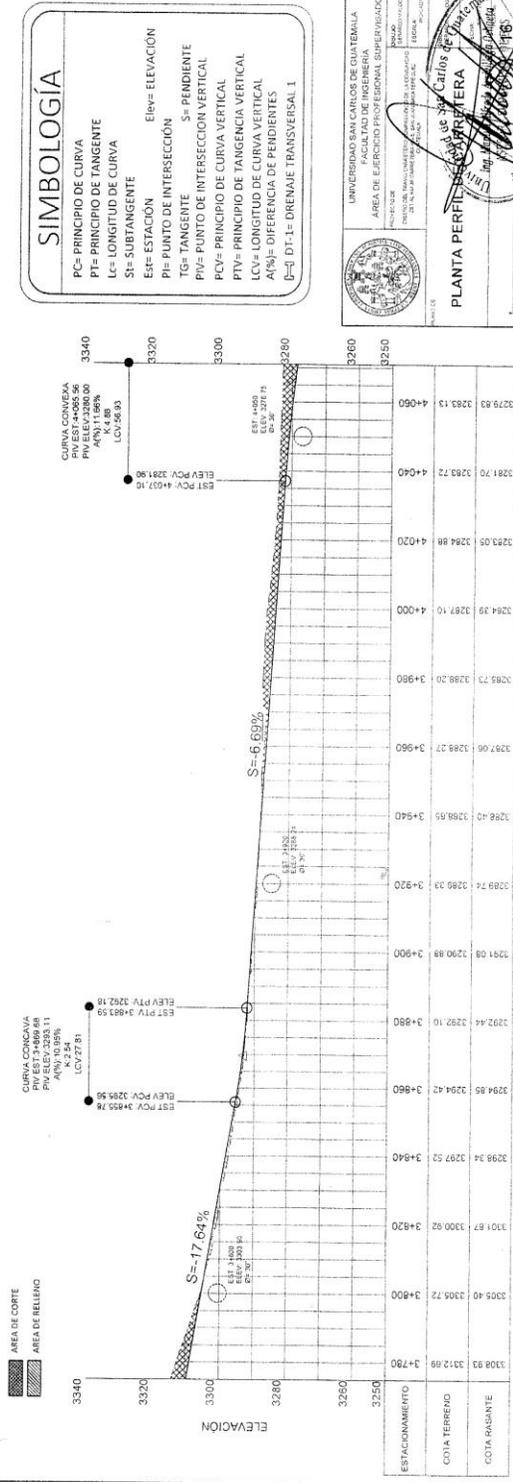
# PLANTA EST. 3+775 - 4+071

ESCALA: 1:1000



# PERFIL EST. 3+775 - 4+071

ESCALA: 1:1000



### SIMBOLOGÍA

PC= PRINCIPIO DE CURVA  
 PT= PRINCIPIO DE TANGENTE  
 Lc= LONGITUD DE CURVA  
 St= SUBTANGENTE  
 Est= ESTACIÓN  
 PVI= PUNTO DE INTERSECCIÓN  
 TCV= TANGENTE  
 PIV= PUNTO DE INTERSECCION VERTICAL  
 PCV= PRINCIPIO DE TANGENCIA VERTICAL  
 PTV= PRINCIPIO DE TANGENCIA VERTICAL  
 LCV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL  
 A(%)= DIFERENCIA DE PENDIENTES  
 B= DT-1= DRENAJE TRANSVERSAL 1

Elev= ELEVACIÓN  
 S= PENDIENTE

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERIOR

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERIOR

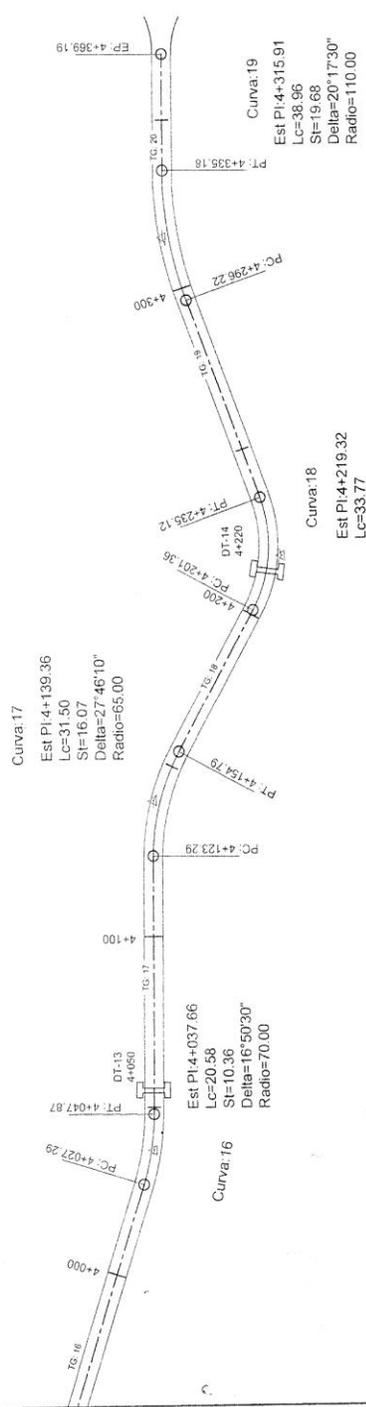
PLANTA PERFIL EST. 3+775 - 4+071

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERIOR



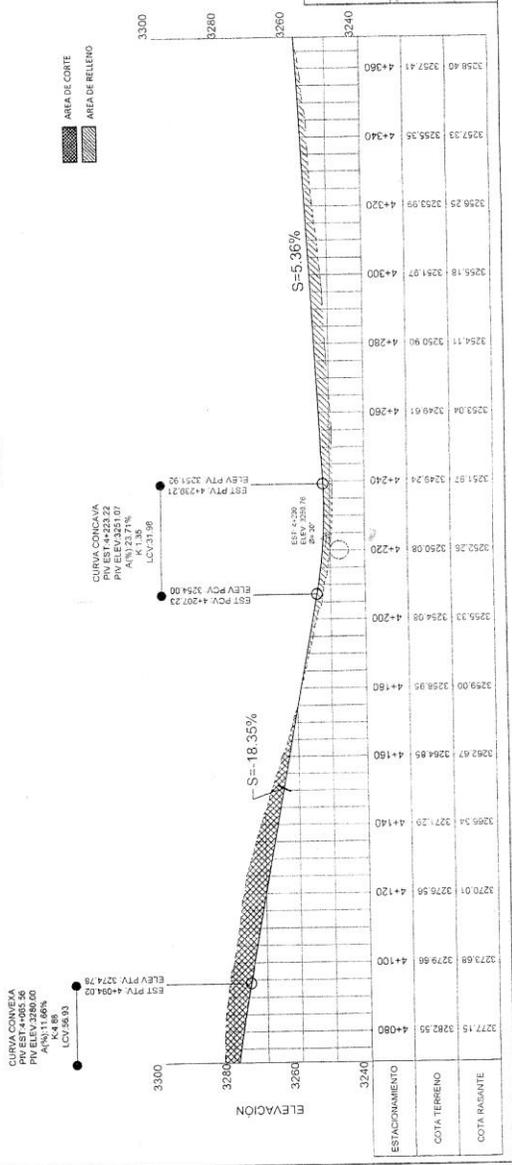
### PLANTA EST. 4+071 - 4+369.19

ESCALA 1:125



### PERFIL EST. 4+071 - 4+369.19

ESCALA 1:125



#### SIMBOLOGÍA

PC= PRINCIPIO DE CURVA  
 PT= PRINCIPIO DE TANGENTE  
 LC= LONGITUD DE CURVA  
 ST= SUBTANGENTE  
 EST= ESTACIÓN  
 PIE= PUNTO DE INTERSECCIÓN  
 TG= TANGENTE  
 PIV= PUNTO DE INTERSECCIÓN VERTICAL  
 PTV= PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL  
 LCV= LONGITUD DE CURVA VERTICAL  
 A(%)= DIFERENCIA DE PENDIENTES  
 [K]= DIFERENCIA DE PENDIENTES  
 [B]= DIFERENCIA DE PENDIENTES TRANSVERSAL 1

Elev= ELEVACIÓN  
 S= PENDIENTE

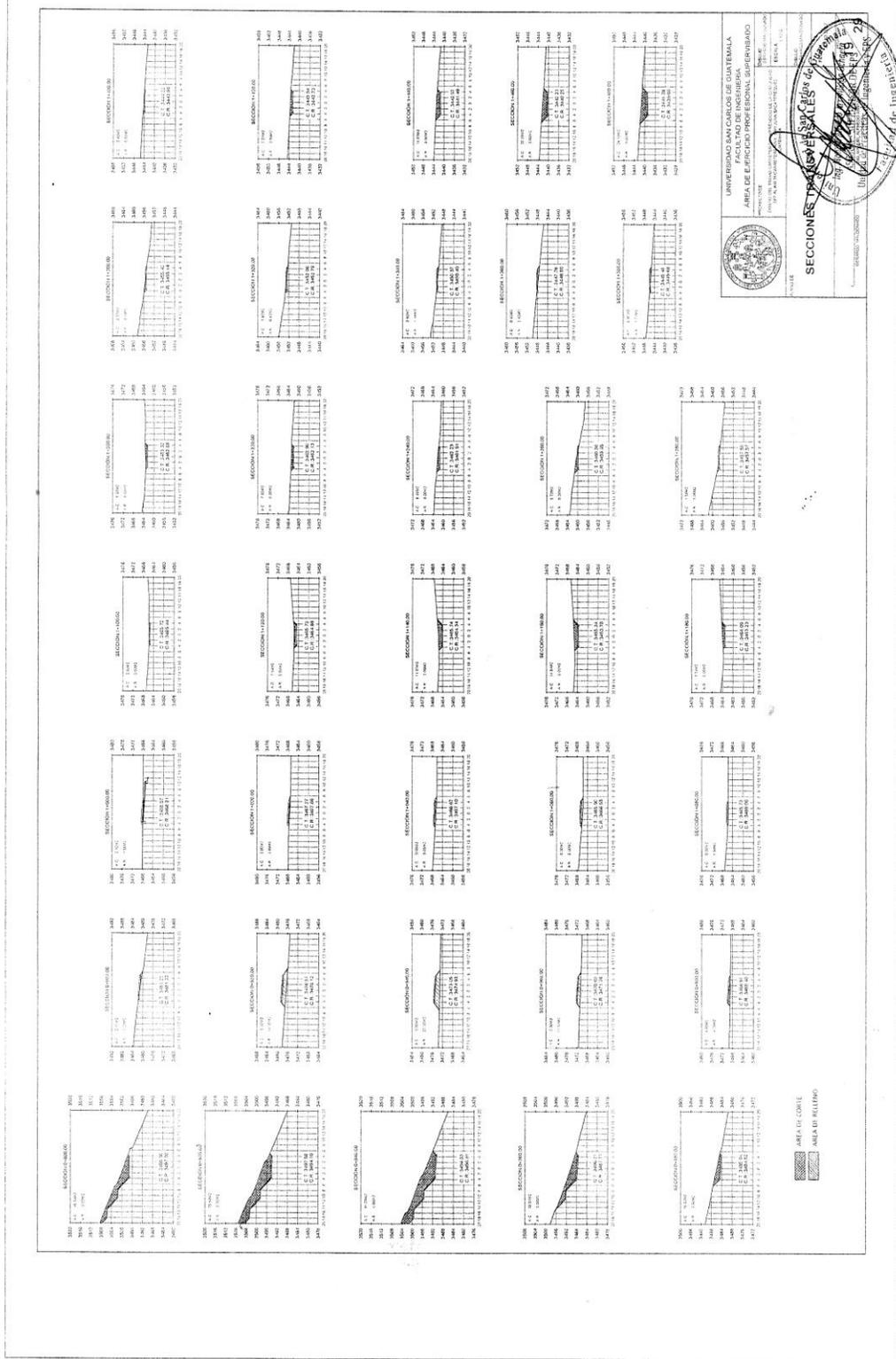
UNIVERSIDAD DEL CAJÓN DE OQUENDO  
 ESCUELA DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

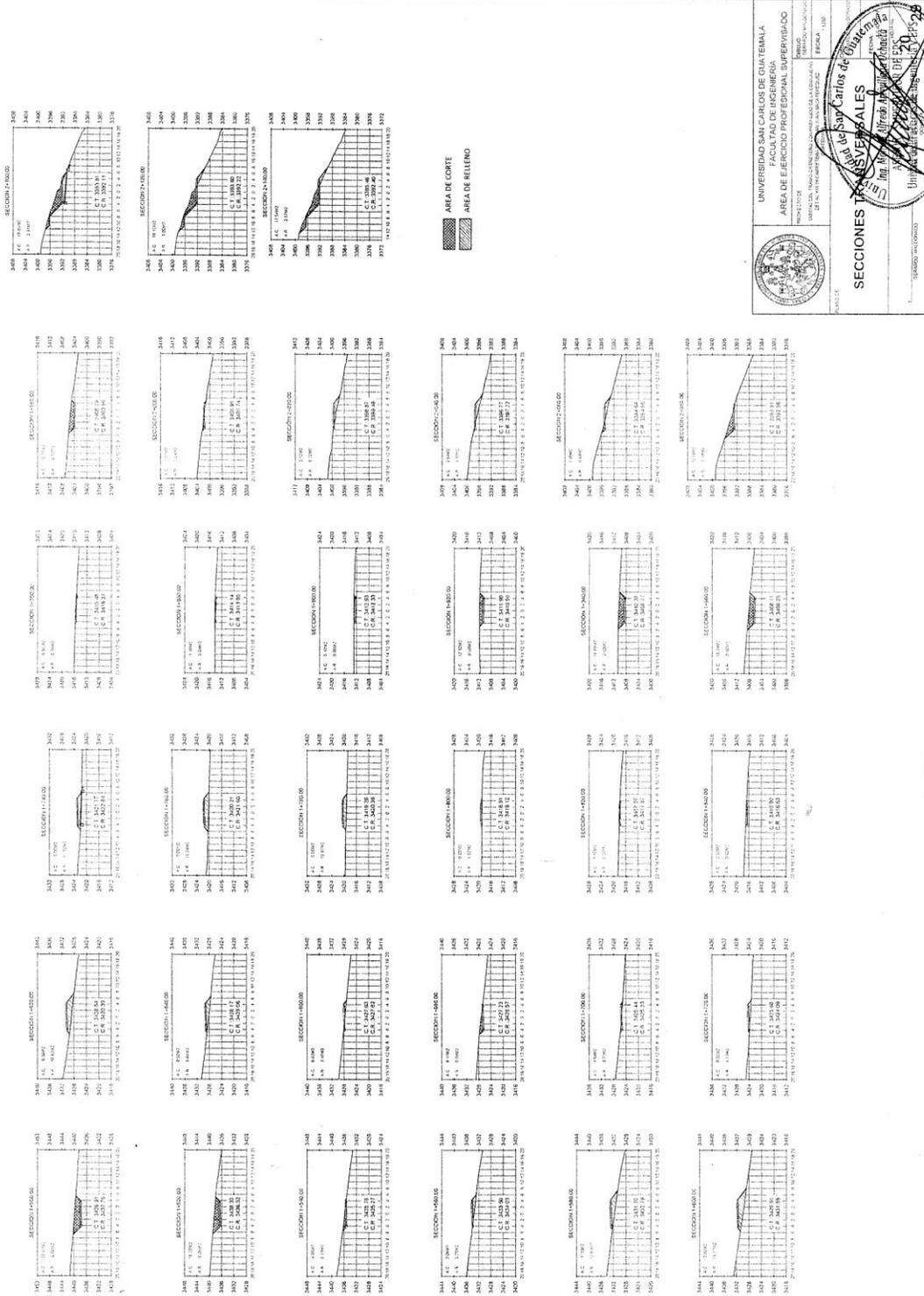
PLANTA PERFIL EST. 4+071 - 4+369.19

Ing. Carlos Perdomo

UNIVERSIDAD DEL CAJÓN DE OQUENDO







UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

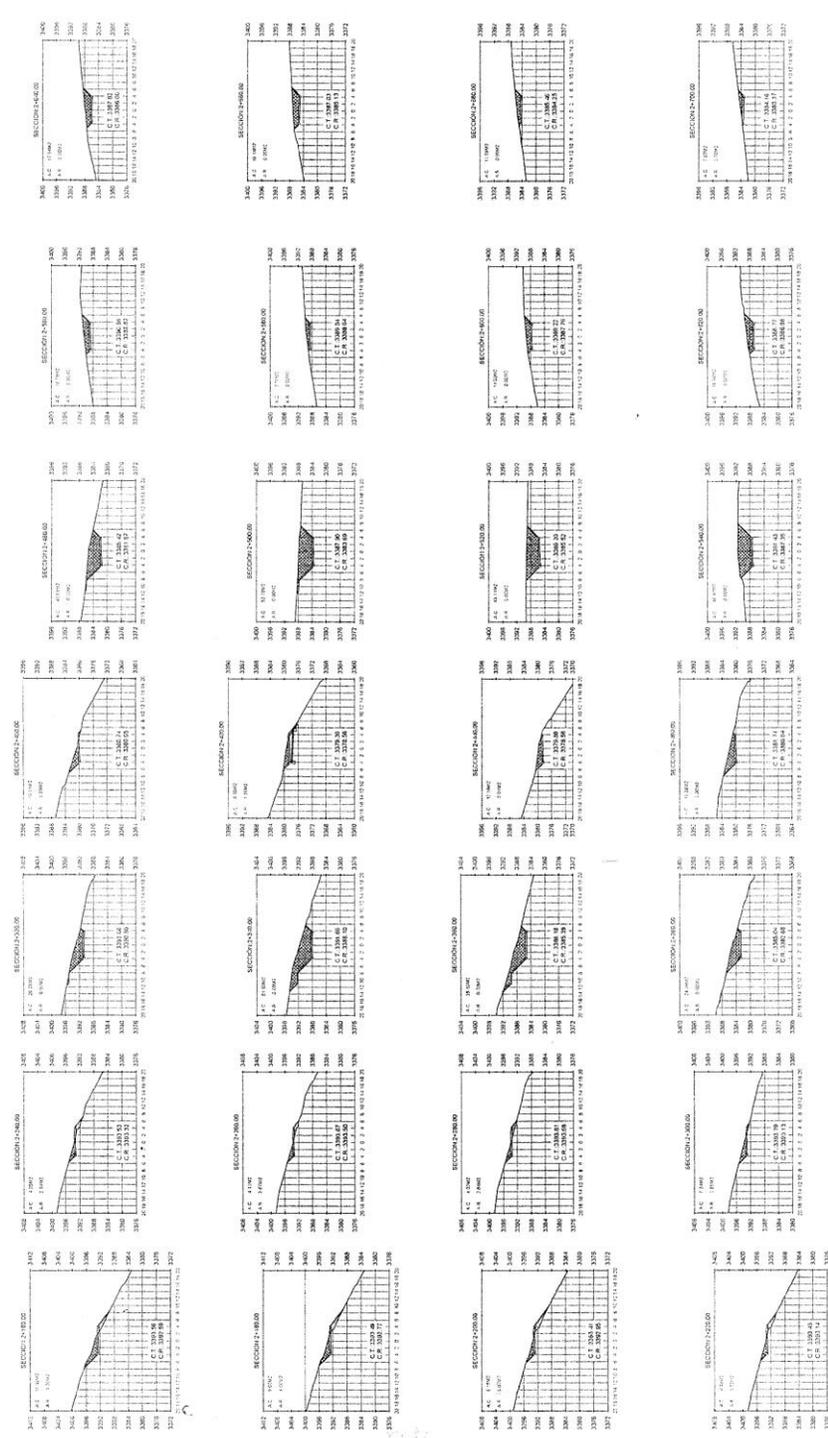
PROFESOR: [Signature]

SECCIONES TRANSVERSALES

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PROFESOR: [Signature]

SECCIONES TRANSVERSALES

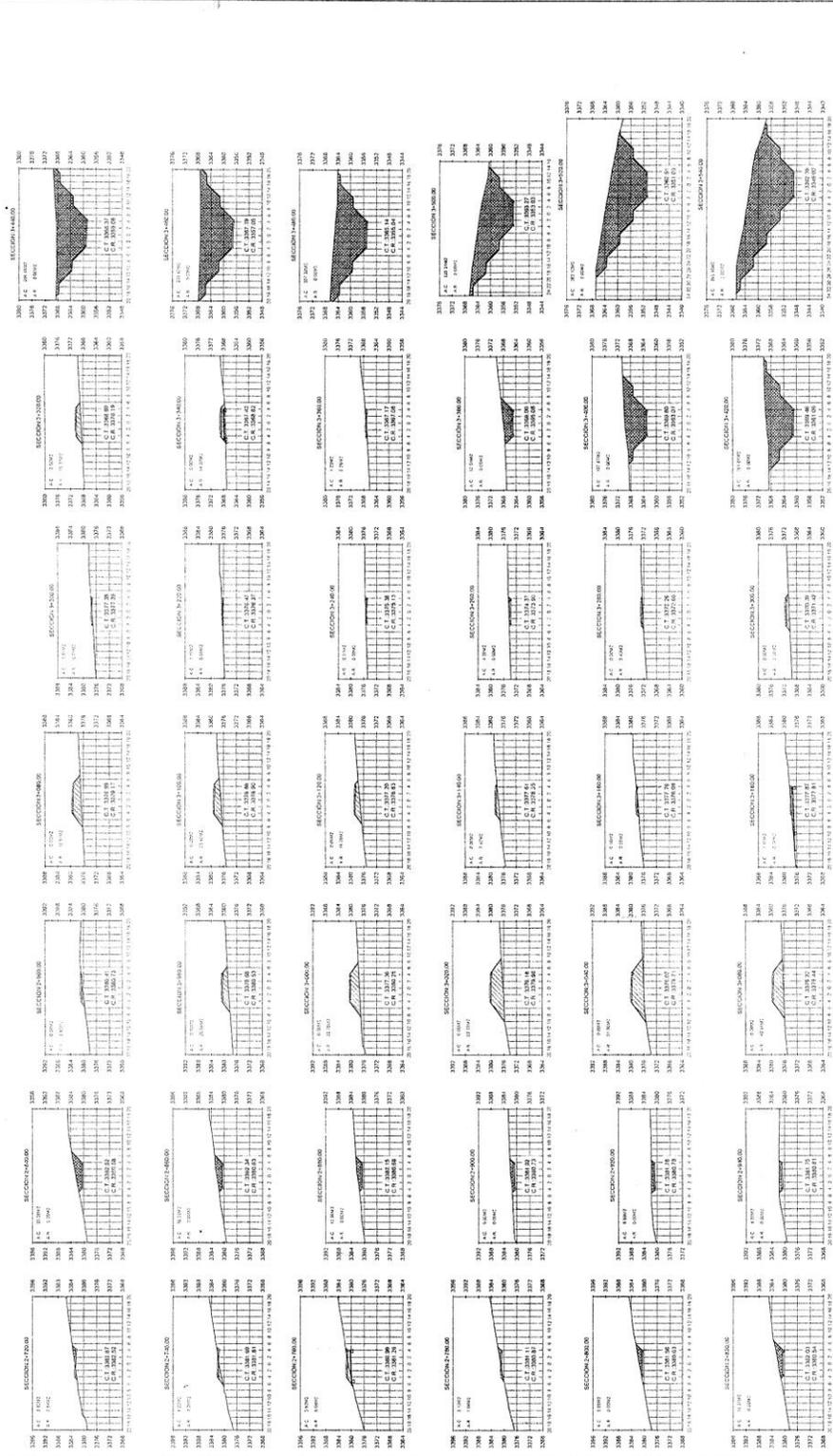


UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

SECCIONES TRANSVERSALES  
 Universidad San Carlos de Guatemala  
 Facultad de Ingeniería  
 Área de Ejercicio Profesional Supervisado

Ing. Carlos A. Escobar  
 Ing. Juan Carlos Escobar

AREA DE CORTE  
 AREA DE RELLENO



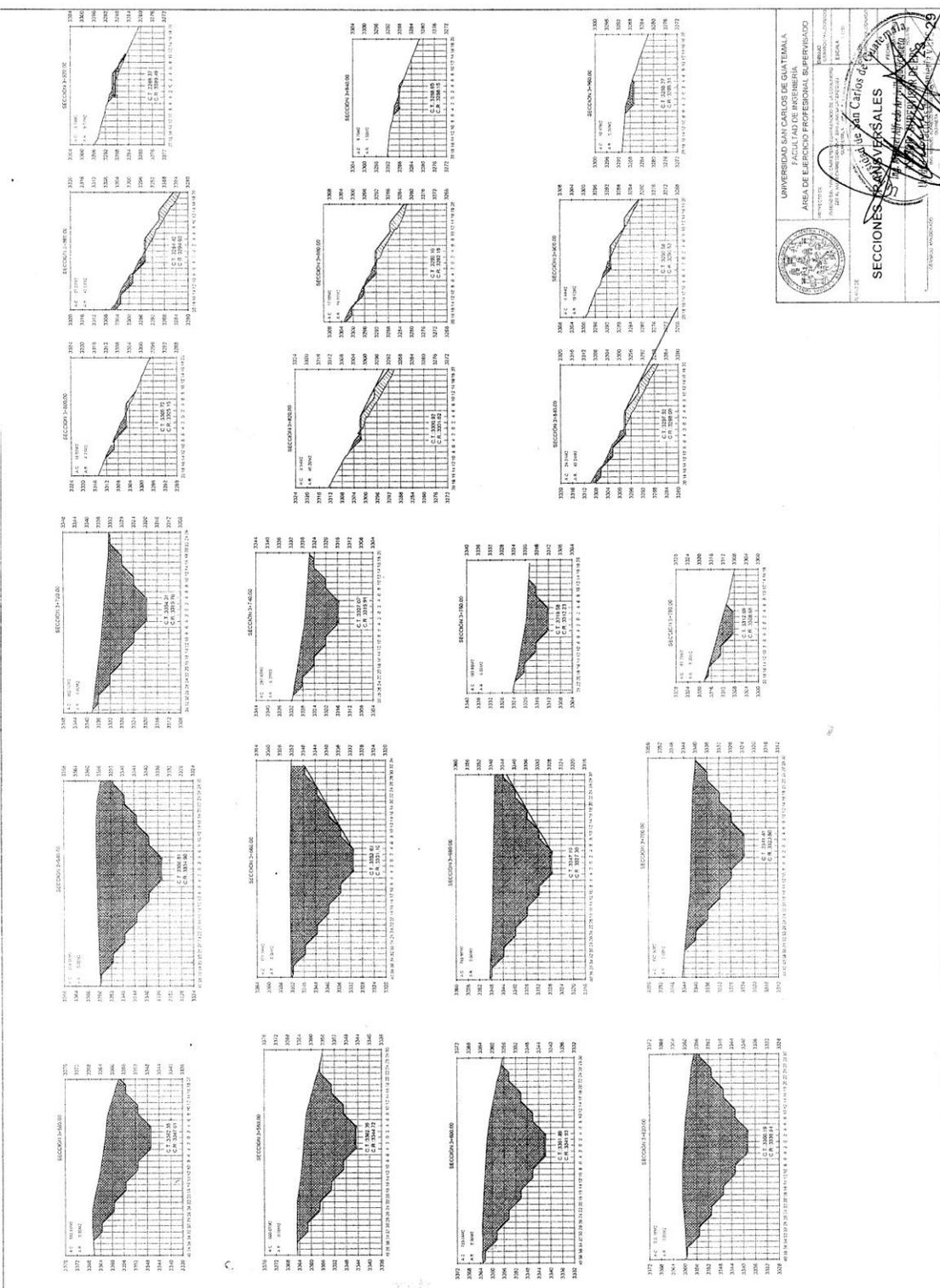
UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PROYECTO: [Illegible]  
 ESCALA: 1:4000

**SECCIONES TRANSVERSALES**

Elaborado por: [Illegible]  
 Revisado por: [Illegible]  
 Aprobado por: [Illegible]

Fecha: [Illegible]



UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO  
 INGENIERIA EN CIVIL  
 INGENIERIA EN CIVIL  
 INGENIERIA EN CIVIL

SECCIONES SAN VICENTE SALES

San Carlos de Guatemala

29

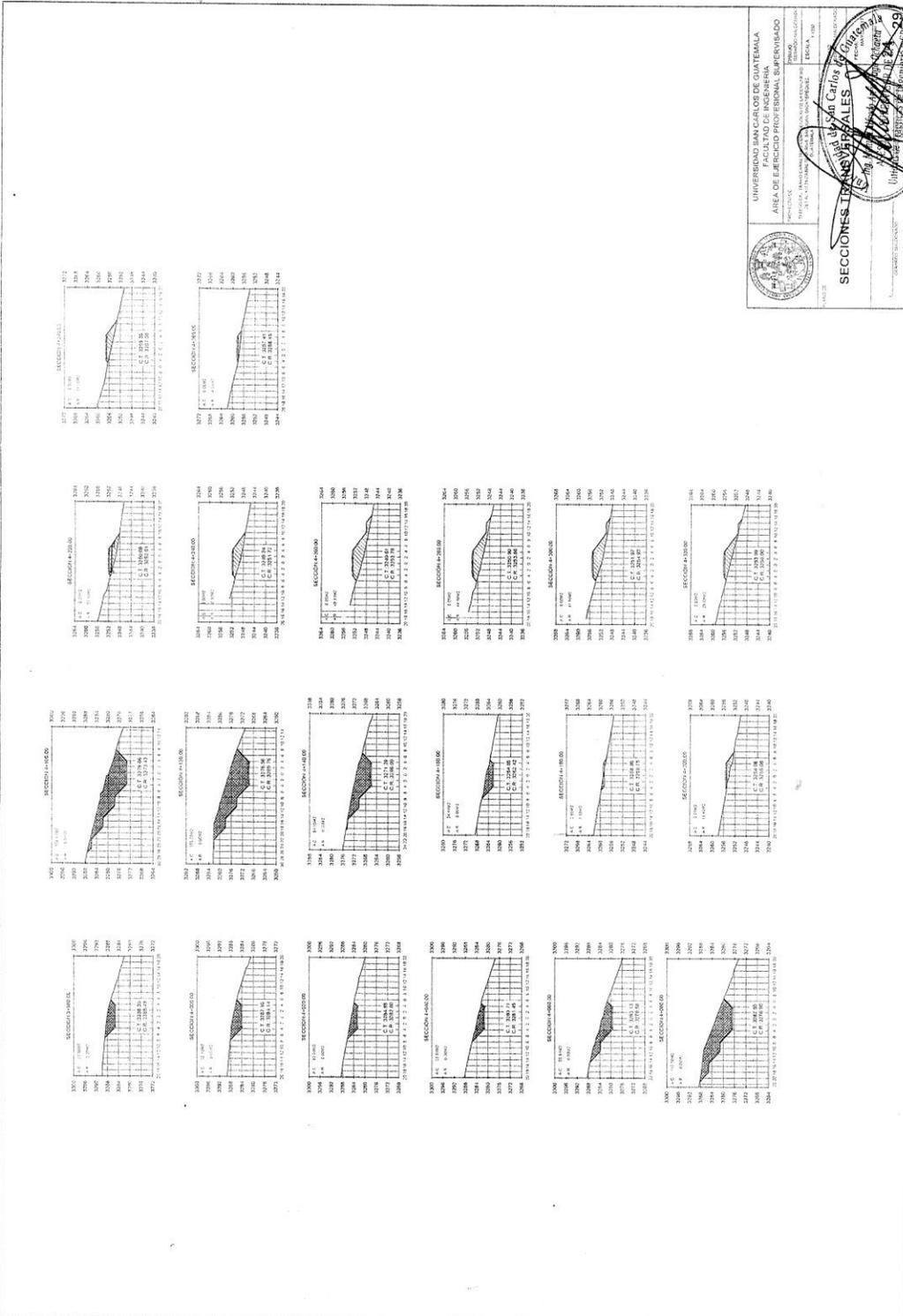








DIAGRAMA DE MASAS

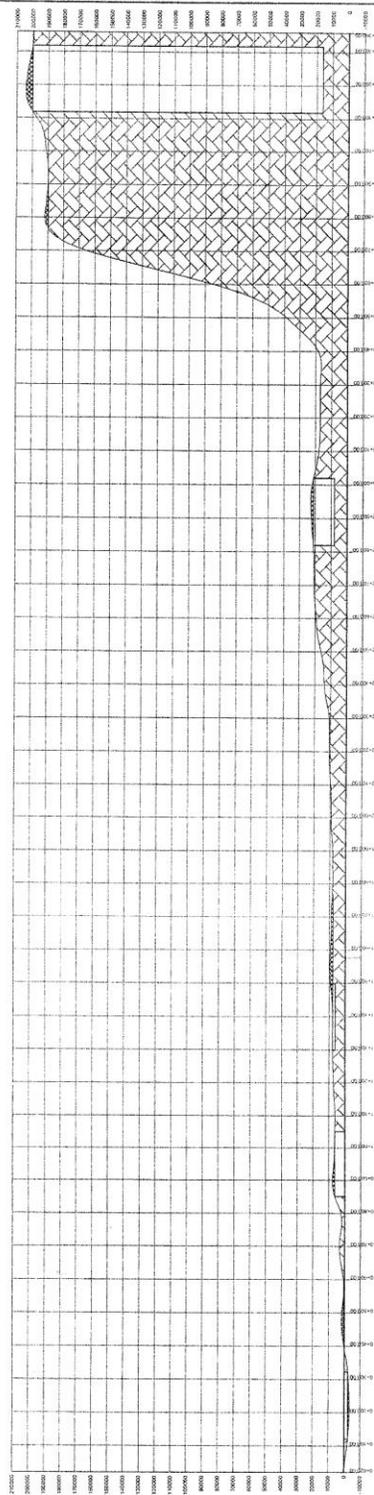


DIAGRAMA DE MASAS  
SIN ESCALA



UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

DIAGRAMA DE MASAS

Ing. *[Signature]*

2028



Ing. *[Signature]*

2028







## Anexo 2. Resultados ensayo de compactación



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



---

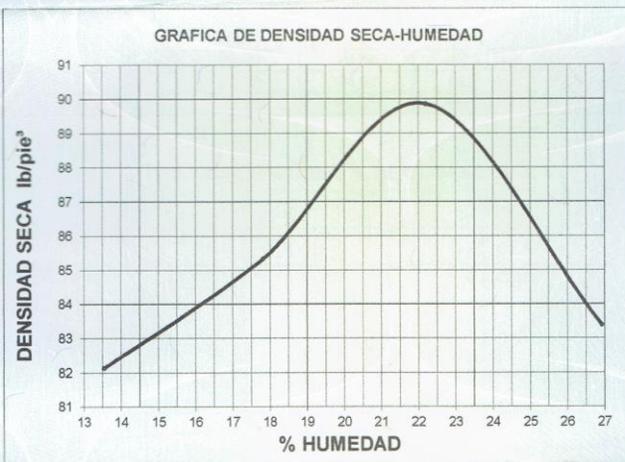
INFORME No. 083 S.S.

O.T.: 37.099

No. 09948

Interesado: Gerardo Francoise Maldonado Ajxup  
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN. Proctor Estándar: ( ) Norma: A.A.S.H.T.O. T-99  
 Proyecto: EPS "Diseño del Tramo Carretero Comprendido de la Comunidad Zet Al Km.38 Carretera RN-5, San Juan Sacatepéquez, Guatemala" Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180  
 Ubicación: San Juan Sacatepéquez, Guatemala  
 Fecha: lunes, 6 de marzo de 2017

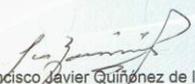
**GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD**



% HUMEDAD	DENSIDAD SECA lb/pe³
13	82,0
14	83,0
15	84,0
16	85,0
17	86,0
18	87,0
19	88,0
20	89,0
21	89,5
22	89,90
23	89,5
24	88,5
25	87,5
26	86,5
27	85,5

Descripción del suelo: Arena Limosa Color Gris Oscuro  
 Densidad seca máxima  $\gamma_d$ : 1.440,20 Kg/m<sup>3</sup>      89,90 lb/pe<sup>3</sup>  
 Humedad óptima Hop.: 22,00 %  
 Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.  
 Atentamente,

  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos  
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA

Vo. Bo.   
 Ing. Francisco Javier Guñón de la Cruz  
 DIRECTOR CII/USAC





CENTRO DE INVESTIGACIONES  
DE INGENIERIA  
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS



FACULTAD DE INGENIERIA – USAC –  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### Anexo 3. Resultados ensayo de CBR



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



---

INFORME No. 084 S.S. O.T. No. 37.099 No. **09949**

Interesado: Gerardo Francoise Maldonado Ajxup  
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193  
 Proyecto: EPS "Diseño del Tramo Carretero Comprendido de la Comunidad Zet Al Km.38 Carretera RN-5, San Juan Sacatepéquez, Guatemala"  
 Ubicación: San Juan Sacatepéquez, Guatemala  
 Descripción del suelo: Arena Limosa Color Gris Oscuro  
 Fecha: lunes, 6 de marzo de 2017

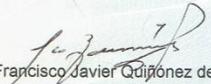
PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	$\gamma_d$ (Lb/pie <sup>3</sup> )			
1	10	22,00	78,54	87,4	0,11	16,17
2	30	22,00	84,81	94,3	0,58	19,67
3	65	22,00	89,62	99,7	0,33	44,83

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

Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.  
Atentamente,

  
 Ing. Omar Enrique Méndez Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos  
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA

Vo. Bo.  
  
 Ing. Francisco Javier Quijón de la Cruz  
 DIRECTOR CII/USAC



---

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA — USAC—  
 Edificio 5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo: 2418-8115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

